

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**“ESTUDIO DE LA TÉCNICA DEL RECICLADO CON  
ASFALTO ESPUMADO EN LAS CARRETERAS LA  
OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA –  
DV. TOCACHE Y CONOCOCHA – YANACANCHA”**



**TESIS**

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

**PRESENTADO POR**

**BACH. ESPINOZA JURO PAOLA K.**

**BACH. VILDOSO FLORES JULIO E.**

**LIMA – PERU**

**2014**

*A mi valiosa familia, Aydeé, Héctor, Pani, Paulina, Gregorio, Alvarito, Tato y Chocho, por conseguir siempre en ellos un incondicional apoyo de mil formas y por ser personas amorosas en las circunstancias más difíciles.*

*Paola K. Espinoza Juro*

*A mis queridos Papá y Mamá que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a mis hermanos que influyeron en mi madurez para lograr todos mis objetivos, a mi enamorada Sandrita por su amor, paciencia y comprensión, motivándome siempre a seguir a adelante sin mirar nunca atrás ni a los costados, esta tesis tiene un poco de cada uno de ustedes, por eso se las dedico.*

*Julio E. Vildoso Flores*

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Néstor Huamán Guerrero, al Ing. William Mauricio Galvis Castillo, al Ing. Víctor Arévalo Lay, al Ing. Max Blanco, a la Licenciada Silvia Maquera, al Ing. Martin Fernández, a la Licenciada Aydeé Espinoza Palomino, a nuestra amiga Guina Roselló Mayta, y demás amigos que nos acompañaron a lo largo de este proceso, brindándonos su apoyo y siendo a la vez fuente de mucho conocimiento para que finalmente se concrete este modesto trabajo de investigación.

# ÍNDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	25
1.1 Presentación.....	25
1.2 Objetivos.....	26
1.2.1 Objetivo General .....	26
1.2.2 Objetivos Específicos .....	26
1.3 Antecedentes.....	26
1.4 Problemática .....	29
CAPITULO II: LIGANTE ASFÁLTICO .....	31
2.1 Reseña Histórica.....	31
2.2 Definición.....	32
2.3 Técnicas de Producción .....	34
2.3.1 Cemento Asfáltico de Petróleo CAP .....	35
2.3.2 Asfaltos Diluidos con Solventes de Petróleo (Cut Backs Asphalts) .....	40
2.3.3 Emulsiones Asfálticas.....	41
2.4 Producción de Asfaltos en el Perú.....	43
2.4.1 Asfaltos en Petroperú.....	43
2.4.2 Asfaltos en Repsol.....	44
2.5 Composición del Asfalto .....	45
2.6 Propiedades Físicas del Asfalto.....	46
2.7 Fortalezas y Debilidades del Asfalto.....	48
2.8 Reología del Asfalto .....	49
2.9 Empleo del Asfalto en Carreteras.....	51
2.9.1 Empleo del Cemento Asfáltico de Petróleo CAP .....	51
2.9.2 Empleo de los Cut Backs Asphalts.....	52
2.9.3 Empleo de la Emulsión Asfáltica .....	53
2.9.3.1 Versatilidad ante Climas y Materiales.....	55
2.9.3.2 Ahorro Energético .....	55
2.9.3.3 Las Emulsiones Asfálticas y el Medio Ambiente.....	56

2.10 Transporte y Almacenamiento.....	57
<b>CAPÍTULO III: PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS .....</b>	<b>59</b>
3.1 Generalidades .....	59
3.2 El Pavimento como Estructura .....	61
3.2.1 Carpeta Asfáltica .....	61
3.2.2 Base .....	61
3.2.3 Sub-base .....	61
3.2.4 Sub-rasante .....	62
3.3 Tipos de Fallas.....	64
3.3.1 Falla Estructural.....	64
3.3.1.1 Definición .....	64
3.3.1.2 Evaluación .....	65
3.3.1.2.1 Métodos no Destructivos.....	65
3.3.2 Falla Funcional .....	68
3.3.2.1 Definición .....	68
3.3.2.2 Evaluación .....	68
3.3.2.3 Evaluación de la Condición Superficial del Pavimento .....	72
3.3.2.3.1 Introducción.....	72
3.3.2.3.2 Procedimiento de evaluación de la Condición del Pavimento. ....	74
3.4 Factores de Afectan la Integridad del Pavimento.....	86
3.4.1 Condiciones Ambientales.....	86
3.4.1.1 Capa Superficial .....	86
3.4.1.2 Capas Interiores .....	88
3.4.2 Cargas del Tráfico .....	89
3.4.2.1 Efecto del Tráfico en el Pavimento .....	89
3.4.3 Consecuencias del Agrietamiento .....	90
<b>CAPÍTULO IV: ASFALTO ESPUMADO .....</b>	<b>92</b>
4.1 Desarrollo de la Tecnología.....	92
4.2 Producción del Asfalto Espumado .....	92
4.3 Caracterización del Asfalto Espumado.....	94
4.3.1 Dispersión del Asfalto Espumado .....	97

4.3.2	Material adecuado para tratamiento con Asfalto Espumado .....	97
4.3.3	Estructura del material.....	99
4.4	Aplicaciones del Asfalto Espumado.....	102
4.5	Ventajas y Desventajas.....	103
4.6	Experiencias en otros países .....	104
4.6.1	Reciclado con Asfalto Espumado en proyecto de saneamiento en Noruega.....	104
4.6.2	Reciclado con Asfalto Espumado en carretera de alto tráfico en Brasil .....	105
4.6.3	Rehabilitación de una autopista en el Irán, bajo condiciones extremas .....	106
4.6.4	Saneamiento de las vías a lo largo de la red de canales en el distrito Los Baños de Estados Unidos .....	107
CAPITULO V: RECICLAJE DE PAVIMENTO ASFALTICO .....		110
5.1	Generalidades .....	110
5.2	El Proceso de Reciclado en Frío.....	110
5.2.1	Reciclado en planta.....	111
5.2.2	Reciclado in-situ .....	112
5.3	Aplicaciones del Reciclado en Frío .....	113
5.4	Beneficios del Reciclado en Frío.....	141
CAPÍTULO VI: ESTUDIO DE LA CARRETERA LA OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA – DV. TOCACHE.....		142
6.1	Marco Situacional.....	142
6.2	Descripción Geográfica .....	143
6.2.1	Ubicación.....	143
6.2.2	Altitud y Condiciones climáticas.....	145
6.3	Ventajas Técnicas de la aplicación del RPAE en la etapa de post intervención .....	148
6.3.1	Proceso Constructivo de Alto Rendimiento .....	148
6.3.2	Apertura al tránsito en un menor tiempo después del mezclado .....	155
6.3.3	Características Estructurales.....	156
6.3.3.1	Deflectometría .....	156
6.3.3.2	Resistencia a la Tracción Indirecta.....	156
6.4	Ventajas Ambientales de la aplicación del RPAE en la etapa de post intervención .....	158

6.4.1	Disminución de explotación de Canteras de Material para Base Granular y generación de residuos.....	158
6.4.2	Menor emisión de CO <sub>2</sub> .....	159
6.5	Ventajas Económicas de la aplicación del RPAE en la etapa de post intervención.....	159
6.5.1	Ahorro en el costo de mantenimiento por Km .....	159
6.5.1.1	Disminución en el costo de obtención y transporte de material granular nuevo .....	160
6.5.1.2	Disminución en el costo de eliminación de material excedente.....	162
6.5.2	Disminución en el costo de consumo de insumos .....	164
6.5.2.1	Insumos Mano de Obra .....	165
6.5.2.2	Insumos Materiales.....	168
6.5.2.3	Insumos Maquinaria .....	170
6.5.3	Ahorro en Gastos Generales en función al tiempo de ejecución.....	202
6.5.4	Ahorro de energía promedio en más del 80% .....	204
6.6	Determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI- Pavement Condition Index) actual .....	205
6.6.1	Procedimiento de evaluación de la Condición del Pavimento .....	205
6.6.1.1	Unidades de Muestreo .....	205
6.6.1.2	Determinación del número mínimo de unidades de muestreo para evaluación .....	206
6.6.2	Selección de las unidades de muestreo para inspección.....	206
6.6.3	Cálculo del PCI de las unidades de muestreo seleccionadas.....	206
6.6.4	Información de daños encontrados .....	206
6.6.5	Clasificación de la Condición del Pavimento.....	207
CAPITULO VII: ESTUDIO DE LA CARRETERA CONOCOCHA – YANACANCHA ...		210
7.1	Marco Situacional.....	210
7.2	Descripción Geográfica .....	211
7.2.1	Ubicación.....	211
7.2.2	Coordenadas y Altitud.....	212
7.2.3	Condiciones Climáticas .....	213
7.3	Ventajas Técnicas de la aplicación del RPAE en etapa post intervención.....	213

7.3.1	Proceso Constructivo de muy Alto Rendimiento .....	213
7.3.1.1	Avance promedio diario en una jornada normal de trabajo.....	213
7.3.2	Tiempo de apertura al tráfico.....	221
7.3.3	Características Estructurales.....	221
7.3.3.1	Deflectometría .....	221
7.3.3.2	Tracción Indirecta (ITS-ITR) .....	223
7.4	Ventajas Ambientales de la aplicación del RPAE en etapa post intervención.....	226
7.4.1	Disminución de explotación de canteras de material para base granular y generación de residuos.....	226
7.4.2	Menor emisión de CO <sub>2</sub> .....	227
7.5	Ventajas Económicas de la aplicación del RPAE en etapa post intervención .....	228
7.5.1	Ahorro en el costo de mantenimiento por Km .....	228
7.5.1.1	Disminución en el costo de obtención y transporte de material granular nuevo .....	228
7.5.1.2	Disminución en el costo de eliminación de material excedente.....	231
7.5.2	Disminución en el costo de consumo de insumos .....	231
7.5.2.1	Insumos Mano de Obra .....	232
7.5.2.2	Insumos de Materiales .....	235
7.5.2.3	Insumos de Maquinaria .....	236
7.5.3	Ahorro en gastos generales.....	264
7.5.4	Ahorro de energía promedio en más del 80% .....	266
7.6	Índice de Condición del Pavimento (PCI) en la actualidad.....	267
7.6.1	Procedimiento de evaluación de la Condición del Pavimento .....	267
7.6.2	Información de daños encontrados .....	269
7.6.3	Clasificación de la Condición del Pavimento.....	264
7.7	Resultados de análisis de ventajas técnicas, ambientales y económicas de la aplicación del reciclado con asfalto espumado en la etapa de post intervención de las carreteras en estudio.....	270
<b>CAPITULO VIII: COMPARACIÓN DEL RECICLADO DE PAVIMENTO CON ASFALTO ESPUMADO Y EMULSIÓN ASFÁLTICA.....</b>		
8.1	Introducción de Estabilización con Emulsión .....	264

8.1.1	General .....	264
8.1.2	Tipos de Emulsión .....	265
8.1.3	Aspectos Importantes a considerar al trabajar con una Emulsión .....	266
8.1.3.1	Diseño de mezcla.....	266
8.1.3.2	Formulación.....	266
8.1.3.3	Manejo.....	267
8.1.3.4	Contenido Total de Fluido.....	267
8.1.3.5	Tiempo de Compactación.....	268
8.1.3.6	Control de calidad.....	268
8.1.3.7	Curado .....	268
8.1.4	Propiedades típicas de materiales estabilizados con emulsión asfáltica.....	269
8.1.4.1	Resistencia y rigidez.....	269
8.1.4.2	Tiempo de procesamiento.....	269
8.1.4.3	Densidad .....	270
8.2	Cuadro comparativo entre Emulsión Asfáltica y Asfalto Espumado .....	271
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		291
BIBLIOGRAFÍA .....		294
ANEXOS .....		290

# CUADROS E ILUSTRACIONES

## CUADROS

Cuadro 3.1 Rangos de Calificación del PCI.....	74
Cuadro 6.1 Resumen de cantidades de material para base granular explotado aplicable para la Técnica Tradicional y el Reciclado con Asfalto Espumado.....	158
Cuadro 6.2 Cantidad de Material a Eliminar.....	159
Cuadro 6.3 Detalle de gastos de material granular nuevo y su transporte.....	161
Cuadro 6.4 Detalle de gastos de material granular para encimado y su transporte.....	162
Cuadro 6.5 Detalle de gastos de eliminación de material excedente, si la aplicación fuera la Técnica Tradicional.....	163
Cuadro 6.6 Disminución en el gasto de material granular nuevo, su transporte y en la eliminación de material excedente cuando se emplea RPAE respecto a la Técnica Tradicional.....	164
Cuadro 6.7 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E=150mm.....	165
Cuadro 6.8 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica RPAE.....	165
Cuadro 6.9 A.P.U. Eliminación de Material Excedente (Incluye carguío y transporte) para 10 Km - Técnica Convencional.....	166
Cuadro 6.10 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica Convencional....	167
Cuadro 6.11 A.P.U. Base Granular: Extendido, Riego y Compactación E=0.25 m – Técnica Convencional.....	167
Cuadro 6.12 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica Convencional....	167
Cuadro 6.13 Consumo de Insumos por Día.....	168
Cuadro 6.14 Consumo de Insumos y Costo Total Materiales – Técnica RPAE.....	169
Cuadro 6.15 Consumo de Insumos y Costo Total Materiales –Técnica Convencional.....	169
Cuadro 6.16 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E=150 mm.....	171
Cuadro 6.17 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica RPAE.....	172
Cuadro 6.18 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E <sub>prom</sub> =220 mm (Reparaciones en Zonas Críticas) .....	173

Cuadro 6.19 A.P.U. Transporte de Material Granular a obra para 31 Km – Técnica RPAE..	174
Cuadro 6.20 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria - Técnica RPAE .....	175
Cuadro 6.21 A.P.U. Eliminación de Material Excedente (Incluye carguío y transporte) para 10 Km –Técnica Convencional .....	176
Cuadro 6.22 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica Convencional.....	177
Cuadro 6.23 A.P.U. Transporte de Material Granular a obra para 31 km– Técnica Convencional .....	178
Cuadro 6.24 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria - Técnica Convencional .....	178
Cuadro 6.25 A.P.U. Base Granular: Extendido, Riego y Compactación E=0.25 m .....	179
Cuadro 6.26 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica Convencional.....	180
Cuadro 6.27 Resumen de Costo Total de Insumos.....	180
Cuadro 6.28 Detalle de Gastos Generales .....	202
Cuadro 6.29 Comparativo Tiempo Efectivo de Trabajo .....	203
Cuadro 6.30 Gastos Generales en función al tiempo efectivo de ejecución.....	203
Cuadro 6.31 Horas Máquina Total tanto para el RPAE y la Técnica Convencional .....	204
Cuadro 6.32 Consumo de Combustible tanto para el RPAE como para la Técnica Convencional.....	204
Cuadro 6.33 Daños encontrados en el pavimento .....	207
Cuadro 6.34 Valores del PCI por el método manual.....	208
Cuadro 6.35 Valores del PCI por el método computarizado.....	209
Cuadro 7.1 Resultados de Deflectometría .....	222
Cuadro 7.2 Cantidad de Material Base Granular a utilizar.....	227
Cuadro 7.3 Cantidad de Material Base Granular a Eliminar .....	227
Cuadro 7.4 Emisión de CO2.....	227
Cuadro 7.5 Costo del material granular y su transporte .....	228
Cuadro 7.6 Material encontrado en campo vs. Wirtgen .....	229
Cuadro 7.7 Costo del material de zonas críticas.....	230
Cuadro 7.8 Resumen de costo de material granular .....	230
Cuadro 7.9 Costo de eliminación de material.....	231
Cuadro 7.10 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E=120mm .....	232
Cuadro 7.11 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra-Técnica RPAE.....	232

Cuadro 7.12 A.P.U. Eliminación de Material Excedente (Incluye carguío y transporte) para 3Km - Técnica Convencional.....	233
Cuadro 7.13 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica Convencional....	234
Cuadro 7.14 A.P.U. Base Granular: Extendido, Riego y Compactación E=0.25 m – Técnica Convencional.....	234
Cuadro 7.15 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica Convencional....	234
Cuadro 7.16 Consumo de Insumos y Costo Total Materiales – Técnica RPAE .....	235
Cuadro 7.17 Consumo de Insumos y Costo Total Materiales –Técnica Convencional .....	235
Cuadro 7.18 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E=120 mm .....	237
Cuadro 7.19 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica RPAE.....	238
Cuadro 7.20 A.P.U. Base Reciclada (RAP) Eprom=220 mm (Reparaciones en Zonas Críticas) .....	239
Cuadro 7.21 A.P.U. Transporte de Material Granular a obra para 55.56 Km – Técnica RPAE .....	240
Cuadro 7.22 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria - Técnica RPAE .....	241
Cuadro 7.23 A.P.U. Eliminación de Material Excedente (Incluye carguío y transporte) para 3 Km –Técnica Convencional .....	242
Cuadro 7.24 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica Convencional.....	243
Cuadro 7.25 A.P.U. Transporte de Material Granular a obra para 55.56 km – Técnica Convencional.....	243
Cuadro 7.26 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria - Técnica Convencional .....	244
Cuadro 7.27 A.P.U. Base Granular: Extendido, Riego y Compactación E=0.25 m .....	244
Cuadro 7.28 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica Convencional.....	245
Cuadro 7.29 Resumen de Costo Total de Insumos.....	245
Cuadro 7.30 Tiempo de trabajo en meses.....	264
Cuadro 7.31 Gastos Generales .....	264
Cuadro 7.32 Gastos Fijos .....	265
Cuadro 7.33 Gastos Variables .....	265
Cuadro 7.34 Ahorro en Gastos Generales .....	265
Cuadro 7.35 Horas máquina.....	266
Cuadro 7.36 Ahorro en Combustible.....	266

Cuadro 7.37 Resumen de Evaluación Superficial del Pavimento Resumen .....	270
Cuadro 7.38 La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache vs Conococha- Yanacancha.....	270
Cuadro 8.1 Comparación entre Emulsión Asfáltica y Asfalto Espumado .....	271

# ECUACIONES

Ecuación 3. 1 Número mínimo de Unidades de Muestreo .....	76
Ecuación 3. 2 Intervalo de muestreo .....	77
Ecuación 3. 3 Número Máximo Admisible de Valores Deducidos ( $m_i$ ) .....	79
Ecuación 7. 1 Resistencia Conservada .....	225

# ESQUEMAS

Esquema 5. 1 Categrías de Reciclado.....	114
Esquema 7.1 Delimitación de los traslapes .....	216

# GRÁFICOS

Gráfico 3. 1 Escala de PCI .....	81
Gráfico 7. 1 Deflectometría .....	223
Gráfico 7. 2 Tracción Indirecta.....	225
Gráfico 7. 3 Resistencia Conservada.....	226
Gráfico 7. 4 0+000 – 20+000 .....	264
Gráfico 7. 5 20+000-40+000 .....	265
Gráfico 7. 6 40+000-60+000 .....	266
Gráfico 7. 7 60+000-80+000 .....	267
Gráfico 7. 8 80+000-100+000 .....	268
Gráfico 7. 9 100+000-120+000 .....	269
Gráfico 8. 1 Ejemplo para la consideración de fluidos totales en la estabilización de materiales con emulsión.....	267
Gráfico 8. 2 Intersección de Curvas Granulométricas adecuadas para la Técnica del Asfalto Espumado y la Técnica de la Emulsión Asfáltica .....	274

# FIGURAS

Figura 2.1a Laguna de Asfalto Natural .....	33
Figura 2.1. Diagrama del proceso del petróleo para obtener Cemento Asfáltico.....	36
Figura 2.2. Planta de Refinería de Petróleo .....	37
Figura 2.3 Diagrama de la Prueba de Penetración.....	38
Figura 2.4 Diagrama de Producción de Emulsión Asfáltica .....	42
Figura 2.5 Refinería la Pampilla-Repsol .....	44
Figura 2.6 Conformación del Asfalto .....	46
Figura 2.6a Riego Asfáltico con Emulsión Asfáltica .....	54
Figura. 3.1 Transferencia de carga .....	60
Figura 3.2 Esfuerzos ejercidos al pavimento.....	63
Figura 3.3 Estructura del Pavimento .....	64
Figura 3.4 Deflectometría Viga Benkelman.....	66
Figura 3.5 Deflectómetro de Impacto FWD.....	67
Figura 3.6 Deflectómetro Liviano LWD .....	67
Figura 3.7 Ensayo de IRI con Merlín .....	70
Figura 3.8 Formato de exploración de condición para pavimentos con superficie asfáltica.....	75
Figura 3.9 Manual LTPP .....	83
Figura 3.10 Formato de Relevamiento de Fallas .....	85
Figura 3.11 Carretera Expuesta a Altas temperaturas .....	86
Figura 3.12 Carretera expuesta a bajas temperaturas .....	87
Figura 3.13 Pavimento fallado con presencia de agua en su estructura .....	88
Figura 3.14 Deterioro del pavimento por fatiga .....	91
Figura 4.1. Cámara de Expansión.....	93
Figura 4.2. Proceso de Mezcla con los agregados.....	94
Figura 4.3. Características del asfalto espumado .....	95
Figura 4.4. Optimización de la razón de expansión y vida media.....	96
Figura 4.5 Características de los materiales adecuados para tratamiento con asfalto espumado .....	98

Figura 4.6. Esquema de unión asfalto-partícula .....	99
Figura 4.7. Interface de asfalto entre partículas.....	100
Figura 4.8. Esquema interpartícula, efecto de compactación.....	101
Figura 4.9 Recicladora con rendimiento de 2.500 m <sup>2</sup> en poco menos de 2 horas .....	105
Figura 4.10 Los trabajos avanzan rápidamente, sin tener que cortar el tráfico .....	106
Figura 4.11 Reciclado en Frío con Asfalto Espumado.....	107
Figura 4.12 Tren Reciclador de la vías.....	108
Figura 5.1 Recicladora.....	112
Figura 6.1a Mapa de Ubicación.....	144
Figura 6.1 Esquema de distribución de los carriles para una vía de 6.60 metros de ancho ....	149
Figura 6.2 Distribución de los carriles en curva y del cemento .....	150
Figura 6.3 Tren de Reciclado .....	151
Figura 6.4 Puntas de la Fresadora Wirtgen.....	152
Figura 6.5 Distribución de Boquillas en la Recicladora.....	152
Figura 6.5a Boquillas en la Recicladora.....	153
Figura 6.6 Tren de Compactación .....	154
Figura 6.7 Vista en Planta del área de la Unidad de Muestra.....	205
Figura 7.1 Mapa de Ubicación .....	212
Figura 7.2 Recicladora de Pavimento Wirtgen 2500-S .....	214
Figura 7.3 Proceso de colocacion de cemento 1.....	215
Figura 7.4 Proceso de colocacion de cemento 2.....	215
Figura 7.5 Esparcido de Cemento.....	216
Figura 7.6 Tren de Reciclado .....	217
Figura 7.7 Tren de Perfilado y Compactado.....	218
Figura 7.8 Tren de Perfilado y Compactado.....	219
Figura 7.9 Tren de Perfilado y Compactado.....	219
Figura 7.10 Tren de Perfilado y Compactado.....	220
Figura 7.11 Medición con Viga Benkelman.....	222
Figura 7.12 Ensayo Traccion Indirecta.....	224
Figura 7.13 Ensayo Traccion Indirecta.....	224
Figura 7.14 Formato de Relevamiento de Fallas.....	267

Figura 7.15 Levantamiento de fallas en la carpeta de rodadura .....	268
Figura 7.16 Levantamiento de fallas en la carpeta de rodadura .....	269

# TABLAS

Tabla 2. 1 Sistema de Clasificación por Penetración .....	39
Tabla 2. 2 Tipos de Asfaltos Líquidos producidos en el Perú.....	53
Tabla 3. 1 Tipos de Fallas.....	71
Tabla 6. 1 Resistencia a la Tracción Indirecta del Tramo V .....	157
Tabla 8. 1 Tipo de emulsión asfáltica/compatibilidad del tipo de agregados.....	266
Tabla 8. 2 Emulsión típica/contenido de asfalto residual (por peso).....	269

# ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A6: Partida: Material Base (preparación y explotación) .....	290
ANEXO B6: Cálculo del ciclo de tiempo de transporte para 10 km.....	291
ANEXO C6: A.P.U. de Base: extendido, Riego y Compactación .....	292
ANEXO D6: Cálculo de cantidades de materiales.....	294
ANEXO E6: A.P.U. de la partida reciclado con asfalto espumado e=150mm .....	301
ANEXO F6: Cálculo del ciclo de tiempo de transporte para 31 km .....	303
ANEXO G6: Monto Total en Gastos Generales por el Ingeniero William Mauricio Galvis Castillo.....	304
ANEXO H6: Formato de cálculo realizado en el Software.....	306
ANEXOS I6: Formato de cálculo realizado manualmente .....	326
ANEXO J6: Panel Fotográfico de daños encontrados en la carretera La oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache .....	341
ANEXO A7: Cálculo de cantidades de insumos materiales.....	346
ANEXO B7: Cálculo del ciclo de tiempo de transporte para 56.55 km.....	349
ANEXO C7: Cálculo del ciclo de tiempo de transporte para 3 km.....	350
ANEXO D7: A.P.U. de base reciclada e=120mm.....	351
ANEXO E7: A.P.U. de base reciclada (zonas críticas) e=250mm.....	352
ANEXO F7: Precio de materiales utilizados en el reciclado.....	353
ANEXO G7: Rendimiento de motoniveladora de 125 HP para zona de una altura de mas de 3800 m.s.n.m .....	354
ANEXO H7: Programación para la Técnica RPAE y para la Técnica Convencional .....	355
ANEXO I7: Calculo del EAL según las cargas actuantes en el pavimento, Conococha- Yanacancha.....	356

## Abstract

In our country the state of the roads has changed for the better in the last 10 years, and is becoming aware that it is best to adequately maintain their appropriate maintenance road, to repair a collapsed road but still not running action enough to say that we are well on roads, as there are still many miles to try.

According to the Ministry of Transport and Communications (MTC) of the 86.965 kilometers of roads that owns the country, 80 % are unpaved roads (69.549 kilometers), 16% paved (13,683 kilometers), while 4 % are roads gauge (3,734 miles).

In this research work have the opportunity to evaluate and compare two projects in our country with this technology, beginning with the La Oroya - Chicrín - Huánuco – Tingo María - Dv .Tocache que corresponds to the central road of Peru , which connects the city of Lima with the central jungle of the country , to major urban centers such as Oroya, Cerro de Pasco, Chicrín , Huanuco , Tingo Maria and Pucallpa , so that has a significant heavy traffic , which is constant for all seasons and road Conococha - Yanacancha belonging to the National Road Network (Route 3N ) was found in the provinces of Ancash Bolognesi and Huari over 4000 m which was built between 1999 - 2000 from Lake Conococha to the turnoff to the town of Huallanca .

After several studies evidenced that the road to La Oroya - Chicrín - Huánuco – Tingo María - Dv. Tocache was an advanced state of deterioration, which was not effected routine maintenance, long time, so it was urgent intervention to it, since it caused constant discomfort of carriers.

Similarly launched in 2007 to process the call notice No.PR- 007032, for the preparation of the Final Study for Periodic Maintenance of Road Conococha - Yanacancha as it was suitable to perform maintenance failures that had not affect traffic.

**Palabras Claves.-** Pavimento Asfáltico Recuperado (RAP), Reciclado con Asfalto Espumado, Técnica Convencional, Emulsión Asfáltica, Carretera Conococha-Yanacancha, Carretera La Oroya - Chicrín - Huánuco – Tingo María - Dv .Tocache, Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP), Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado (RPAE), Ligante Asfáltico.

# CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Presentación

El objetivo principal de la conservación de carreteras es lograr la transitabilidad de las vías, que permita conectar las poblaciones rurales con los núcleos desarrollados del país para lograr la competitividad interna y asimismo darle seguridad al usuario y a su vez obteniendo incremento del volumen de tráfico de vehículos, reducción de tiempo de viaje, reducción de costos de operación vehicular, reducción en el costo de los pasajes, y generación de empleo local. Una carretera deteriorada sin mantenimiento afecta directamente a la economía de las ciudades aledañas debido a que aumenta el gasto operativo vehicular por lo cual disminuye el transporte de todo tipo de mercadería, aumenta el tiempo de viaje disminuyendo notablemente el confort, volviéndose una carretera totalmente insegura para los usuarios.

Debido a que las carreteras de nuestro país aún presentan avanzado deterioro, vimos necesario investigar sobre la tecnología del Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado (RPAE), la cual es una alternativa con beneficios atractivos, para esto nos enfocamos en el mantenimiento de las carreteras La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache y Conococha – Yanacancha para evaluar, analizar y comparar sus beneficios, características y deficiencias, en la aplicación de ellas mismas y comparadas con técnicas convencionales.

Esta alternativa de mantenimiento RPAE enfatiza la reutilización de la carpeta asfáltica y parte del material granular generando la disminución del uso del material de acopio y efecto negativo para el medio ambiente, obteniendo así la recuperación del confort de los usuarios al trasladarse por la vía generando mayor actividad productiva y un menor tiempo de viaje.

Sin embargo, en la actualidad no solo es de interés resolver el problema técnico como tal, sino también no afectar el medio ambiente, en la medida de lo posible, para que sea una solución ingenieril completa, por lo que aplicar la tecnología RPAE resulta ser una solución interesante, pues disminuye la explotación de canteras, la creación de botaderos, la emisión de CO<sub>2</sub>,

reducción de energía y emisión de polvo, todo ello producto de factores casi inherentes a la actividad constructiva dentro del contexto ingenieril.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Establecer las ventajas de la aplicación del Reciclado con Asfalto Espumado respecto a técnicas convencionales similares en la etapa de Post-Intervención entre las carreteras de La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache y Conococha – Yanacancha en los años del 2007 al 2013.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Valorar las ventajas Técnicas de aplicación del Reciclado con Asfalto Espumado en la etapa de Post-Intervención entre las carreteras de La oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache y Conococha – Yanacancha.
- Distinguir las ventajas Ambientales de la Aplicación del Reciclado con Asfalto Espumado entre las carreteras de La oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache y Conococha –Yanacancha en la etapa de Post-Intervención.
- Precisar las ventajas Económicas de la aplicación del Reciclado con Asfalto Espumado diferenciadas entre las carreteras de La oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache y Conococha – Yanacancha.

## **1.3 Antecedentes**

Se presentan los antecedentes como estudios anteriores del tema de la presente Tesis. Se menciona a continuación dos antecedentes Nacionales y dos Internacionales.

### **Antecedentes Nacionales**

1. **Título:** “Aplicación de la tecnología del asfalto espumado en el reciclado de pavimentos asfálticos”

**Autor:** Rojas Rojas, Marco Antonio

**Lugar y Fecha de Publicación:** UNI: Lima - 2013

**Resumen:** La presente tesis muestra los resultados de una investigación sobre las mezclas de material de las propiedades de espumación del asfalto a emplear y la obtención de la cantidad óptima de asfalto para lograr una base tratada de alta calidad. También se realizó un seguimiento en el proceso constructivo y en la producción en campo en el proyecto de conservación de la carretera La Oroya - Chicrín - Huánuco - Tingo María - Dv. Tocache.

2. **Título:** “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha - Yanacancha Reciclado con Asfalto Espumado”

**Autor:** Fernández Machado, José Martín

**Lugar y Fecha de Publicación:** URP: Lima - 2010

**Resumen:** Este proyecto se ejecutó en el marco del Mantenimiento Periódico de la Carretera Conococha – Yanacancha (120.0 Km.), ubicada en el departamento de Ancash; y consistió en el Reciclado de la vía existente, empleando por primera vez en el Perú y el mundo, la tecnología de Asfalto Espumado, sobre los 4,000 m.s.n.m. Se entiende como reciclaje a todo proceso de transformación que permite el reaprovechamiento de un residuo sólido para cumplir con su fin inicial u otros fines. En este caso se ha reutilizado el 100% de los materiales que conformaban la estructura del pavimento. Este proceso es perfectamente aplicable en cualquier carretera del país, ya que se puede emplear agentes adicionales según la región, las condiciones y propiedades del suelo existente, el tipo de tráfico y/o las características climatológicas presentes en una determinada zona geográfica. Apostar por esta innovadora técnica no sólo significó reducir el tiempo de ejecución y aminorar el costo operativo por kilómetro; sino que permitió reducir notablemente el impacto de la construcción sobre el medio ambiente, ya que, al reciclar la totalidad de los materiales existentes en la vía mediante la recuperación de sus propiedades estructurales, se evitó la sobre explotación de canteras y la generación de botaderos, práctica común en las obras de infraestructura vial. El presente informe expositivo plasma mi experiencia en el desarrollo de este proyecto desde la etapa de diseño como proyectista, pasando por el control de calidad y culminando en la faceta de contratista durante de ejecución de la obra.

## **Antecedentes Internacionales**

1. **Título:** “Tecnología del Asfalto Espumado y Diseño de Mezcla”

**Autor:** Ing. Thenoux, Guillermo y el Ing. Jamet, Andrés.

**Lugar y Fecha de Publicación:** Universidad Católica de Chile: Santiago de Chile - 2002

**Resumen:** El trabajo presenta un resumen completo del procedimiento de Diseño de Mezclas para Reciclado Profundo con Asfalto Espumado; también incluye resultados del Estudio de Sensibilización del Contenido de Asfalto para un Proyecto de Reciclado Profundo con distintos contenidos de RAP (ReclaimedAsphaltPavement) y diferentes espesores de reciclado.

2. **Título:** “Guía para diseñar la rehabilitación de una ruta mediante el uso de Asfalto Espumado; reciclando el pavimento asfáltico existente”

**Autor:** Robles Diaz, Ricardo Arnoldo.

**Lugar y Fecha de Publicación:** Universidad Austral de Chile: Valdivia Chile - 2009

**Conclusiones:** - El reciclado en frío in-situ es una opción innovadora y que posee bastantes ventajas ecológicas y económicas. Su principal arma de trabajo es la recicladora propiamente tal, la cual realiza el procedimiento de frezar a distintos espesores y mezclar con el ligante.

- Cualquier proyecto de reciclado utilizando asfaltos espumados requiere de un estudio profundo de la ruta, teniendo en cuenta la situación actual del pavimento y lo que se espera obtener de la ruta.

- El asfalto espumado se ha transformado al pasar los años en una excelente alternativa de conservación de caminos ya sea como estabilizador o realizando un reciclado de pavimento asfáltico existente, disminuyendo fuertemente el consumo energético y el costo final del proyecto.

## 1.4 Problemática

En nuestro país el estado de las carreteras ha ido cambiando para bien en los últimos 10 años, ya que se está tomando conciencia que es mejor mantener debidamente una carretera con su oportuno mantenimiento, que reparar una carretera colapsada, pero aún no se está ejecutando acción suficiente para decir que estamos bien en infraestructura vial, ya que aún quedan muchos kilómetros por tratar.

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), de los 86,965 kilómetros de carreteras que posee el país, el 80% son vías afirmadas (69,549 kilómetros), el 16% asfaltadas (13,683 kilómetros), mientras que el 4% son caminos de trocha (3,734 kilómetros).

En el presente trabajo de investigación se tiene la oportunidad de evaluar y comparar dos proyectos realizados en nuestro país con esta tecnología, empezando por la carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache que corresponde a la carretera central del Perú, la cual comunica la ciudad de Lima con la selva central del País, pasando por importantes centros urbanos tales como La Oroya, Cerro de Pasco, Chicrín, Huánuco, Tingo María y Pucallpa, por lo que se tiene un importante tránsito pesado, el cual es constante durante todas las épocas del año y la carretera Conococha – Yanacancha perteneciente a la Red Vial Nacional (Ruta 3N) encontrándose en el departamento de Ancash provincias de Bolognesi y Huari a más de 4000 m.s.n.m. la cual fue construida entre los años 1999 – 2000 desde la Laguna de Conococha hasta el desvío hacia el poblado de Huallanca.

Después de diversos estudios se evidenció que la carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache se encontraba con un avanzado estado de deterioro, a la cual no se le efectuaba mantenimiento rutinario, desde hacía tiempo, por lo que era urgente la intervención a la misma, ya que generaba el constante malestar de los transportistas.

De similar modo se lanzó en el año 2007 la convocatoria al proceso de licitación N° PR-007032, para la elaboración del Estudio Definitivo para el Mantenimiento Periódico de la carretera Conococha – Yanacancha ya que era propicio realizar el mantenimiento para que las fallas que presentaban no afectaran el tránsito.

Por lo tanto, el problema de estudio de la tesis es:

¿Qué ventajas de la aplicación del Reciclado con Asfalto Espumado en la etapa de Post-Intervención se reportaron entre las carreteras de La oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache y Conococha – Yanacancha en los años del 2007 al 2013?

# CAPITULO II: LIGANTE ASFÁLTICO

## 2.1 Reseña Histórica

La historia del asfalto comienza hace miles de años. El asfalto se produce naturalmente en lagos de asfalto y en asfalto roca (una mezcla de arena, piedra caliza y asfalto). Los antiguos mesopotámicos lo utilizaban para impermeabilizar los baños y tanques de agua del templo. Los fenicios calafateaban las costuras de los buques mercantes con asfalto.

En los días de los faraones, los egipcios utilizaron asfalto para unir las rocas colocadas a lo largo de las orillas del Rio Nilo para así evitar la erosión y fue impermeabilizada con asfalto la cesta de Moisés infante cuando fue arrojado al Nilo.

El primer uso registrado de asfalto, como material de construcción de carreteras, se da en Babilonia en 625 A.C. Los antiguos Griegos también estaban familiarizados con el asfalto.

La palabra asfalto viene del griego “aspaltos”, que significa “seguro”. Los romanos lo utilizaban para sellar sus baños, embalses y acueductos.

1595 Europeos exploran el Nuevo Mundo y descubren depósitos naturales de asfalto. Sir Walter Raleigh descubrió asfalto en la isla de Trinidad. Lo utilizó para volver a calafatear sus naves.

1800 Thomas Telford construyó más de 900 kilómetros de carreteras en Escocia, perfeccionando el método de construcción de carreteras con piedras rotas. Más tarde, para reducir el polvo y el mantenimiento, constructores utilizaron alquitrán caliente para unir las piedras rotas en conjunto, la producción de aceras “Macadam”.

1870 El químico belga Edmund J. DeSmedt estableció el primer pavimento de asfalto real en los EEUU en Newark, Nueva Jersey.

La Compañía Cummer abrió las primeras centrales de las instalaciones de producción de mezcla asfáltica en caliente en los EE.UU. La primera patente de asfalto fue presentada por Nathan B. Abbott de Brooklyn, Nueva Jersey en 1871.

1907 La producción de asfalto del petróleo refinado superó a la utilización de asfalto natural. Con la popularidad de los automóviles, creció la demanda de más y mejores carreteras, esto llevó a las innovaciones, tanto en la producción como en la colocación del asfalto. Los pasos hacia la mecanización incluye tambores mezcladores y cemento portland, esparcidores mecánicos de hormigón para la primera máquina de asfalto.

1942 Durante la Segunda Guerra Mundial, la tecnología de asfalto mejoró en gran medida, impulsada por la necesidad de aviones militares para las superficies que pudiera hacer frente a cargas más pesadas.

## **2.2 Definición**

El Asfalto es una sustancia de color negro que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo. Se encuentra a veces en grandes depósitos naturales, como en el lago Asphaltites o mar Muerto, lo que se llamó betún de Judea. Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos y como revestimiento impermeable de muros y tejados (*Según la Real Academia Española*).

El asfalto es un material aglutinante de consistencia variable, de color oscuro, altamente impermeable, elástico, adherente y cohesivo, constituido por complejas cadenas de hidrocarburos no volátiles de elevado peso molecular, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

La ASTM define al asfalto o cemento asfáltico como “un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los asfaltenos que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la refinación del petróleo crudo”.

Se puede encontrar de dos formas: De manera natural y/o por refinación de petróleos.

- ASFALTOS NATURALES:

Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a “lagos de asfalto”, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la gilsonita. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza. No obstante, la mayor parte del asfalto producido y empleado en el mundo es extraído del petróleo del cual es obtenido exento de impurezas.

Figura 2.1a Laguna de Asfalto Natural



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com) - <http://www.dogguie.net/impresionante-lago-de-asfalto/>

- ASFALTOS POR REFINACIÓN DE PETRÓLEOS:

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados del petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más del 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de

asfalto y a veces casi en su totalidad. Sin embargo, existen algunos petróleos crudos que no contienen asfalto. En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.
- Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad.

Con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición. El petróleo crudo extraído de los pozos es sometido a un proceso de destilación, en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y kerosene de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior.

El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>). El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso, pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente. El alquitrán tiene bajo contenido de betún, mientras que el asfalto está compuesto casi enteramente por betún, entre otros compuestos.

El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

## **2.3 Técnicas de Producción**

El petróleo crudo está compuesto por distintos productos, incluyendo el asfalto. La refinación permite separar estos productos y recuperar el asfalto. Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su

temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles), y se separa para su posterior refinamiento en nafta, gasolina, kerosene y otros productos derivados del petróleo.

El residuo de este proceso de destilación es la fracción pesada del petróleo crudo, comúnmente llamado crudo reducido. Puede ser usado como fuel oil residual o procesado en distintos productos, entre ellos el asfalto. Para separar la fracción asfalto del crudo reducido se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener el cemento asfáltico. Según el proceso de refinación usado se obtiene cementos asfálticos de muy alta o de baja consistencia. Estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada.

### **2.3.1 Cemento Asfáltico de Petróleo CAP**

Es un material ideal para aplicaciones en trabajos de pavimentación por sus propiedades aglutinantes, impermeabilizantes, flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a los ácidos y álcalis en general. Se clasifican de acuerdo a su consistencia medida por la viscosidad dinámica o absoluta y por su penetración (PEN).

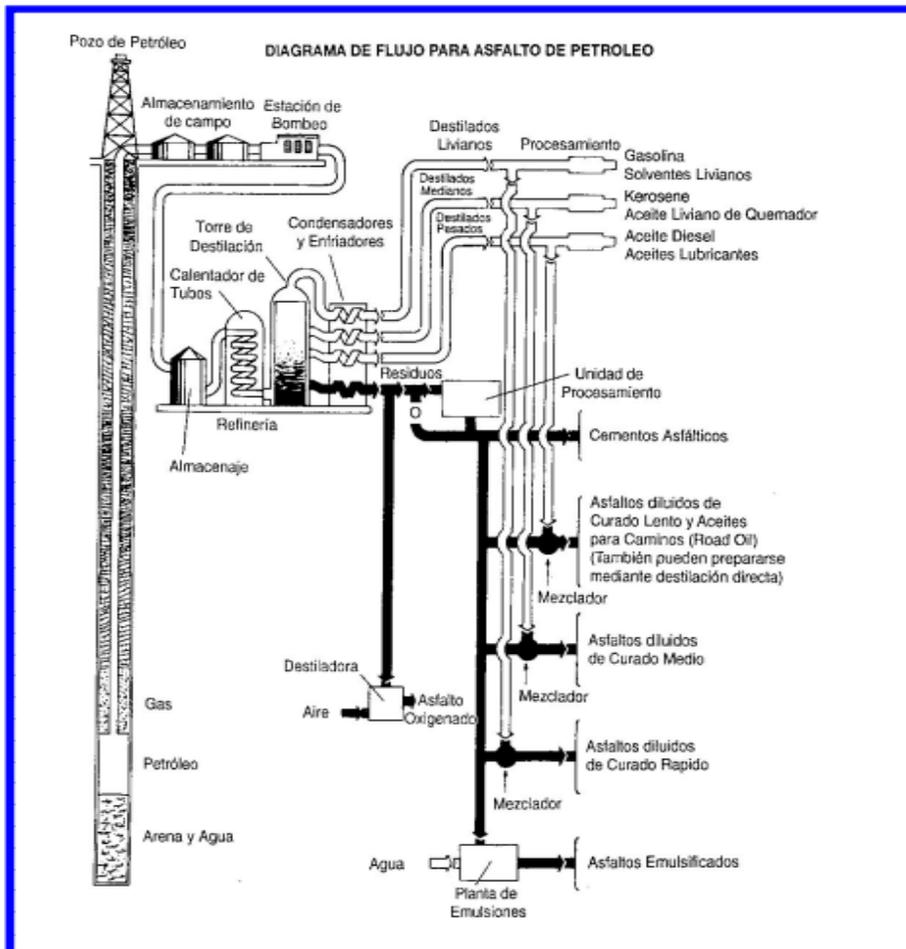
Los asfaltos se producen por la refinación del petróleo en unidades de destilación primaria y de vacío. El producto obtenido del fondo de la destilación primaria (crudo reducido) es destilado a 26 mm Hg. de presión de vacío y alta temperatura (del orden de 700° F). El producto obtenido por los fondos de la torre de vacío se llama “Residual Asfáltico” o Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP), semisólido a temperatura ambiente. Dicho CAP es obtenido a diferentes viscosidades las que miden su consistencia.

Los asfaltos obtenidos son denominados con la siguiente nomenclatura:

- CAP PEN: 60/70 (Penetración 60 a 70)
- CAP PEN: 85/100 (Penetración 85 a 100)

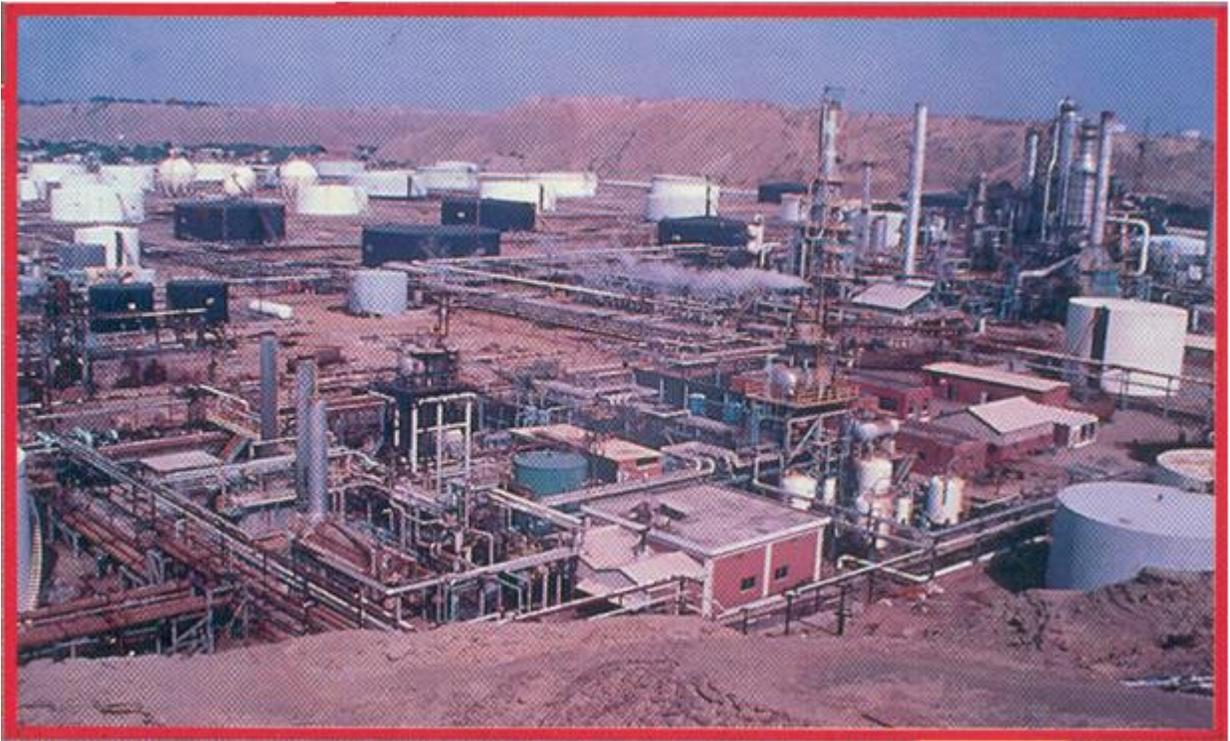
En la Figura 2.1, se observa el proceso por el cual tiene que pasar el petróleo para poder obtener el cemento asfáltico.

Figura 2.1. Diagrama del proceso del petróleo para obtener Cemento Asfáltico



Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

Figura 2.2. Planta de Refinería de Petróleo



Fuente: Manual de Pavimentos - CAPITULO III Tecnología del Asfalto por el Ingeniero Néstor Huamán Guerrero – Universidad Ricardo Palma.

#### - Clasificación de los CAP

Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes, ellos son: viscosidad, viscosidad después del envejecimiento y penetración. Cada sistema abarca diferentes grados de consistencia.

#### VISCOSIDAD

Este es el sistema más usado en los Estados Unidos. En el sistema de viscosidad el poise es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta. Cuanto más alto es el número de poises más viscoso es el asfalto.

El AC-2.5 (Cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60 °C ó 140 °F) es conocido como un asfalto “blando”. El AC-40 (Cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60 °C ó 140 °F) es conocido como un asfalto “duro”.

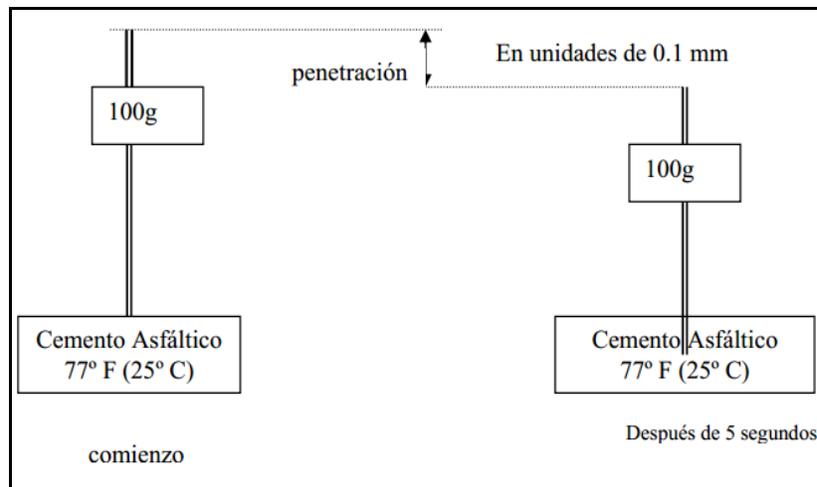
## VISCOSIDAD DESPUÉS DEL ENVEJECIMIENTO

La idea es identificar cuáles son las características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un ensayo patrón de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. Una vez más la unidad normal de medida es el poise.

## PENETRACIÓN

El tercer método usado para clasificar asfaltos es el de penetración. La Figura 2.3 muestra cómo se efectúa el ensayo de penetración. Una aguja normal se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200-300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas, de 200 a 300 décimas de milímetro. Esto es indicación de un asfalto “blando”. Un grado 40-50, por otro lado, es indicación de un asfalto “duro” en el cual la aguja fue capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro. La Tabla 2.3 muestra los distintos grados incluidos bajo este sistema.

Figura 2.3 Diagrama de la Prueba de Penetración



Fuente:[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_130\\_181\\_83\\_1178.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_130_181_83_1178.pdf)

Tabla 2. 1 Sistema de Clasificación por Penetración

<b>REQUISITOS PARA UNA ESPECIFICACION PARA CEMENTO ASFALTICO AASHTO M 20</b>										
<b>GRADO DE PENETRACION</b>										
	40 –50		60 –70		85 – 100		120 – 150		200 – 300	
	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max
Penetración, 25° C 100 g.,5 segundos	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto inflamador, cleveland, °C	450	-	450	-	450	-	425	-	350	-
Ductilidad 25° C, 5 cm por minuto	100	-	100	-	100	-	100	-	-	-
Solubilidad de triclorotileno, por ciento	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-
TFO 3.2 mm, 63° C, 5 horas										
Perdida por calentamiento, Por ciento	-	0.8	-	0.8	-	1.0	-	1.3	-	1.5
Penetración del residuo, Por ciento del original	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-
Ductilidad del residuo a 25° C. 5 cm por min., cm	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-
Prueba del mancha (cuando y como se especifica) (ver nota) : Solvente normal del nafta Solvente de nafta – xileno. % xileno Solvente de heptano – xileno. % xileno	Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados									

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

Nota: El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a usar la prueba. En el caso de los solventes de xileno, deberá de especificar el porcentaje de xileno a ser usado .

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute. Serie de Manuales N°22 (MS-22)

#### - CLASIFICACIÓN EN EL PERÚ

Los CAP son sólidos a temperatura ambiente y se clasifican por su consistencia de acuerdo al grado de penetración o por su viscosidad. En el Perú se utiliza la clasificación por penetración a 25°C. Los tipos de Cementos Asfálticos que ofrece REPSOL son:

- Cemento Asfáltico 60/70
- Cemento Asfáltico 85/100
- Cemento Asfáltico 120/150

De igual manera, PETROPERU clasifica de acuerdo a su consistencia medida por ensayo de penetración.

Los grados de Cementos Asfálticos que produce y comercializa PETROPERU son:

- Cemento Asfáltico 40/50 PEN
- Cemento Asfáltico 60/70 PEN
- Cemento Asfáltico 85/100 PEN
- Cemento Asfáltico 120/150 PEN

Los de mayor demanda en el mercado nacional son: CAP PEN 60/70 y CAP PEN 85/100.

También produce y comercializa los Asfaltos Sólidos para uso Industrial sólo en la Refinería Conchán:

- Cemento Asfáltico 10/20 PEN
- Cemento Asfáltico 20/30 PEN

### **2.3.2 Asfaltos Diluidos con Solventes de Petróleo (Cut Backs Asphalts)**

Llamados “Asfaltos Rebajados” y son el resultado de la dilución de cementos asfálticos por algún destilado de petróleo o conocido también como diluyente. La mayor cantidad de asfaltos diluidos o rebajados se fabrica por el método intermitente. Se bombea el solvente adecuado a un recipiente y cuando ya se dispone de una cantidad considerable, se añade asfalto caliente (fluido) y los componentes se mezclan por agitación mecánica. Cuando ya se tienen aproximadamente las proporciones correctas, se prueba el producto, y se hacen los ajustes necesarios, añadiendo solvente o asfalto. También se pueden mezclar en el asfalto diluido aditivos para mejorar su adherencia o para otros objetivos.

Si el solvente para diluir el asfalto es altamente volátil, entonces se evaporará rápidamente. Por el contrario, los de baja volatilidad lo hacen más despacio. Por lo tanto, basándose en la velocidad relativa de evaporación, se puede dividir a los asfaltos diluidos en tres tipos:

- a) **Curado rápido (RC);** constituido por cemento asfáltico y un diluyente liviano de alta volatilidad, generalmente con un punto de ebullición de rango similar a la nafta o gasolina (26% Nafta ó gasolina pesada).
- b) **Curado medio (MC);** constituido por cemento asfáltico y un diluyente mediano de volatilidad media, generalmente en el orden del punto de ebullición del kerosene (30% Kerosene).
- c) **Curado lento (LC);** constituido por cemento asfáltico y aceites de baja volatilidad (35% Diesel). El grado de fluidez de cada caso depende fundamentalmente de la proporción de solvente en el cemento asfáltico y en menor importancia, de la dureza del asfalto base del cual se hizo el diluido. Por lo tanto, de acuerdo al grado de fluidez, hay distintos tipos de asfaltos diluidos, algunos muy fluidos a temperatura ambiente, y otros más viscosos, que requerirán una pequeña cantidad de calor para hacerlos suficientemente fluidos para las operaciones a las que va a estar sometido.

Cada uno de estos tipos de ligantes presenta diferentes rangos de Viscosidad Cinemática o Relativa o Centistokes (cSt) determinada en función de la cantidad del diluyente empleado en la mezcla. Se define como la relación entre la viscosidad absoluta y la masa específica del fluido a la misma temperatura y presión (*Según CAPITULO III Tecnología del Asfalto del Ingeniero Néstor Huamán Guerrero (URP)*).

Son recomendados con demostrados y excelentes resultados en imprimaciones, lechadas asfálticas, riesgos de liga, tratamientos superficiales, micropavimentos y estabilización de suelos en superficies con necesidades de impermeabilización.

En la Figura 2.1, se muestra más detalladamente la secuencia para la producción de materiales asfálticos diluidos dentro del diagrama de procesamiento del petróleo.

### 2.3.3 Emulsiones Asfálticas

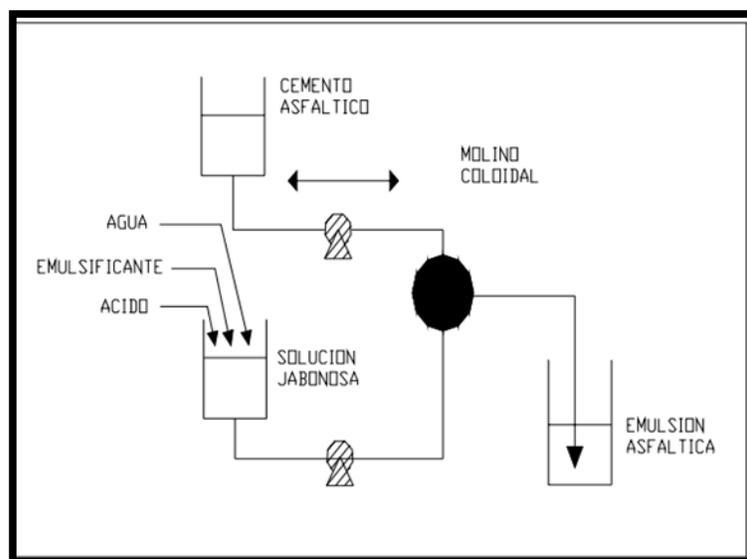
El equipo básico para preparar la emulsión incluye un dispositivo mecánico de alta velocidad y altamente cortante (usualmente un molino coloidal), para dividir el asfalto en glóbulos minúsculos. También se requiere un tanque de solución emulsificante, un tanque calentador de asfalto, bombas y medidores de flujo. El molino coloidal tiene un rotor de alta velocidad que rota a 1000-6000 r.p.m (17-100 Hz.) regulable a tolerancias del molino en un intervalo entre 0.01 a 0.02 plg. (0.25 a 0.50 mm), tal regulación produce emulsiones con tamaños de los glóbulos de asfalto menores que el diámetro de un cabello humano del orden de 0.001 a 0.005 plg (0.025 a 0.125 mm). Se usan bombas separadas para medir el asfalto y la solución

emulsificante en el molino coloidal. Debido a que la solución emulsificante puede ser altamente corrosiva, es necesario usar una bomba construida con materiales resistentes a la corrosión.

En el método general de producción de emulsiones se dirigen flujos concurrentes de cemento asfáltico fundido y agua tratada hacia la entrada del molino coloidal por medio de bombas de desplazamiento. El asfalto y el agente emulsificante se someten a intensos esfuerzos de corte a medida que pasan por el molino coloidal. La emulsión recién formada puede entonces bombearse a través de un intercambiador térmico.

El cemento asfáltico calentado base de la emulsión alimenta al molino coloidal, donde es dividido en glóbulos diminutos. Al mismo tiempo, al molino coloidal entra agua que contiene agente emulsificante. El asfalto se calienta a medida que entra al molino coloidal para asegurar una baja viscosidad, ajustando en forma correspondiente la temperatura del agua. Estas temperaturas varían, dado que dependen de las particularidades del emulsionado del cemento asfáltico y de la compatibilidad entre el asfalto y el agente emulsificante. No se usan temperaturas extremadamente altas en razón de que la temperatura de la emulsión que deja el molino debe estar por debajo del punto de ebullición del agua.

Figura 2.4 Diagrama de Producción de Emulsión Asfáltica



Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas del Asphalt Intitute. Serie de Manuales N° 19 (MS-19)

## **2.4 Producción de Asfaltos en el Perú**

En el Perú se producen asfaltos en la refinería de Talara, Conchán (Petroperú) y en la Refinería de La Pampilla (privatizada), aunque también se tiene otras refinerías como la refinería de Iquitos y la refinería de Pucallpa, en estas no se producen asfaltos. De estas refinerías, la que tiene mayor variedad en la producción de asfaltos es la refinería Conchán, produciendo asfaltos para pavimentación y asfaltos de uso industrial.

Los de mayor demanda en el mercado nacional son: CAP PEN 60/70 y CAP PEN 85/100. Sin embargo; la demanda nacional de asfalto para pavimentación, en la actualidad, está por debajo de la capacidad de producción que tenemos en las refinerías de Conchán, Talara y La Pampilla.

Esta demanda es aproximadamente de 2,000 a 2,500 barriles de asfalto por día, mientras que la capacidad de producción es de 15,000 barriles de asfalto por día aproximadamente.

### **2.4.1 Asfaltos en Petroperú**

Los asfaltos que produce Petroperú, se hacen en base a especificaciones técnicas vigentes que permanentemente son actualizadas dando como resultado una calidad Innovada y Mejorada. En razón a ello, presentan una calidad de exportación, teniendo aplicabilidad diversa y éxito en países con climas calurosos, templados, fríos y frígidos. Petroperú exporta asfalto a Ecuador, Bolivia y Chile.

En este sentido, cuidadosos y estrictos controles de calidad demuestran que los asfaltos que produce Petroperú cumplen con los requerimientos de entidades mundiales tales como:

- Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transportes Oficiales – Norma AASHTO M20/ M81 Y AASHTO MP1 (SUPERPAVE).
- Sociedad Americana para Ensayos y Materiales – Normas ASTM D946/D2028.
- Instituto Del Asfalto USA
- Instituto Francés de Petróleo

## 2.4.2 Asfaltos en Repsol

Repsol cuenta con un moderno laboratorio en la Refinería La Pampilla, así como el respaldo internacional de la filial de Argentina y del Centro de Investigación Tecnológico de la casa matriz de Repsol en Madrid-España.

Se producen asfaltos en España, Argentina, Perú y Portugal. Este asfalto destinado mayormente a carreteras, llega a lugares como Francia, Inglaterra, Bolivia, Paraguay, Islas Azores, Madeira y las regiones como el norte de África.

Además, se implementó nuevas técnicas respetuosas con el medio ambiente que permiten la utilización de materiales y buscan disminuir el impacto que estos puedan tener con el entorno.

La necesidad de fabricar asfaltos cada vez más seguros y de mayor calidad ha llevado a Repsol a investigar e innovar en este sentido.

En el Perú, Repsol produce cementos asfálticos y asfaltos líquidos en Refinería La Pampilla, ubicada en el distrito de Ventanilla, Callao, Lima.

Figura 2.5 Refinería la Pampilla-Repsol



Fuente: <https://www.google.com.pe>

## 2.5 Composición del Asfalto

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre fase continua y dispersa. Las primeras experiencias para descubrir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffer y Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos.

Existen varias clasificaciones para los grupos de constituyentes que componen el asfalto. Una de las más usadas es la que separa el asfalto en:

- *Asfaltenos*: Son compuestos de alto peso molecular, principalmente de naturaleza aromática con pocas ramificaciones, se encuentran en sus cadenas de cantidad apreciables elementos como oxígeno, azufre y nitrógeno. Los asfaltenos le dan la característica de dureza al asfalto y se encuentran disueltos en los maltenos.

Se consideran la estructura del asfalto. Proporcionan la dureza al asfalto, no intervienen directamente en la adherencia de los materiales pétreos y su presencia es fundamental en las propiedades mecánicas del asfalto.

- Maltenos:

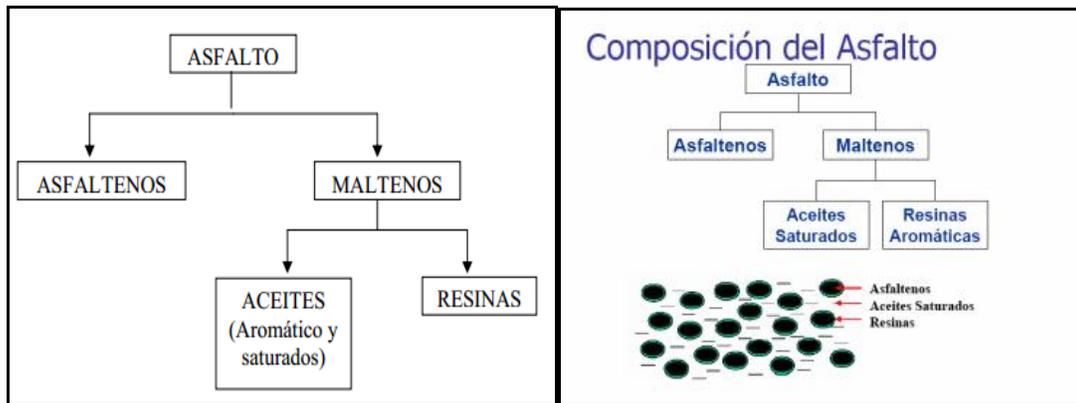
- a) *Resinas*: Son moléculas de menor peso molecular, que tienen un mayor número de ramificaciones en las cadenas. También se observa la presencia de azufre y nitrógeno en sus cadenas, pero en menor frecuencia.

Además, son líquidos a temperatura ambiente. Reblandecen y envejecen el asfalto. Dan las características cementantes o aglutinantes.

- b) *Aceites*: Moléculas de peso molecular mucho menor, sus cadenas son menores ramificadas y con pocos anillos. Son considerados como líquidos a temperatura ambiente. No cambian con el tiempo y afectan a la susceptibilidad térmica. Un asfalto con alto contenido de aceite se comporta como un fluido viscoso.

Ver Figura 2.6 como muestra de la clasificación del asfalto.

Figura 2.6 Conformación del Asfalto



Fuente: Asfáltica Revista Técnica N° 8, Enero 2007, Pág. 48. Asociación Mexicana del Asfalto

Podemos decir que los maltenos están ligados con las propiedades elásticas de los asfaltos.

Observamos que al pasar de los asfaltenos a los aceites, existe una disminución gradual de componentes aromáticos y un aumento en el carácter parafínico.

En forma general, la presencia de parafina influye en las propiedades reológicas del asfalto.

La estructura cristalina de la parafina sólida ocasiona un endurecimiento mayor en el asfalto; a temperaturas más elevadas la parafina se licúa, lo que ocasiona una variación sensible en las viscosidades del asfalto.

La parafina disminuye la adhesividad de los asfaltos en los agregados y una elevada cantidad de ella, puede provocar un envejecimiento prematuro del ligante, influyendo sobre la duración y tiempo de vida útil del pavimento.

## 2.6 Propiedades Físicas del Asfalto

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

- **Durabilidad**

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

- **Adhesión y cohesión**

La adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse o pegarse al agregado en la mezcla de pavimentación. La cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

No existe un ensayo directo sobre el asfalto el cual mida estas propiedades. Sin embargo, sí es posible medir la adherencia de un asfalto con un agregado específico. Esta es una propiedad muy importante en una mezcla asfáltica por lo que se discutirá más adelante con más detalle.

- **Susceptibilidad a la temperatura**

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

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.

Es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura puesto que debe tener suficiente fluidez para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

- **Endurecimiento y envejecimiento**

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto (como la película que recubre las partículas de agregado).

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

## **2.7 Fortalezas y Debilidades del Asfalto**

Se explica las Fortalezas y Debilidades del asfalto, similar al sistema de análisis Fortalezas Oportunidades Debilidades y Amenazas (FODA). Ha sido planteado por el Ingeniero Néstor Huamán Guerrero, catedrático de la Universidad Ricardo Palma.

- FORTALEZAS
  - Consistencia
  - Adhesividad
  - Impermeabilidad
  - Durabilidad
- DEBILIDADES
  - Muy susceptible a los cambios de temperatura
  - Sufre envejecimiento por intemperismo
  - Afectado por la oxidación y la fotodegradación
  - Propiedades mecánicas muy pobres
  - Quebradizo a bajas temperaturas
  - Fluye a temperaturas un poco arriba de la temperatura ambiente
  - Tiene una baja recuperación elástica, que limita ampliamente su rango de utilidad

Sobre las DEBILIDADES es que se debe actuar.

El conocimiento del asfalto por su Penetración y Viscosidad no es suficiente, debido a esto se define Comportamiento Reológico del Asfalto.

## **2.8 Reología del Asfalto**

La Reología, descrito por el *Ing. Néstor Huamán Guerrero. Reología del Asfalto. Universidad Ricardo Palma. II Simposio Internacional de Pavimentos Lima-Perú 2013*, es la ciencia de la deformación y el flujo de materiales bajo una fuerza externa. La Reología del Asfalto describe y caracteriza completamente las propiedades visco-elásticas del asfalto en función de la temperatura y el tiempo de carga.

El comportamiento visco-elástico se puede caracterizar por al menos dos propiedades:

→ La resistencia total a la deformación ( $G^*$  Módulo Complejo).

→ La distribución relativa en esa resistencia, entre la parte viscosa y la parte elástica ( $\delta$  Ángulo de Fase).

En resumen; el comportamiento reológico del asfalto es:

A temperaturas intermedias entre  $0^\circ$  y  $45^\circ$  C, los asfaltos son más duros y elásticos que a mayores temperaturas y el mayor problema es la fisuración por fatiga causada por la repetición de ciclos de cargas.

Son importantes tanto  $G^*$  como  $\delta$ , pues el daño producido por la carga estará en relación de cuanta deformación se produce y cuánta de esa deformación es recuperable.

A temperaturas por debajo de los  $0^\circ$  C, el mayor problema es la fisuración térmica, debido a las tensiones que se producen en las capas de pavimento por la contracción térmica que ocurre al bajar las temperaturas.

La magnitud de estas tensiones viene dada por la rigidez, la resistencia a la deformación del ligante y por su habilidad para relajar estas tensiones disipando la energía producida en un flujo permanente.

- Propiedades Reológicas Físico - Mecánicas

Estas propiedades son determinantes para calificar la capacidad del asfalto:

- a) *Viscosidad*: Propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. Los fluidos de alta viscosidad presentan mayor resistencia a fluir en comparación de un fluido con baja viscosidad que fluye con facilidad. Es importante mencionar que la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura; a mayor temperatura, menor viscosidad.
- b) *Elasticidad*: Propiedad que tienen los materiales para recuperar su forma al finalizar o disminuir la carga que los modifica.
- c) *Resistencia al Corte*: Es la capacidad de resistencia a altas temperaturas, la cual se determina con un “reómetro de corte dinámico”, que es el aparato que imprime una fuerza cortante cosenoidal con la que se miden dichas resistencias.

- d) *Ductilidad*: Es la capacidad de disipación de energía que tiene un material dentro de su rango plástico. La rotura del material es dependiente de la deformación del mismo. En el caso del asfalto, la ductilidad le permite normalmente tener mejores propiedades aglomerantes, y los asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura.
- e) *Pérdida de masa*: Es la pérdida de solventes o ligeros (máximo 0.8% en prueba RFTO)

## **2.9 Empleo del Asfalto en Carreteras**

El asfalto refinado resulta ser de gran relevancia en el ámbito de las estructuras viales. Se emplean con éxito en la construcción de carreteras, pistas de aeropuertos, impermeabilizaciones, y además, en revestimientos.

El empleo se realiza como comúnmente se les llama “Ligantes Asfálticos”, y son los que a continuación se mencionan:

### **2.9.1 Empleo del Cemento Asfáltico de Petróleo CAP**

Cumple con las especificaciones necesarias para ser utilizado en pavimentos flexibles. Es semisólida a temperaturas normales y es conocido como el material básico. Se logra calentar hasta adquirir una consistencia líquida antes de agregársele a los materiales pétreos para formar mezclas asfálticas.

El CAP es un ligante pesado utilizado en la preparación de mezclas asfálticas calientes. Se designa seleccionando un rango de penetración o grado de dureza apropiado para el tipo de construcción, condiciones climáticas y la naturaleza del tráfico a la que el pavimento estará expuesto.

La calidad se ve afectado por las propiedades inherentes del petróleo crudo del cual proviene. El método de refinación tiene un peso importante en la calidad y características del CAP.

Debe presentar las siguientes características técnicas:

- Excelente adherencia.

- Óptima ductibilidad, plasticidad y elasticidad que le otorgan gran manejo, eliminando así la fragilización.
- Adecuada dureza y viscosidad, lo cual permite su uso específico para cada condición de clima.
- Presentan bajo índice de susceptibilidad térmica, permitiendo un comportamiento estable ante las variaciones de temperatura del ambiente.
- Excelente estabilidad a la oxidación.
- Muy resistente al agua y a la mayoría de ácidos y álcalis.

### **2.9.2 Empleo de los Cut Backs Asphalts**

Los asfaltos líquidos se producen diluyendo un cemento asfáltico con un solvente derivado del petróleo o con agua (mediante la inclusión de un emulsificante) que le imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado. Se trata de productos líquidos a temperatura ambiente y que se aplican en técnicas de mezclado en frío, pudiendo calentarse hasta una máxima temperatura de 70 °C, según requerimiento de uso. Los más utilizados son los de Curado Medio (MC) y los de Curado Rápido (RC), y por último, las emulsiones asfálticas convencionales y modificadas con polímeros.

Si el solvente utilizado es un derivado del petróleo, se obtiene un asfalto líquido tipo “Cutback”. Si en cambio, se utiliza agua más emulsificante, se obtiene una Emulsión Asfáltica.

Los asfaltos Cut Backs tienen el 99% de aceptación en el Perú, sin embargo, en EEUU, desde 1970 se ha desterrado el uso del mismo gracias a un Decreto Supremo o Ley, en el cual se dispuso la negativa de utilización, debido a que estos producían cáncer en las personas y alta contaminación en el ambiente (*Según Manual de Pavimentos, por el Ingeniero Néstor Huamán Guerrero - Universidad Ricardo Palma*).

Son clasificados de acuerdo a su tiempo de curado. En el Perú se producen los siguientes tipos de asfaltos líquidos:

Tabla 2. 2 Tipos de Asfaltos Líquidos producidos en el Perú

Asfaltos de Curado Rápido	Asfaltos de Curado Medio	Asfaltos de Curado Lento
RC-250: Siendo de mayor demanda en el mercado Nacional, 85% aproximadamente.	MC-30: Este tipo de asfalto de curado medio es el de mayor demanda en el mercado nacional.	Este tipo de asfaltos no se produce en el Perú, debido a que no existe demanda en el mercado nacional.
RC-70: Se vende en menor proporción que el RC-250, siendo del orden del 15% de demanda nacional.	MC-70: De menor demanda nacional.	El N° indica su viscosidad cinemática en SSF (Segundos SayboltFurol).
RC-500:		

Fuente: Manual de Pavimentos - CAPITULO III Tecnología del Asfalto del Ingeniero Néstor Huamán Guerrero-Universidad Ricardo Palma.

Existen diversas aplicaciones, que esquemáticamente son las siguientes:

- Tratamientos superficiales.
- Riegos de imprimación.
- Micropavimentos.
- Estabilización de suelos en superficies con necesidades de impermeabilización.
- Lechadas asfálticas.
- Bacheos.
- Riegos de liga.

### 2.9.3 Empleo de la Emulsión Asfáltica

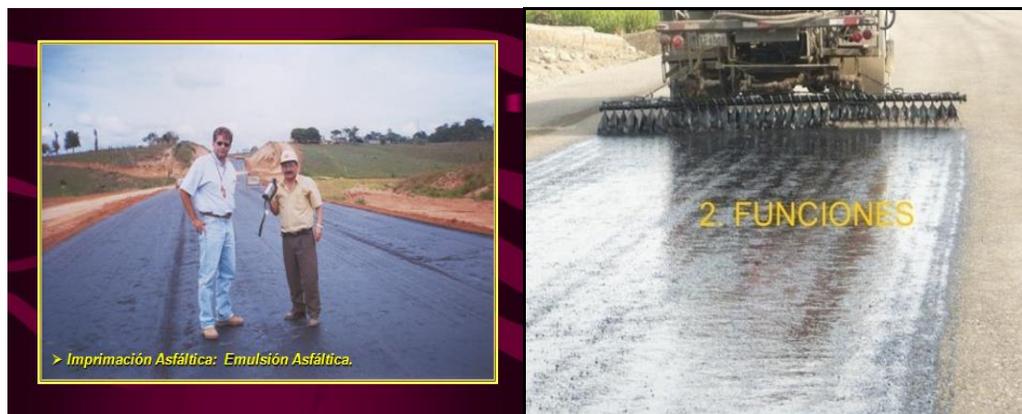
Las Emulsiones Asfálticas se empezaron a usar desde el año 1920. Primero fueron las de tipo aniónico, que permitían un resultado satisfactorio con áridos calizos, y desde hace más de medio siglo, las de tipo catiónico, que amplían el campo de aplicación a todo tipo de áridos.

En América es notable el incremento de interés y consumo a partir de la crisis de 1974. En los EEUU se ha creado la asociación AEMA (Asphalt Emulsion Manufacturers Association) que realiza una importante labor de coordinación y divulgación. En Latinoamérica hay que destacar el desarrollo de México, Brasil, Colombia, y Argentina, entre otros países, con unas industrias dinámicas en el desarrollo de las emulsiones.

Existen diversas aplicaciones de las emulsiones, que esquemáticamente son las siguientes:

- Tratamientos superficiales con riego.
- Riegos de penetración (Ver Figura 2.6a)
- Mezclas asfálticas abiertas.
- Estabilización de suelos.
- Mezclas asfálticas densas.
- Lechadas asfálticas (SlurrySeal).
- Bacheos.
- Riegos solo de ligante.
- Reciclado en Frío.
- Micropavimentos.

Figura 2.6a Riego Asfáltico con Emulsión Asfáltica



Fuente: Manual de Pavimentos - Capítulo I Tecnología del Asfalto por el Ingeniero Néstor Huamán Guerrero – Universidad Ricardo Palma.

### **2.9.3.1 Versatilidad ante Climas y Materiales**

Anteriormente, el uso de ligantes asfálticos exigía áridos calientes para los sistemas en caliente y áridos secos para las técnicas en frío. En la actualidad con las emulsiones asfálticas los áridos se utilizan húmedos.

El empleo de activantes (mejoradores de adherencia) mejoraba la adhesividad, incluso en presencia de humedad, y permitía el uso de áridos silicios que, por otro lado, son los de mejor comportamiento mecánico, con el uso de las emulsiones no se requieren de dichos mejoradores.

Por otro lado, al poder variar los numerosos componentes que intervienen en una emulsión, pueden ajustarse las características de la misma para solucionar adecuadamente cada problema concreto. Por ejemplo, para un riego con gravilla en época desfavorable, puede acortarse el tiempo de rotura y aumentar la viscosidad. Por el contrario, en tiempo muy cálido puede aumentarse la estabilidad.

La misma versatilidad de formulación permite adaptar la emulsión a características específicas o marginales de áridos diseñándola, quiere decir, que las emulsiones asfálticas usadas en Lima, no pueden ser las mismas que utilizan en Ica, Huaraz, Huánuco, Pucallpa, Iquitos, porque sus áridos no son los mismos.

### **2.9.3.2 Ahorro Energético**

El ahorro energético es una preocupación dominante en los últimos años. En la construcción de pavimentos flexibles se han analizado los componentes energéticos tanto a los materiales en sí, como a las operaciones de transporte y puesta en obra. En el caso de las técnicas en frío, el gran ahorro energético se consigue evitando el uso de asfaltos diluídos (MC y RC); y eliminando los procesos de calentamiento de los áridos como en las tecnologías en caliente. En una planta, la energía usada en secar y calentar áridos es la siguiente:

Porcentaje de humedad del árido: 3% - 5% - 7%

Consumo de fuel (Kg/ton): 6.5 - 8.5 - 10

Como se puede apreciar, se trata de valores muy importantes, a los que habría que añadir un mayor consumo energético en el transporte, mayores distancias, manipulación, compactación, etc., que en el caso de que la mezcla se realice en frío. La energía consumida en la fabricación de emulsiones es muy pequeña.

En el caso de los riegos superficiales, bien en negro (liga, imprimación), o bien con gravilla, el consumo energético por unidad de superficie es superior, en más del doble, cuando se usan asfaltos diluidos que cuando se emplean emulsiones.

Otro factor importante en el uso de emulsión, en operaciones tendentes a ahorrar energía, es el reciclado de pavimentos asfálticos en frío. La técnica de reciclado se emplea hoy en día profusamente para aprovechar los ligantes y pavimentos antiguos que se han degradado o agrietado. Suelen usarse sistemas de reciclado in situ mediante máquinas complejas que escarifican, disgregan, añaden ligante nuevo, mezclan y extienden. También se usan sistemas de remezclado en plantas fijas. Se han realizado numerosos trabajos usando emulsiones de rotura lenta, y modificadas con polímeros para la regeneración de la mezcla antigua. El procedimiento es el más económico, tanto desde el punto de vista económico como desde el energético.

### **2.9.3.3 Las Emulsiones Asfálticas y el Medio Ambiente**

Las publicaciones aparecidas en los últimos años sobre las técnicas de asfaltado y sus incidencias ecológicas, es por la agresión sobre los operarios en los trabajos de carreteras o bien, al daño causado a los seres vivos. Respecto al tipo de técnica empleada, hay que destacar los siguientes problemas:

- Humus debido al calentamiento de ligante y áridos mediante quemadores de fuel o petróleo (planta de asfalto en caliente).
- Gases de los cementos asfálticos emanados de los tanques de almacenamiento y calefacción, de las cisternas de transporte y los producidos durante la extensión y compactación de las mezclas (mezcla en caliente).

- Polvo debido al manejo de áridos y, muy especialmente al funcionamiento de los secadores en las plantas asfálticas en caliente que no tengan dispositivos adecuados para evitar su lanzamiento a la atmósfera.
- Evaporación de solventes cuando se emplea mezclas en frío con asfaltos diluidos como el RC-250.

Respecto a la comunidad, se ha conseguido mediante una serie de medidas, paliar el efecto del polvo de las plantas asfálticas en caliente, que tradicionalmente es pernicioso para las personas y animales, así como para la vida vegetal. En zonas poco aireadas y pobladas, el empleo de asfaltos diluidos, especialmente aquellos que contienen alto porcentaje en componentes ligeros, como son el MC y RC, contaminan seriamente al evaporarse dichos componentes, produciendo una contaminación más importante que la que puede atribuirse a un tráfico intenso. El caso puede ser especialmente grave si se usan en imprimaciones o riegos similares, u otros tratamientos derivados del alquitrán u otros productos agresivos. También hay que mencionar las notables molestias que producen los actuales sistemas de reciclado en caliente en zonas urbanas en donde se unen los gases emitidos por los quemadores a los humos de la combustión de residuos de los pavimentos antiguos.

El problema es más grave desde el punto de vista de los operarios. Recientes estudios de distintos organismos americanos han puesto de manifiesto que los maquinistas de extendedoras y de tanques regadores, así como los reglistas y el personal que está en las inmediaciones de la obra, están sometidos a la agresión de una serie de compuestos nocivos muy superior a la que toleran las autoridades sanitarias y laborales. No hay que olvidar que este personal permanece durante muchas horas al día sometido a acciones perniciosas. Para terminar, parece imprescindible y obvio decir que el empleo de emulsiones, elimina casi por completo los riesgos indicados en los párrafos anteriores. Las razones son tan evidentes que no es necesario insistir en ellas.

## **2.10 Transporte y Almacenamiento**

El transporte de cemento asfáltico puede efectuarse en tambores o a granel. En el caso de tambores su entrega esta limitada a obras de pequeña envergadura.

El transporte a granel puede efectuarse en camiones o en vagones ferroviarios; el más común es en camiones.

Tanto el transporte como el almacenamiento a granel, requieren calentamiento, existiendo los siguientes procesos:

- Serpentes calentados con vapor de agua.
- Serpentes calentados por circulación de aceite.
- Serpentes calentados por gases de combustión.

El calentamiento a temperaturas elevadas por un tiempo prolongado, altera sensiblemente la constitución del asfalto, modificando sus propiedades. Se recomienda mantener los estanques de almacenamiento a temperaturas no superiores a 160 °C.

El calentamiento nunca debe efectuarse a través de llama directa debiendo usarse preferentemente, calentamiento a través de serpentines al interior de los estanques. En la operación de carga y descarga de asfalto a granel, es necesario verificar si los estanques están suficientemente limpios, a fin de eliminar cualquier grado de contaminación.

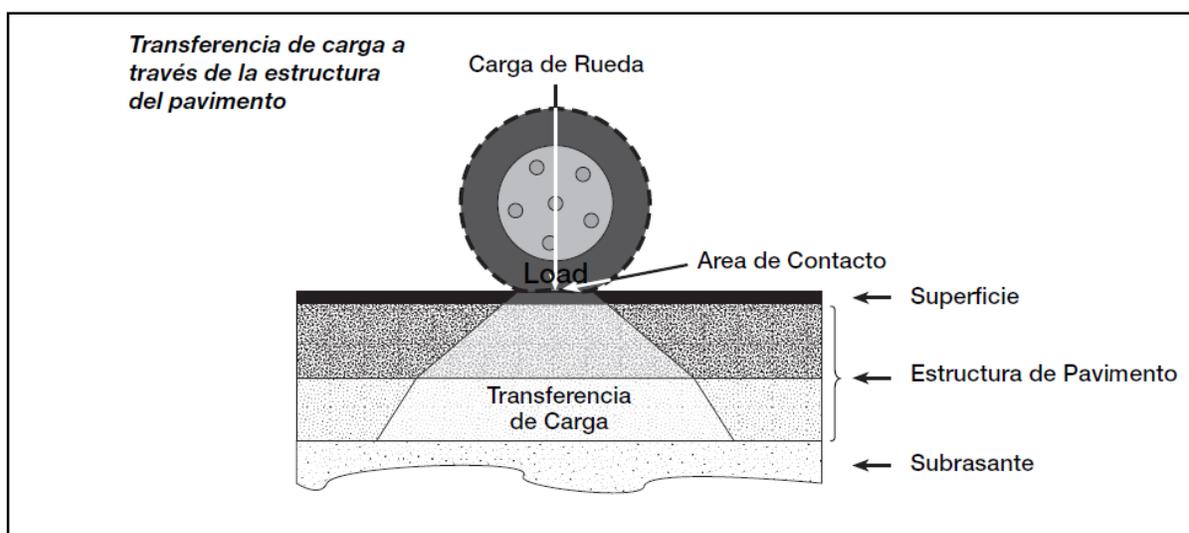
# CAPÍTULO III: PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS

## 3.1 Generalidades

En el mundo, los caminos se construyen bajo cualquier condición ambiental, desde climas desérticos con altas temperaturas a regiones altamente lluviosas tipo tundra glacial. Sin importar la condición ambiental, todos los proyectos de caminos se diseñan con el mismo objetivo de resistir las cargas de tráfico, utilizando el principio mecanicista de transferencia de carga (generada en la superficie) hacia las capas inferiores de la estructura, de tal forma que la subrasante pueda resistir el tránsito sin sufrir deformaciones. Las condiciones ambientales y las cargas de tráfico proyectadas, son los dos principios fundamentales que definen los requerimientos estructurales en cualquier tipo de pavimento.

La superficie o capa de rodadura es la única parte visible de un camino. Bajo esta superficie, existe una estructura constituida por varias capas de distintos materiales, que en ciertos casos puede alcanzar profundidades mayores a 1,0 metro. La estructura del pavimento bajo la superficie es la sección de la carretera que realiza el trabajo de soportar las cargas de tránsito. El peso de los vehículos aplicada en la superficie se transfiere o disipa a la “subrasante” (material natural bajo el pavimento) a través de la estructura del pavimento. La subrasante generalmente es una capa débil en términos de capacidad de soporte, las fuertes cargas de tráfico aplicadas en la superficie del pavimento se van distribuyendo sobre un área más grande en las capas inferiores de la capa de rodadura hasta llegar a la subrasante, como se ilustra en la Figura 3.1.

Figura. 3.1 Transferencia de carga



Fuente: Manual Wirtgen - Manual de Reciclado en Frío  
Segunda Edición Noviembre del 2004

Cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento varía en su composición y espesor (generalmente entre 125 mm a 200 mm). Las capas de la superficie son construidas utilizando materiales de alta resistencia (por ejemplo, una mezcla asfáltica en caliente) con el objetivo de resistir las altas tensiones producidas por las cargas de tráfico. A medida que la carga se distribuye sobre un área mayor en las capas inferiores, el nivel de tensiones se reduce. Por lo tanto, las capas inferiores pueden estar constituidas por materiales de calidad inferior (por ejemplo, materiales granulares).

Los pavimentos de carreteras se clasifican básicamente en dos tipos:

- Pavimentos rígidos, con una capa gruesa de concreto hidráulico de alta resistencia sobre una base granular estabilizada.
- Pavimentos flexibles, construidos de materiales naturales con las capas superiores con algún tipo de ligante (usualmente asfalto y/o levemente cementadas).

Es importante mencionar que solo los pavimentos flexibles se pueden reciclar en frío, los pavimentos rígidos son demolidos al finalizar su vida útil.

## **3.2 El Pavimento como Estructura**

Los pavimentos tienen los siguientes componentes: Carpeta Asfáltica, Base, Sub Base y Sub-Rasante, cada uno de ellos tiene una función distinta que se definirá a continuación.

### **3.2.1 Carpeta Asfáltica**

La Carpeta Asfáltica es la capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base para satisfacer las siguientes funciones:

- Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita el tránsito fácil y cómodo de los vehículos.
- Impedir la filtración de agua hacia las capas inferiores, ya que el exceso de humedad disminuye la capacidad portante de estas capas ocasionando fallas estructurales.
- Resistir la acción destructora de los agentes climáticos y desgaste provocados por los vehículos.

### **3.2.2 Base**

La Base es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mantenimiento (estabilización) y además de transmitirlas de forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada de las carpetas asfálticas. En caso contrario, cuando las bases se constituyen con materiales inertes y se empieza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales.

### **3.2.3 Sub-base**

La Sub-Base es la capa que se encuentra entre la base y la sub-rasante, cumple un importante aspecto económico ya que convierte un cierto espesor de la base a un espesor equivalente de

material de sub-base, como la sub-base es una de las capas localizada en la parte inferior del pavimento, los esfuerzos ejercidos en ella son menores, es por eso que el material a usar en su composición es de menor capacidad portante. La Sub-Base también previene la intrusión de los finos del suelo de sub-rasante en las capas de base para lo cual se debe especificar materiales de graduación relativamente densa, minimiza los daños por efecto de las heladas y en estos casos se debe especificar materiales con alto porcentaje de vacíos, ayuda a prevenir la acumulación de agua libre dentro de la estructura del pavimento, en este caso se debe especificar material de libre drenaje y colectores para evacuar el agua.

### **3.2.4 Sub-rasante**

La función de la Sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor sea la calidad del material de esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en los costos sin alterar la calidad.

El comportamiento de los suelos de Sub-rasante tiene una gran influencia en los pavimentos porque sobre ellos descansan y reciben todas las cargas que son transmitidas por el mismo pavimento.

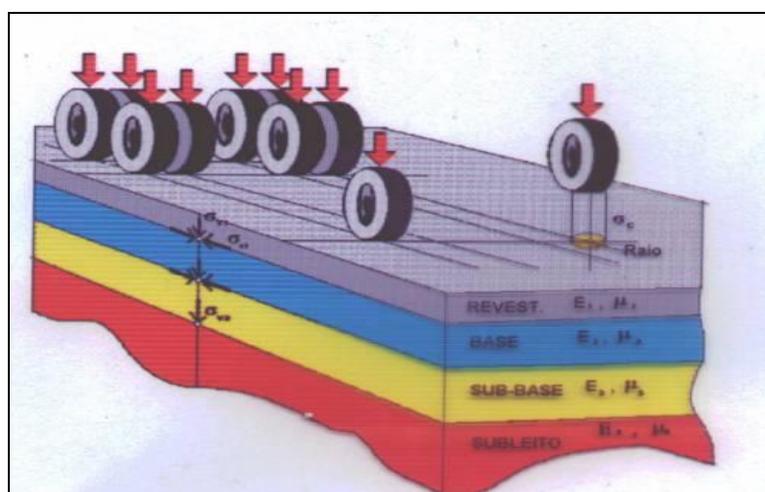
La Sub-rasante o material natural que soporta la estructura del pavimento puede estar compuesto por material in-situ (si se trata de una condición de corte) o material importado a la obra (si se trata de una condición de relleno). Las características de resistencia del material de Sub-rasante determinan las características de la estructura de pavimento requerida para disipar las fuerzas aplicadas en la superficie. Estas fuerzas deben ser reducidas hasta alcanzar una magnitud tal que pueda ser tolerada por la sub-rasante, evitando la deformación permanente de la misma. Los métodos de diseño de pavimentos generalmente utilizan la resistencia y rigidez de la Sub-rasante como parámetros de entrada. La determinación de estos parámetros tiene por objetivo el proveer a la estructura de la resistencia necesaria para proteger la Sub-rasante. Este método o aproximación al diseño de pavimentos fue adoptado por primera vez en la década de los 50', con el método de diseño empírico denominado Razón de Soporte California (California Bearing Ratio o CBR), el cual ha perdurado hasta el siglo 21. En general, las

estructuras de pavimento de gran espesor son construídas para proteger una capacidad de soporte deficiente de la Sub-rasante.

La representación del suelo de fundación en el diseño de estructuras es por medio del MODULO DE RESILENCIA (MR) y por este factor se puede definir el tipo de pavimento que se colocará en la vía proyectada.

Se puede observar gráficamente la acción de los esfuerzos producidos por los vehículos en el pavimento en la Figura 3.2.

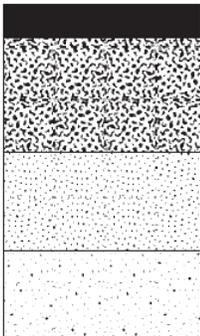
Figura 3.2 Esfuerzos ejercidos al pavimento



Fuente: Manual de Pavimentos - CAPITULO I Tecnología del Asfalto por el Néstor Huamán Guerrero – Universidad Ricardo Palma.

La Figura 3.3 muestra los tipos de materiales que comúnmente se utilizan para construir pavimentos flexibles.

Figura 3.3 Estructura del Pavimento

<i>Estructuración típica de pavimentos flexibles</i>	<i>Posición relativa en la estructura</i>	<i>Material de construcción</i>
	 Superficie	Asfalto o sello asfáltico
	Base	Mezcla asfáltica/granular estabilizado con asfalto o cemento/granular
	Subbase	Granular estabilizado con asfalto o cemento/granular
	Subrasante	Granular estabilizado con cemento/granular/material in-situ

Fuente: Manual Wirtgen - Manual de Reciclado en Frío

Segunda Edición Noviembre del 2004

### 3.3 Tipos de Fallas

Definiremos como falla a las condiciones que se presentan en un pavimento, cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado.

#### 3.3.1 Falla Estructural

##### 3.3.1.1 Definición

La falla estructural es una deficiencia del pavimento que ocasiona de inmediato o posteriormente una reducción en la capacidad de carga de éste. En su etapa más avanzada, la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento, a la que se le asocia precisamente el Índice de Servicio\*, no necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que lo primero es consecuencia de su incapacidad para soportar cargas de proyecto.

Las fallas las podemos clasificar tomando en cuenta el elemento estructural donde se originan:

- Fallas atribuibles a la carpeta.

- Fallas originadas en la interface, carpeta-base, como consecuencia de un mal acoplamiento entre el material de base y carpeta.
- Fallas originadas en la base, sub-base o sub-rasante, como consecuencia de la inestabilidad de una o varias de estas capas.
- Fallas originadas por la repetición de cargas.
- Fallas ocasionadas por agentes climatológicos.

### **3.3.1.2 Evaluación**

#### 3.3.1.2.1 Métodos no Destructivos

Se denominan así, debido a que permiten estudiar la capacidad estructural existente de un pavimento sin necesidad de intervenir este en ningún punto. Entre los métodos no destructivos, se reconocen dos clases: Medidas de Deflexión y Evaluaciones Empíricas.

a) Medidas de Deflexión: Estos métodos se basan en producir deformaciones elásticas o deflexiones en el pavimento mediante dispositivos especiales, los cuales actúan bajo una sollicitación estática o dinámica. Estas deflexiones desaparecen una vez que deja de actuar el dispositivo de medición. Existen varios equipos capaces de medir deflexiones, destacándose entre los más usados en nuestro país los siguientes:

i) Viga Benkelman: Es el dispositivo más antiguo desarrollado, el cual ha sido tradicionalmente usado para medir deflexiones. Consiste en una estructura con tres puntos de apoyo, de los cuales dos se apoyan en el pavimento en forma de viga simple y un tercero que pivotea en torno a esta bajo la acción de una carga normalizada (Eje simple de 80 kN), con lo cual se registra la deformación relativa entre estos puntos. Ver Figura 3.4.

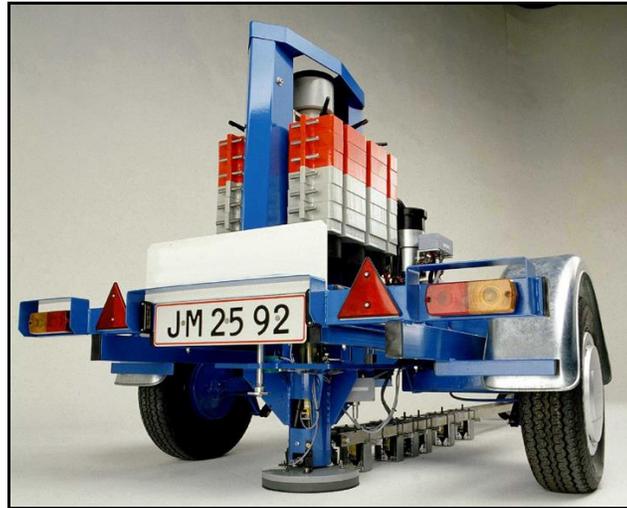
Figura 3.4 Deflectometría Viga Benkelman



Fuente: Por Jorge Donayre Ordinola <http://ctaico.blogcindario.com/2007/11/00092-los-vicios-ocultos-en-la-ejecucion-contractual-por-el-ing-jorge-donayre-ordinola.html>

ii) Deflectómetro: La ventaja de este equipo respecto de la Viga Benkelman, es que permite realizar las mediciones en forma continua, pudiendo auscultar un número mayor de kilómetros al día. Existen varios tipos de deflectómetros según sea la necesidad, lo más usados son el Deflectómetro de Impacto (FWD) que puede aplicar una carga de 7 KN – 150 KN y va remolcado por una camioneta, ver Figura 3.5, y el Deflectómetro Liviano (LWD) que puede aplicar una carga de hasta 15 KN el cual pesa solo 22 Kg y es portátil, ver Figura 3.6.

Figura 3.5 Deflectómetro de Impacto FWD



Fuente: Tecnilab Portugal S.A.

<http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=FWDDeformabilidadeYuong%20Model&idCatM=PRODUTOS&idContent=2AA15CDD-DF6B-4922-B272-A3A8C78F6817>

Figura 3.6 Deflectómetro Liviano LWD



Fuente: Tecnilab Portugal S.A.

<http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=FWDDeformabilidadeYuong%20Model&idCatM=PRODUTOS&idContent=E7F4D15A-1F9D-4E6C-8CEF-4721078EF126>

## **3.3.2 Falla Funcional**

### **3.3.2.1 Definición**

La falla funcional en sí, consiste en deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian al Índice de Servicio\*, que afectan a la capacidad del camino en proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro.

Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio actual son:

- Las ondulaciones longitudinales
- Las deformaciones transversales
- La textura de la superficie
- El porcentaje de baches y áreas reparadas

\*Índice de Servicio: Es una medida subjetiva de la calificación del estado de servicio de la capa de rodamiento, obtenida por cuatro personas en un vehículo estándar a 80 km/h, suponiendo un recorrido de 80 km por día, donde la calificación entre una y otra persona, para que sea válida, no deberá diferir de 0.3 unidades y la escala que se maneja es de 0 a 5, siendo:

- Muy malo
- 1-2 Malo
- 2-3 Regular
- 3-4 Bueno
- 4-5 Muy Bueno

### **3.3.2.2 Evaluación**

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan

negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario. Entre este tipo de deficiencias se encuentran:

- Rugosidad
- Fallas Superficiales
- Pérdida de Fricción.

#### a) Rugosidad

Se define por rugosidad a las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, las cuales afectan la calidad de rodado de los vehículos, y por lo tanto la calidad del servicio brindada al usuario.

La medida de rugosidad corresponde al IRI (Índice de Rugosidad Internacional) el cual es un parámetro que se utiliza para determinar la regularidad y confort de la carretera.

Para la medición de la rugosidad en el pavimento, se han desarrollado diversos equipos entre los que se pueden mencionar: El CHLOE, APL, Mays Meter, Perfilómetro Óptico y otros, todos los cuales pueden realizar mediciones a velocidades cercanas a las de operación del camino y ser correlacionadas con los índices de rugosidad. Este tipo de equipos se encuentran en permanente evolución, desde los que funcionaban principalmente en base a la lectura continua de una respuesta dinámica medida en forma mecánica (CHLOE, APL, Mays Meter) hasta equipos más modernos que emplean lectura óptica (láser) a través de diferentes sistemas electrónicos (Perfilómetro Óptico y otros).

Alternativamente a los equipos más sofisticados se encuentra el Merlín (Machine for Evaluation Road Roughness Using Lowcost Instrumentation), Ver Figura 3.7, desarrollado en Inglaterra para países del tercer mundo (muy usado en nuestro país), el cual mide la rugosidad en forma discontinua y manual. Este es un equipo de muy bajo rendimiento por kilómetros, pero con un costo significativamente menor que los equipos antes mencionados.

Figura 3.7 Ensayo de IRI con Merlín



Fuente: María Mendoza - Conalvias

#### b) Fallas Superficiales

Son aquellos defectos que se manifiestan en la superficie del pavimento, y son medibles sin la necesidad de equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo su detección oportuna es importante debido a que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro. Es importante por lo tanto, efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas. Esto se realiza mediante una inspección visual empleando fichas diseñadas especialmente para este efecto, utilizando el método del PCI (Pavement Condition Index) del cual se hablará con mayor detalle más adelante. Estas fichas según la importancia del proyecto pueden ser elaboradas con diferentes grados de detalle.

Entre los defectos que son convenientes identificar y cuantificar conjuntamente con las medidas de rugosidad, se cuentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Tipos de Fallas

Tipo de Falla	Asfalto	Hormigón
- Fisuras y grietas	X	X
- Baches	X	X
- Asentamientos	X	X
- Fallas en las juntas		X
- Desconchamiento		X
- Desgaste superficial		X
- Escalonamiento		X
- Pérdida de árido	X	
- Peladuras	X	
- Ahuellamiento	X	
- Exudación	X	

Fuente: Por Guillermo Thenoux Z. y Rodrigo Gaete P.

### c) Pérdida de Fricción

Este es un defecto que tiene relación directa con la seguridad del usuario, particularmente en segmentos de alta velocidad, zonas de frenado (cruce de peatones, colegios, etc.) y curvas de radio pequeño o curvas de radio amplio con peraltes menores a 6%. La pérdida de fricción se produce como consecuencia de una disminución combinada o individual de la macrotextura como de la microtextura superficial del pavimento, lo cual puede originar accidentes, particularmente cuando el pavimento se encuentra mojado. Para medir la resistencia al patinaje en un pavimento existen diversos equipos, entre los de mayor uso se cuentan: El Ensayo de Mancha de Arena, Péndulo Británico y Mu-Meter.

Debido a que la pérdida de fricción está asociada a un aumento de la lisura del pavimento, esto contribuye además con otros dos fenómenos asociados a pavimentos lisos:

i) Aumento del "spray" (nebulización), asociado al paso de vehículos a alta velocidad, reduciendo considerablemente la visibilidad.

ii) Aumento del reflejo de las luces de noche y aumento del encandilamiento.

Las soluciones típicas asociadas a la restauración de la funcionalidad de un pavimento son las acciones de conservación preventivas tales como:

1. Reparación de baches abiertos.
2. Sellado de grietas mayores a 3 mm de abertura.
3. Tratamiento en base a capas sellantes:
  - Sellos de Lechada Asfáltica (Slurry Seal)
  - Sellos de Agregado
4. Frezado superficial y reemplazo del espesor frezado.
5. Recapado funcional: Capa delgada de asfalto la cual no aporta capacidad estructural en forma significativa.

En todos estos casos el pavimento debe encontrarse estructuralmente sano.

### **3.3.2.3 Evaluación de la Condición Superficial del Pavimento**

#### 3.3.2.3.1 Introducción

La identificación de la condición del pavimento dispuso definir el PCI (Índice de Condición del Pavimento). EL PCI constituye la metodología más completa para evaluación y calificación objetiva de pavimentos flexibles y rígidos. Para el cual, los sistemas de relevamiento de información de daños no difieren casi entre sí.

El método de evaluación de pavimentos PCI fue desarrollado en 1978 por los Ph.D. M.Y. Shahin y S.D. Khon, junto a su equipo en el laboratorio de Investigaciones de Construcción de Ingeniería del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (CERL)).

Para la obtención del PCI actual en las carreteras en estudio del presente trabajo, se utilizaron dos manuales:

- El Manual “PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS”, preparado por el Ingeniero Especialista Luis Ricardo Vásquez Varela de la Universidad Nacional de Colombia, publicado en el año 2002, fue empleado para la evaluación de fallas de la carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco - Tingo María - Dv. Tocache.
- El Manual de Identificación de Fallas para el Proyecto de Funcionamiento de Pavimentos a Largo Plazo (Long-Term Pavement Performance Project) LTPP. El modo de relevamiento de fallas y sus resultados, han sido incorporados dentro de la nueva guía AASHTO, siendo su empleo el más recomendado para la evaluación de pavimentos en la actualidad. Este manual de fallas fue utilizado para el relevamiento de fallas de la carretera Conococha-Yanacancha.

El deterioro de la estructura del pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “*valores deducidos*”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el Cuadro 1 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Cuadro 3.1 Rangos de Calificación del PCI

<b>RANGOS DE CALIFICACION DEL PCI</b>	
<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: “PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS”, preparado por el Ingeniero Especialista Luis Ricardo Vásquez Varela de la Universidad Nacional de Colombia, publicado en Manizales, Febrero del 2002.

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD que cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

#### 3.3.2.3.2 Procedimiento de evaluación de la Condición del Pavimento.

- Manual PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. La Figura 3.8 ilustra el formato para la inspección de pavimentos asfálticos.

Figura 3.8 Formato de exploración de condición para pavimentos con superficie asfáltica

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO					
PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA.					
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					ESQUEMA
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO			
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL	ÁREA MUESTREO (m <sup>2</sup> )			
INSPECCIONADA POR			FECHA		
Nº.	Daño	Nº.	Daño		
1	Piel de cocodrilo.	11	Parcheo.		
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.		
3	Agrietamiento de bolque.	13	Huecos.		
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.		
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.		
6	Depresión.	16	Desplazamiento.		
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)		
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.		
9	Desnivel carril/berma.	19	Desprendimiento de agregados.		
10	Grietas long y transversal.				

Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad (%)	Valor deducido

Fuente: “Pavement Condition Index (PCI) para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras”, preparado por el Ingeniero Especialista Luis Ricardo Vásquez Varela de la Universidad Nacional de Colombia, publicado en Manizales, Febrero del 2002.

- Unidades de Muestreo

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

a) Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de  $230.0 \pm 93.0$  m<sup>2</sup>.

Se sugiere para cada pavimento inspeccionado la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura.

- Determinación de las Unidades de Muestreo para evaluación

En la “Evaluación de una Red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 3.1, la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

Ecuación 3. 1 Número mínimo de Unidades de Muestreo

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e=5%).

$\sigma$ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar ( $\sigma$ ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25). En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número de unidades a evaluar es menor que cinco ( $n < 5$ ), todas las unidades deberán evaluarse.

- Selección de las Unidades de Muestreo para inspección

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección del pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriamente sistemática) de la siguiente manera:

a) El intervalo de muestreo ( $i$ ) se expresa mediante la Ecuación 3.2:

Ecuación 3. 2 Intervalo de muestreo

$$i = \frac{N}{n}$$

Dónde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

$i$ : Intervalo de muestreo, se redondea al número enteto inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

b) El inicio se selecciona al azar entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo  $i$ .

Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

- Selección de Unidades de Muestreo adicionales

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

- Evaluación de la Condición

Incluye los siguientes aspectos:

a) Equipo:

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.
- Cámara de video, se utilizó como apoyo de la auscultación completa de la información de daños.

b) Procedimiento:

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir las definiciones y procedimientos de medida de los daños.

c) El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

- Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser computarizado o empleando algún software y se basa en los “*Valores Deducidos*” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

Se ha calculado empleando el método computarizado empleando el Microsoft Excel-2007.

### Etapa 1. Cálculo de los Valores Deducidos:

- 1.a. Totalizar cada tipo y nivel de severidad de daño y registrarlos en la fila TOTAL SEVERID del Formato empleado en gabinete para el cálculo del PCI. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- 1.b. Dividir la cantidad total de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el ÁREA TOTAL de la unidad de muestreo y expresar el resultado como porcentaje. Esta es la DENSIDAD del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- 1.c. Determinar el VALOR DEDUCIDO para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor Deducido del Daño”, que se adjuntan al final del Manual (Ver ANEXO A), de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

### Etapa 2. Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)

- 2.a. Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la Etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.
- 2.b. Listar los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor
- 2.c. Determinar el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” ( $m_i$ ), utilizando la Ecuación 3.3.

#### Ecuación 3. 3 Número Máximo Admisible de Valores Deducidos ( $m_i$ )

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$$

Dónde:

$m_i$ : Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo tracción, para la unidad de muestreo  $i$ .

*HDV<sub>i</sub>*: El *mayor valor deducido individual* para la unidad de muestreo *i*.

2.d. El número de valores individuales deducidos se reduce a *m*, inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que *m* se utilizan todos los que se tengan.

### Etapas 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

3.a. Determinar el número de valores deducidos, *q*, mayores que 2.0.

3.b. Determinar el “Valor Deducido Total” sumando todos los valores deducidos individuales.

3.c. Determinar el CDV con *q* y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento, en nuestro caso el pavimento asfáltico.

3.d. Reduzca a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas 3.a. a 3.c. hasta que *q* sea igual a 1.

3.e. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

3.f. Calcular el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido.

- Manual de Identificación de Fallas para el Proyecto de Funcionamiento de Pavimentos a Largo Plazo (The Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project) LTPP.

Para la evaluación de superficie del pavimento se ha empleado la metodología recomendada por el programa estratégico de investigación de carreteras de los EEUU (Strategic Highway Research Program – SHRP), para lo cual se ha empleado el Manual de Identificación de Fallas para el Proyecto de Funcionamiento de Pavimentos a Largo Plazo (The Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project) LTPP, el modo de relevamiento de fallas y sus resultados, han sido incorporados dentro de la nueva guía AASHTO.

En 1987, el SHRP dio inicio al mayor ensayo sobre funcionamiento de carreteras en el mundo conocido como LTPP (Long Term Pavement Performance), durante este programa de 20 años, las agencias de carreteras de los EEUU y de otros 15 países, recolectaran datos sobre la condición de los pavimentos, para ello la herramienta universal es el *Manual de Identificación de Fallas para el Proyecto de Funcionamiento de Pavimentos a Largo Plazo* (The Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project), así este manual es la base uniforme y consistente para la toma de datos de fallas en los pavimentos. Así proporciona un lenguaje común para describir las fallas de los pavimentos.

El PCI es un indicador de la salud del pavimento. Para su interpretación se puede utilizar cualquier escala; sin embargo es conveniente usar una que sea lo suficientemente grande para que permita distinguir con números enteros a pavimentos en diferente condición, ver Gráfico 3.1. Por lo que, el parámetro PCI también se puede obtener por el Sistema PAVER, pero es comúnmente utilizado para gestión de pavimentos que no es nuestro caso.

Gráfico 3. 1 Escala de PCI

PCI	Rating	Acciones Sugeridas
100	Excelente	Mantenimiento Periódico
85	Muy Bueno	
70	Bueno	Mantenimiento Periódico/Rehabilitación
55	Regular	
40	Pobre	Rehabilitación o Reconstrucción
25	Muy Pobre	
10	Intransitable	
0		

Escala de PCI

Fuente: Informe de Cálculo de PCI de la Empresa EPCM

Al igual que en el Manual PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS el procedimiento para obtener el PCI es el siguiente:

1. Obtención de la Muestra
2. Identificar los Tipos de Falla según el Manual LTPP (Ver Figura 3.9)
3. Definir los Niveles de Severidad para cada Tipo de Falla
4. Determinar los valores de deducción individuales por severidad y frecuencia (VDi)
5. Valores de deducción totales  $VDT = \sum VDi$
6. Valor de Reducción Corregido  $VDC = F \times VDT$
7. Índice de condición de pavimento  $PCI = 100 \times VDC$

Figura 3.9 Manual LTPP

Esta sección cubre a los pavimentos de concreto asfáltico (AC), incluyendo sobrecapas de concreto asfáltico sobre pavimentos de concreto asfáltico o de concreto de cemento portland. Las fallas han sido agrupadas dentro en las siguientes categorías:

- A.** Agrietamiento
- B.** Parches y Baches
- C.** Deformaciones Superficiales
- D.** Defectos Superficiales
- E.** Fallas Diversas

La Tabla 1. resume los diferentes tipos de fallas y sus unidades de medida. También se definen los niveles de severidad de algunas fallas.

1

FALLAS EN PAVIMENTOS CON SUPERFICIE DE CONCRETO ASFÁLTICO

TABLA 1. Tipos de Fallas en Pavimentos con Superficies de Concreto Asfáltico

TIPO DE FALLA	UNIDAD DE MEDIDA	NIVELES DE SEVERIDAD DEFINIDOS
<b>A.</b> Agrietamiento /página 7		
1 Agrietamiento por Fatiga	Metros Cuadrados	Si
2 Agrietamiento en Bloque	Metros Cuadrados	Si
3 Agrietamiento de Borde	Metros	Si
4 Agrietamiento Longitudinal	Metros	Si
5 Agrietamiento Reflejo	Número/Metros	Si
6 Agrietamiento Transversal	Número/Metros	Si
<b>B.</b> Parches /página 19		
7 Parches	Número, m2	Si
8 Baches	Número, m2	Si
<b>C.</b> Defectos Superficiales /página 25		
9 Ahuellamiento	Milímetro	No
10 Corrimiento	Número /m2	No
<b>D.</b> Defectos Superficiales /página 29		
11 Sangrado	Metros Cuadrados	Si
12 Agregado Pulido	Metros Cuadrados	No
13 Peladuras	Metros Cuadrados	Si
<b>E.</b> Misceláneos /página 33		
14 Desnivel Pista Berma	Milímetros	No
15 Eyección de agua y bombeo	Número/Metros	No

Fuente: Manual LTPP

Los tipos de fallas en este manual están identificadas del siguiente modo:

A. Agrietamientos

B. Parches y Baches

C. Deformaciones Superficiales

D. Defectos Superficiales

E. Misceláneos

De tal manera que cada tipo de falla, esta subdividida en un tipo de falla específico, de tal modo que todas las fallas de los pavimentos queda identificada. Así, las subdivisiones seindican a continuación:

A. Agrietamientos

1. Agrietamiento por fatiga
2. Agrietamiento en Bloque
3. Agrietamiento de Borde
4. Agrietamiento Longitudinal
5. Agrietamiento Reflejo
6. Agrietamiento Transversal

B. Parches y Baches

1. Parches
2. Baches

C. Deformaciones Superficiales

1. Ahuellamiento
2. Corrimiento

D. Defectos Superficiales

1. Sangrado
2. Agregado Pulido
3. Peladuras

E. Misceláneos

1. Desnivel pista-berma
2. Eyección de agua y bombeo

Cada uno de los tipos de fallas indicados tiene una unidad de medida y un nivel de severidad definidos. Las fallas identificadas se colocan en el Formato de Relevamiento, ver Figura 3.10.

Figura 3.10 Formato de Relevamiento de Fallas

MANUAL FOR THE LONG-TERM PAVEMENT PERFORMANCE PROJECT LTPP													
CARRERA: (TRAMO)		SECTOR:		ANCHO CALZADA:		REVISADO:		EPCMA					
CAPA DE RODAMIENTO:		FECHA:		ANCHO BERMA:		DER:		REALIZADO:		P. Salinas			
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	NIVEL DE SEVERIDAD (FALLA)			PREVENCIÓN	EVALUACIÓN	LOCALIZACIÓN				TOTAL	
			LEVE (L)	MODERADA (M)	SEVERA (S)			SEVERIDAD	SEVERIDAD	SEVERIDAD	SEVERIDAD		
A	ADRIETAMIENTO	1) ROTURA DE FISIÓN	m <sup>2</sup>										
		2) CN BLOQUE	m <sup>2</sup>										
		3) DE BORDE	m										
		4a) LONGITUDINAL DENTRO DE HUELLAS VEHICULARES	m										
		4b) LONGITUDINAL FUERA DE HUELLAS VEHICULARES	m										
		5) REFLEJO EN LAS JUNTAS TRANSVERSALES	m										
B	PARCHES	1) PARCHES / COTOPORIO DE PARCHES	m <sup>2</sup>										
		2) PARCHES	m <sup>2</sup>										
C	DEFORMACIONES SUPERFICIALES	3) ABUELLAMIENTO (HH)	mm										
		4) ESCORRIENTO	m <sup>2</sup>										
D	DEFECTOS SUPERFICIALES	1) ESCUDAJOS	m <sup>2</sup>										
		2) AGREGADO PULIDO	m <sup>2</sup>										
		3) PELADURAS	m <sup>2</sup>										
E	FALLAS DIVERSAS	4) DESNIVEL PISTA-BERMA	mm										
		5) EYECCIÓN DE AGUA Y BOMBEO	m										
		6) DEFICIENCIA DE DRENAJE	m <sup>2</sup>										
		7) EROSIÓN DE BERMAS	m <sup>2</sup>										
	8) REGULACIÓN Y HOMOGENEIZACIÓN DE CALZADA	m <sup>2</sup>											

Fuente: Manual LTPP

## 3.4 Factores de Afectan la Integridad del Pavimento

### 3.4.1 Condiciones Ambientales

Las condiciones ambientales afectan a los caminos básicamente en 2 formas:

#### 3.4.1.1 Capa Superficial

Las superficies de los caminos están expuestas, además del tráfico, al sol, viento, lluvia, nieve, y otros elementos naturales. La importancia de estos fenómenos naturales son las consecuencias que producen en las propiedades ingenieriles de la superficie del camino. Estos efectos principalmente son:

- Efectos térmicos que causan los cambios de volumen, producto de la expansión y contracción de materiales por cambios de temperatura. El rango de temperatura diaria que experimenta la superficie del camino es importante. En áreas desérticas, la superficie de un camino de pavimento flexible puede experimentar un rango de temperaturas de 50 °C entre las primeras horas de la mañana y el mediodía, ver Figura 3.11.

Figura 3.11 Carretera Expuesta a Altas temperaturas



Fuente: [www.google.com](http://www.google.com) “Desierto de Paracas (Perú)”

- Efectos de la radiación producen sobre la superficie de los pavimentos lo comúnmente denominado como “insolación”. La radiación ultravioleta aplicada sobre la superficie del pavimento produce la oxidación del asfalto, volviéndolo frágil. Este proceso se conoce como “envejecimiento”, lo cual tiene como resultado un pavimento endurecido, con el endurecimiento, la capa asfáltica reduce su elasticidad, lo que produce el agrietamiento cuando la superficie se contrae al disminuir su temperatura. Una vez que la integridad de la superficie se pierde debido al agrietamiento, el pavimento tiende a deteriorarse a una tasa mayor producto del ingreso del agua a las capas subyacentes. Este efecto solo puede ser evitado si se usa un pavimento con durabilidad capaz de absorber los rayos ultravioleta.

Por otro lado, las superficies de caminos que se ubican dentro del Círculo Ártico permanecen enterradas bajo la nieve en el invierno, manteniendo una temperatura relativamente constante. Estos efectos solo pueden ser soportados por un pavimento con una elasticidad adecuada. Ver Figura 3.12.

Figura 3.12 Carretera expuesta a bajas temperaturas



Fuente: Autopista de James Dalton (Alaska)

<http://www.estaentumundo.com/noticias-del-mundo/ranking-carreteras-increibles.html>

- Efectos de congelamiento, que producen el fenómeno llamado hinchamiento. Ciclos repetitivos de hielo y deshielo causan un mayor daño a las superficies de los caminos.

### 3.4.1.2 Capas Interiores

El agua es el principal enemigo de las estructuras de caminos. La saturación con agua hace que los materiales se vuelvan deformables y proporciona una lubricación entre las partículas, al mismo tiempo que las cargas de tráfico son aplicadas. La capacidad de soporte del material en condición seca es siempre mayor que en estado húmedo, y mientras más cohesivo (o arcilloso) sea el material, mayor es la susceptibilidad a la humedad, ver Figura 3.13. Además, si el agua presente en la estructura alcanza su punto de congelamiento, se produce una expansión en volumen de la misma, lo que genera daño considerable. Por lo tanto, la importancia de prevenir el ingreso del agua a la estructura de pavimento, especialmente en los materiales de más baja calidad de las capas inferiores es fundamental.

Figura 3.13 Pavimento fallado con presencia de agua en su estructura



Fuente: Reparación de Pavimento y Construcción  
[http://www.actiweb.es/repacc/informacion\\_.html](http://www.actiweb.es/repacc/informacion_.html)

### **3.4.2 Cargas del Tráfico**

El objetivo final de los caminos es permitir el tráfico vehicular. El volumen y tipo de tráfico esperado en un camino determinan los requerimientos geométricos y estructurales de los pavimentos.

Desde el punto de vista del diseño de pavimentos, las características más importantes del tráfico son aquellas que permiten definir la magnitud y frecuencia de las cargas de superficie que el camino puede anticipar durante la vida estimada del pavimento. La carga que es aplicada sobre la superficie del pavimento por la rueda se define por 3 factores:

- La fuerza (en Kilo Newtons, KN) que realmente lleva la rueda.
- Presión de inflado (en Kilo Pascales, kPa) que determina la “impronta” de la rueda sobre la superficie. Esta impronta define el área de contacto entre el neumático y la superficie. Este es un factor que además depende de la carga.
- La velocidad de viaje define el tiempo en que la superficie del pavimento es cargada y descargada.

#### **3.4.2.1 Efecto del Tráfico en el Pavimento**

- Se generan Tensiones en la superficie por las cargas de rueda. Estas suelen ser predominantes en el plano o dirección vertical. Sin embargo, la componente horizontal llega a ser considerable en los bordes, gradientes de cuestas y en intersecciones o cruces donde los vehículos frenan. Las características de resistencia del material utilizado en la superficie debe ser capaz de resistir todas estas tensiones sin romperse o deformarse.
- Acción abrasiva de los neumáticos. Esta acción es especialmente significativa en los bordes y tiende a deteriorar y desgastar la superficie, generando el pulido de la misma y produciendo una reducción en la fricción de la superficie (resistencia al patinaje). Las superficies desgastadas se vuelven resbaladizas cuando están húmedas y pueden ser peligrosas para los usuarios de la carretera.

- La variación de la magnitud de los esfuerzos con la profundidad, estos esfuerzos a cualquier nivel deben ser inferiores a los que soportan los materiales que constituyen el pavimento, para que no ocurra la falla.
- Un pavimento al paso de una carga sufre deformaciones elásticas, produciéndose esfuerzos por tensión y compresión. Generalmente el esfuerzo más crítico es el de tensión en la fibra inferior del pavimento directamente bajo la carga. Si las tensiones y sus repeticiones, son mayores a las que soporta el pavimento asfáltico, se producirá la fatiga agrietándose el pavimento.
- Deformación permanente en la superficie del pavimento, la cual está asociada al aumento de compacidad en las capas de base o sub-base, debida a cargas excesivas, cargas repetidas o rotura de granos.
- Fallas por cortante, debido a la falta de resistencia al esfuerzo cortante, ejercido por el tráfico, de la base o sub-base. Generalmente se hacen surcos profundos y bien marcados cuyo ancho no excede al de una llanta.

### **3.4.3 Consecuencias del Agrietamiento**

Una vez que el agrietamiento llega a la superficie, el agua puede ingresar libremente dentro de la estructura.

Los efectos de la pérdida de capacidad de soporte producida por el agua, llevan a la reducción de la resistencia de la estructura. Esta disminución de la resistencia causa una tasa de deterioro mayor bajo las cargas de tráfico repetitivas.

Además, el agua en un material saturado puede llegar a ser un elemento destructivo cuando el pavimento está sometido a cargas pesadas. De forma similar que un fluido hidráulico, el agua transmite las cargas verticales de los vehículos en presiones, que rápidamente erosionan la estructura de material granular y produce la segregación del árido en el asfalto. Bajo estas condiciones, la fracción fina del material del pavimento se puede mover dentro de la estructura. Frecuentemente, la fracción fina suele ser expulsada fuera del pavimento a través de las grietas (fenómeno conocido como “bombeo”) ver Figura 3.14, lo cual produce vacíos

dentro del pavimento. Por lo tanto, después de producido el agrietamiento, se observará la rápida formación de baches y un deterioro progresivo aún mayor.

Figura 3.14 Deterioro del pavimento por fatiga



Fuente: Manual de Pavimentos - CAPITULO I Tecnología del Asfalto por Néstor Huamán  
Guerrero – Universidad Ricardo Palma.

# CAPÍTULO IV: ASFALTO ESPUMADO

## 4.1 Desarrollo de la Tecnología

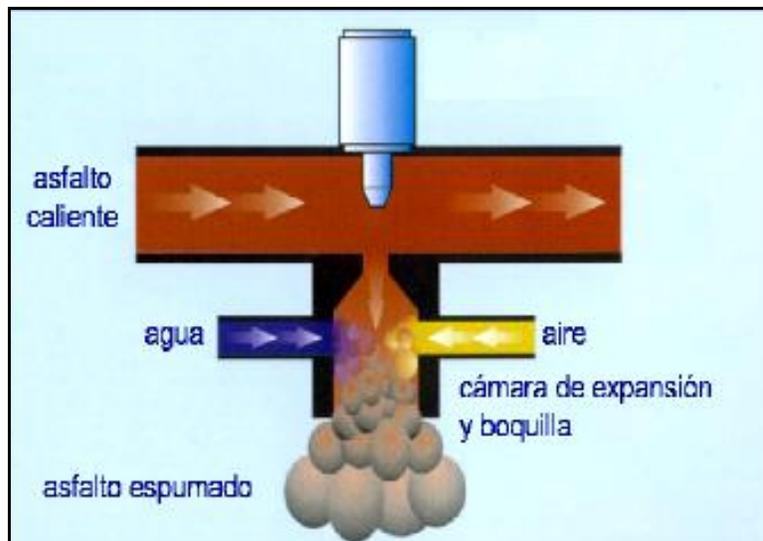
El origen del asfalto espumado (conocido también como asfalto celular) se remonta gracias al profesor Ladis Csanyi en la Estación Experimental de Ingeniería de la Universidad de IOWA en 1956, donde utilizó un proceso de inyección de vapor al asfalto en caliente para formar la espuma. Poco interés hubo en el proceso hasta que fue posteriormente mejorada por la organización Mobil Oil en 1968 que desarrolló la primera cámara de expansión para mezclar agua fría en lugar de vapor con asfalto caliente para generar espuma, transformándose así en un proceso más práctico, económico y menos peligroso. A pesar de ser una tecnología del 56', su uso se masificó y derivó en un explosivo avance a partir del año 1991, al expirar en ese año los derechos sobre la patente de invención por Mobil Oil. Diversos estudios internacionales han determinado parámetros para mejorar la eficiencia del proceso, relacionados con: Temperatura del Asfalto; Presión de inyección del asfalto en la cámara; Viscosidad del asfalto; Tamaño del recipiente donde se espuma en laboratorio, Banda granulométrica; Utilización de Filler; Contenido de RAP; Cantidad de finos y algunos estudios de contenido óptimo de asfalto.

## 4.2 Producción del Asfalto Espumado

El asfalto espumado se logra mediante un proceso, en el cual se inyecta una pequeña cantidad de agua fría (1% a 2% del peso del asfalto) y aire comprimido a una masa de asfalto caliente (160°C – 180°C), dentro de una cámara de expansión (Figura 4.1), generando espontáneamente espuma. El proceso de expansión se puede explicar de la siguiente manera: en el momento en que las gotas de agua fría toman en contacto con el asfalto caliente, se produce un intercambio de energía entre el asfalto y las gotas de agua, lo que eleva la temperatura del agua hasta los 100°C. Esta transferencia energética genera, en forma instantánea, vapor y una expansión explosiva del asfalto. Las burbujas de vapor son forzadas a introducirse en el asfalto dentro de la cámara de expansión. El asfalto, junto con el vapor de agua encapsulado, es liberado desde la cámara a través de una válvula (dispositivo rociador) y

el vapor encapsulado se expande formando burbujas de asfalto contenidas por la tensión superficial de éste, hasta alcanzar un estado de equilibrio.

Figura 4.1. Cámara de Expansión

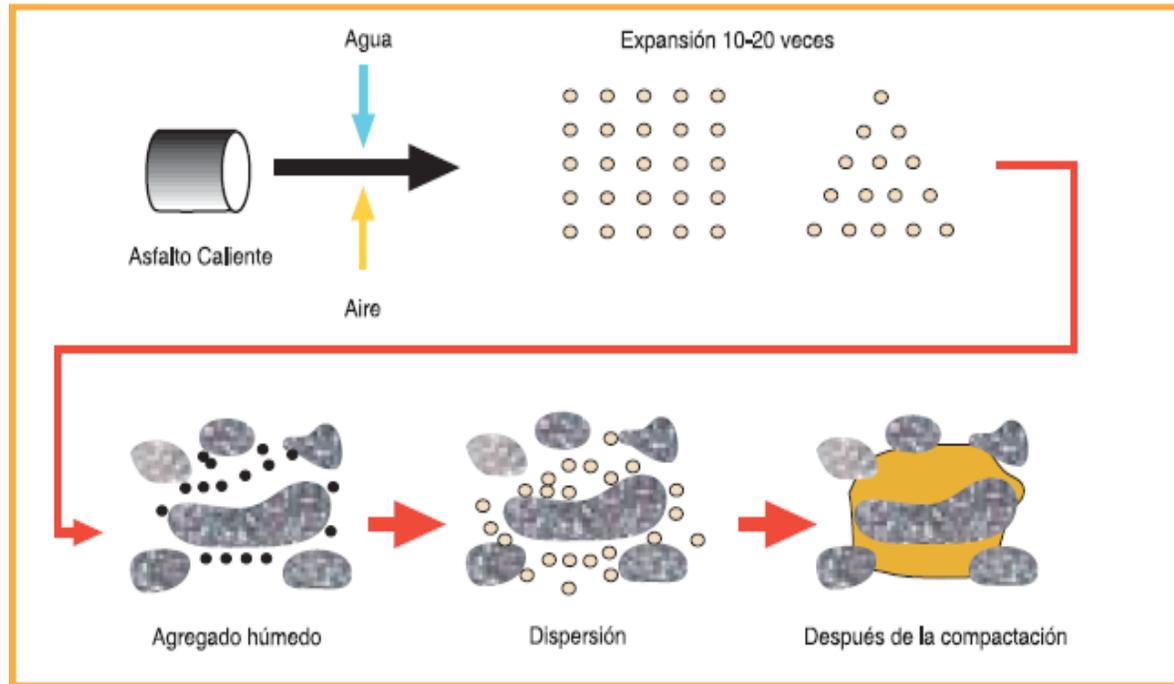


Fuente: Revista BIT, Junio 2002. De: Guillermo Thenoux y Andrés Jamet de la Universidad Católica de Chile.

Debido a la baja conductividad térmica del asfalto y del agua, las burbujas pueden mantener el equilibrio por pocos segundos (10-30 segundos). Este proceso ocurre para una gran cantidad de burbujas. A medida que la espuma se enfría a temperatura ambiente, el vapor en las burbujas se condensa causando el colapso y la desintegración de la espuma. La desintegración de la burbuja (o colapso de la espuma) produce miles de gotitas de asfalto, las cuales al unirse recuperan su volumen inicial sin alterar significativamente las propiedades reológicas originales del asfalto. Para la producción de mezclas con asfalto espumado, el agregado debe ser incorporado mientras el asfalto se encuentre en estado de espuma. Al desintegrarse la burbuja en presencia del agregado, las gotitas del asfalto se aglutinan con las partículas más finas (especialmente con aquellas fracciones menores a 0.075 mm), produciendo una mezcla de asfalto agregado fino, proceso que se denomina dispersión del asfalto (Figura 4.2). Esto resulta en una pasta de filler y asfalto que actúa como un mortero entre las partículas gruesas. El proceso de dispersión es considerado por muchos autores como fundamental para la

obtención de las propiedades mecánicas de las mezclas con asfalto espumado (Según los Ing. Guillermo Thenoux y Andrés Jamet de la Universidad Católica de Chile.).

Figura 4.2. Proceso de Mezcla con los agregados



Fuente: Revista BIT, Junio 2002. De: Guillermo Thenoux y Andrés Jamet de la Universidad Católica de Chile.

### 4.3 Caracterización del Asfalto Espumado

La calidad del asfalto espumado es determinada por dos parámetros: la expansión y la vida media:

- RAZÓN DE EXPANSIÓN ( $E_x$ ):

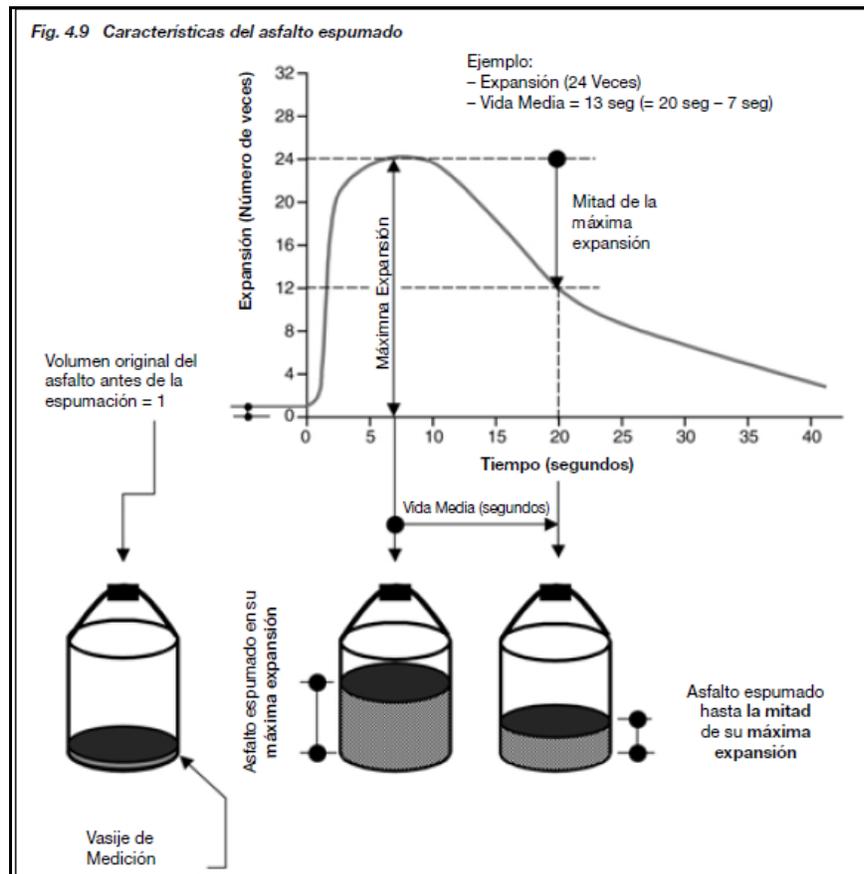
Es la relación entre el volumen de asfalto espumado y el volumen del asfalto sin espumar. La razón de expansión indica la trabajabilidad de la espuma, y su capacidad de cubrimiento y mezclado con los agregados. Se recomienda entre 8 y 15 veces el volumen inicial (Macarrone *et. al.*, 1994).

- VIDA MEDIA (T/2):

Es el tiempo, en segundos, que tarda el asfalto en reducir su volumen a la mitad del volumen expandido. La vida media indica la estabilidad de la espuma y entrega una idea del tiempo disponible para mezclar el asfalto espumado con los agregados antes de que colapse la espuma. Se recomienda, al menos 15 segundos (*Macarrone et. al., 1994*).

Estas propiedades son ilustradas en la Figura 4.3.

Figura 4.3. Características del asfalto espumado



Fuente: Wirtgen Manual de Reciclado, 2º Edición Noviembre 2004.

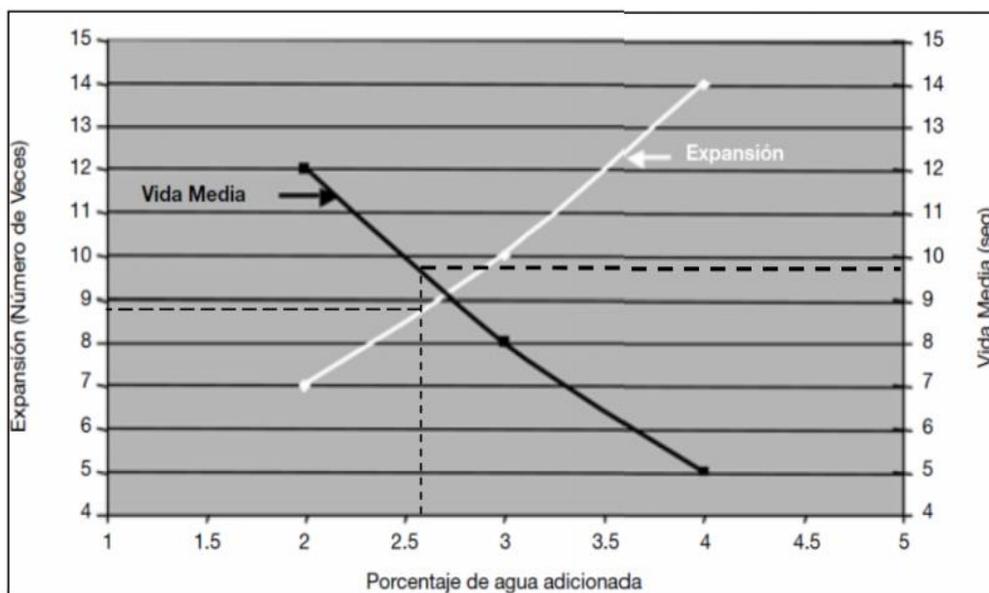
La razón de expansión y la vida media son medidas que dependen de muchos factores, entre éstos:

- Temperatura del asfalto: Las propiedades de espumación de la mayoría de los asfaltos mejoran con temperaturas más altas. Espumas aceptables se consiguen sobre 149 °C (Abel, 1978).
- Dosis de agua inyectada: Generalmente la Razón de Expansión aumenta con un incremento en la cantidad de agua inyectada, mientras la Vida Media decrece.
- Presión bajo la cual el asfalto es inyectado en la cámara de expansión: Bajas presiones (menores a 3 bares) afectan negativamente tanto a la Razón de Expansión como a la Vida Media.

Siendo los principales factores, la temperatura del asfalto y la dosis de agua. A mayores temperaturas de espumado y mayor cantidad de agua, se incrementa la Razón de Expansión pero a su vez disminuye la Vida Media, sin embargo, el mejor espumado es considerado como aquel que optimiza tanto la Razón de Expansión como la Vida Media.

Para llevar a cabo dicha optimización es necesario graficar ambas propiedades en un mismo gráfico (Figura 4.4), para distintas cantidades de agua y temperaturas.

Figura 4.4. Optimización de la razón de expansión y vida media



Fuente: Wirtgen Manual de Reciclado, 2º Edición Noviembre 2004.

Se llega a la siguiente relación: Cuanto mayor sea la expansión y la vida media, mejor será la calidad del espumado. En general no existen especificaciones estándar para perfeccionar estas propiedades, pero es recomendable aumentar levemente el valor óptimo de la Vida Media, a partir del punto de intersección, aún en desmedro de la Razón de Expansión.

Para determinar las propiedades del asfalto espumado utilizado, es posible efectuar un análisis de idoneidad en laboratorio antes de comenzar las obras, realizando una serie de ensayos donde se varía la temperatura del asfalto y las cantidades añadidas de agua y aire.

#### **4.3.1 Dispersión del Asfalto Espumado**

A diferencia de las mezclas asfálticas en caliente, el material estabilizado con asfalto espumado no se ve negro. Esto se debe a que las partículas más gruesas del agregado no se cubren con asfalto. Cuando el asfalto espumado entra en contacto con el agregado, las burbujas de asfalto revientan en millones de pequeñas gotitas de asfalto que se adhieren a las partículas finas, específicamente la fracción menor a 0,075 mm. Las gotitas de asfalto pueden intercambiar calor sólo con la fracción de filler y todavía tener viscosidad suficientemente baja como para cubrir las partículas. La mezcla espumada resulta en un filler ligado con asfalto que actúa como mortero entre las partículas gruesas. Por ende, hay un ligero oscurecimiento del color del material después del tratamiento. La adición de cal, cemento o algún material fino similar (100% que pasa el tamiz 0.075 mm) ayuda a dispersar el asfalto, particularmente donde el material reciclado es deficiente en finos (menos del 5% que pasa el tamiz 0.075 mm).

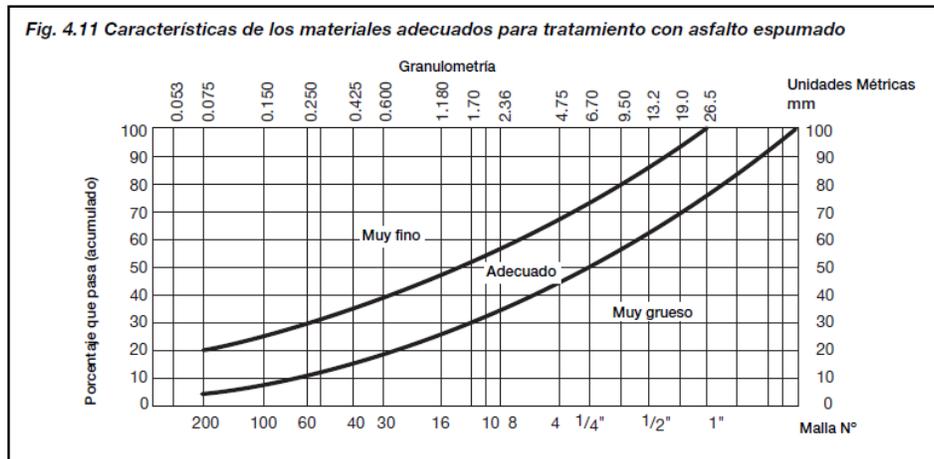
#### **4.3.2 Material adecuado para tratamiento con Asfalto Espumado**

La tecnología es aplicable en la estabilización de una gran variedad de materiales, que van desde arenas, gravas, hasta piedra chancada y RAP. Tanto granulares seleccionados como marginales, vírgenes o reciclados, han sido utilizados de forma satisfactoria. Sin embargo, es importante establecer límites de tolerancia requerida en los agregados.

Los materiales que son pobres en finos no se mezclan en forma adecuada con el asfalto espumado. Como se señala en la Figura 4.5., el porcentaje mínimo de finos requerido es del 5%, considerando finos la fracción que pasa el tamiz #200. Cuando el material no tiene la cantidad adecuada de finos, el asfalto espumado no se dispersa en forma apropiada y tiende a

formar lo que se conoce en el material reciclado como “filamentos” del asfalto (aglomeraciones de material fino con asfalto), los que varían de tamaño dependiendo de la escasez de finos. Un porcentaje de finos muy bajo producirá largos filamentos, lo que en la mezcla actuarán como lubricante y producirán una disminución en la resistencia y estabilidad del material.

Figura 4.5 Características de los materiales adecuados para tratamiento con asfalto espumado



Fuente: Wirtgen Manual de Reciclado, 2º Edición Noviembre 2004.

Cuando existe una deficiencia en el contenido de finos, esta puede ser corregida mediante la importación del material adecuado, con un alto contenido de finos. Este material se esparce sobre la superficie del pavimento en forma previa a la aplicación del reciclado. No obstante, los materiales cohesivos deben ser tratados con cuidado. Sin bien en los ensayos de laboratorio de estos materiales pueden arrojar un alto % de finos que pasa la malla #200, generalmente la calidad del mezclado conseguida en terreno es deficiente. Esto se debe a la naturaleza plástica del material, la que produce que la fracción fina se aglomere, haciendo difícil la dispersión del asfalto en forma de espuma a través del agregado.

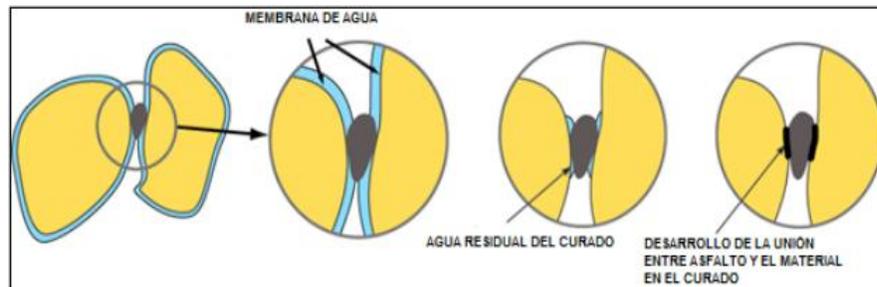
Además, el material que es deficiente en finos puede ser mejorado mediante la adición de cemento, cal u otro material que pase la malla #200 en 100%. Sin embargo, debe evitarse una dosificación de cemento superior al 1,5%. Un porcentaje mayor de cemento tiene un efecto negativo, producto de la pérdida de flexibilidad en la capa estabilizada.

### 4.3.3 Estructura del material

El propósito de espumar es hacer que sea más fácil de distribuir el asfalto en materiales que se encuentran a temperatura ambiente. El asfalto líquido a alta temperatura (sin espumar), al entrar en contacto con partículas de agregado frío, se convertiría inmediatamente en glóbulos y por lo tanto no puede ser trabajado completamente. Por otro lado, el asfalto espumado puede ser introducido en la mezcla de manera bastante uniforme. Un proceso análogo de la mezcla en frío es el efecto que produce batir una clara de huevo, la que puede ser mezclada con harina seca.

En la cámara de mezclado, mientras ocurre el proceso de formación del mortero asfáltico, visible como pequeñas gotas de asfalto entre la mezcla suelta, las partículas mayores de árido son cubiertas por una membrana de agua. Esta capa sobre el material reduce enormemente el desarrollo de la unión entre el asfalto y la piedra (el asfalto es hidrófugo y el material pétreo es hidrofílico).

Figura 4.6. Esquema de unión asfalto-partícula



Fuente: Tema de Tesis: “Estimación del Coeficiente Estructural del Asfalto Espumado mediante el Análisis de Deflectometría FWD”, por Rodrigo Andrés Faúndez Carvajal.

Diciembre 2011-Santiago de Chile.

El completo desarrollo de la resistencia es logrado cuando existe unión entre todos los elementos que componen la mezcla, estado que se obtiene en la medida en que disminuye la cantidad de agua presente en la mezcla durante el proceso de curado. El agua ubicada en grandes vacíos se evapora con gran facilidad, pero es mucho más complicado en el caso de la

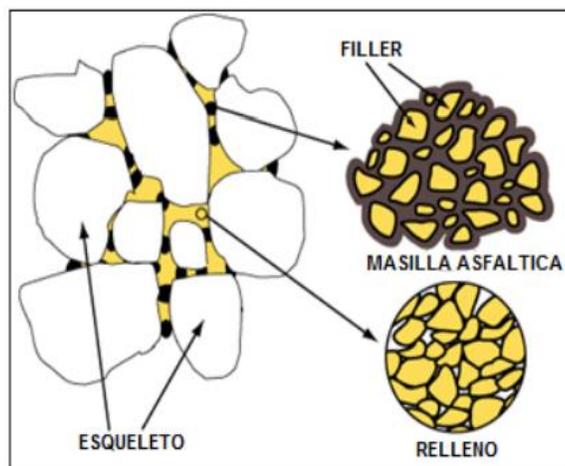
interfaz mortero-agregado, dado el menor potencial termodinámico, lo que significa un mayor tiempo para obtener el curado final del material.

Después de la compactación y curado se obtiene una estructura similar a la que, conceptualmente, se ilustra en la Figura 4.7., donde los agregados de mayor tamaño son parcialmente recubiertos o “soldados” por puntos de mortero asfáltico, formado por la masilla (mastic) de asfalto y la fracción de arena que está parcialmente cubierta.

La base tratada con asfalto espumado se puede caracterizar como una estructura de tres grandes elementos:

- El esqueleto, formado por partículas de agregado grueso.
- La porción de asfalto fundido unido a material fino, existente en forma de gotas que provoca la unión del esqueleto.
- La fase de relleno mineral, que parcialmente llena los vacíos en el esqueleto.

Figura 4.7. Interface de asfalto entre partículas

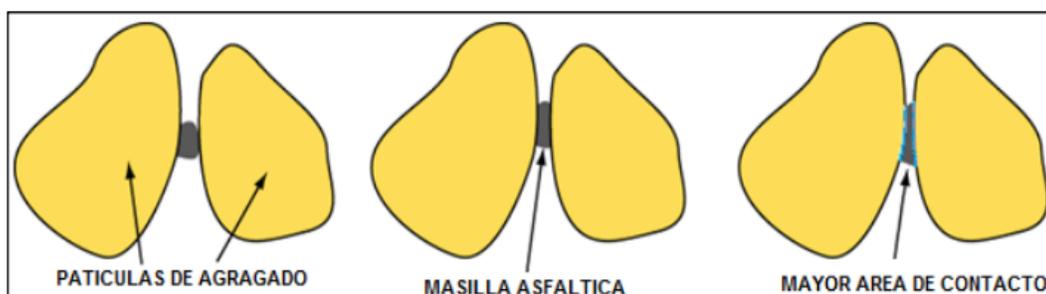


Fuente: Tema de Tesis: “Estimación del Coeficiente Estructural del Asfalto Espumado mediante el Análisis de Deflectometría FWD”, por Rodrigo Andrés Faúndez Carvajal.  
Diciembre 2011-Santiago de Chile.

Como se aprecia en la figura anterior, la base tratada con asfalto espumado presenta una matriz de finos, pero se agregan puntos de mastic o masilla asfáltica, que cubren parcialmente el agregado grueso, ilustrando el estado de material “híbrido” expuesto en diferentes estudios. La resistencia bajo carga tiende a ser tomada por la fracción granular, que soporta tensiones de compresión-aplastamiento gracias a la fricción inter-partícula, y por la matriz fina estabilizada, la cual presenta un comportamiento visco-elástico, capaz de resistir tensiones de tracción repetidas.

Un aspecto de gran importancia en el desarrollo de la resistencia y en definitiva, la eficiencia del proceso de rehabilitación, es la compactación que se realiza sobre el material. A medida que aumenta el esfuerzo de compactación, las partículas mayores de agregado se acercan más, la porción de asfalto entre las dos partículas se aprieta y se extiende a lo largo entre ellas. A medida que aumenta la densidad, el área de contacto entre la masilla de asfalto y la partícula también se hace más grande, lo que resulta en una mayor fuerza de unión después del curado. La intuición indica que una mezcla con una mayor densidad debe tener una mayor resistencia y rendimiento. Si se considera que el ítem de compactación no es significativamente elevado, en comparación a otros aspectos de la rehabilitación, es necesario dar atención a este punto en la construcción.

Figura 4.8. Esquema interpartícula, efecto de compactación



Fuente: Tema de Tesis: “Estimación del Coeficiente Estructural del Asfalto Espumado mediante el Análisis de Deflectometría FWD”, por Rodrigo Andrés Faúndez Carvajal. Diciembre 2011-Santiago de Chile.

Reciclar con asfalto espumado crea un material que no tiene la apariencia típica de un pavimento asfáltico. Generalmente, una base de asfalto de graduación continua presenta un contenido de vacíos entre un 3% a un 6% y cada partícula es cubierta por una película de asfalto delgada, actuando como un adhesivo de contacto. El contenido real de vacíos del material tratado con espumado después de compactado es rara vez menor que el 10% y solo se cubre parcialmente a las partículas de agregado.

En cuanto a la relación resistencia-humedad, los materiales estabilizados con asfalto espumado pierden resistencia al sumergirlos en agua, esto puede ser enfrentado mediante la adición de un filler activo, tal como cal hidratada o cemento. El filler, aplicado en cantidades cercanas al 1% en peso, puede producir un aumento significativo de la resistencia retenida sin afectar las propiedades de fatiga de la capa.

#### **4.4 Aplicaciones del Asfalto Espumado**

Existen principalmente dos tipos de aplicaciones para el asfalto espumado, el reciclado en frío de pavimentos asfálticos y la estabilización de suelos:

- **RECICLADO EN FRÍO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS**

Consiste en la recuperación del material de un pavimento asfáltico existente, el cual es mezclado con asfalto espumado, adiciones (cemento o cal) y agregados nuevos (si es necesario) para formar una base asfáltica que será colocada en el mismo lugar o en otro distinto. La recuperación puede ejecutarse mediante un equipo fresador capaz de disgregar el material o mediante métodos convencionales donde el proceso de disgregación ocurre con posterioridad a la recuperación. En general, el material recuperado está formado no sólo por concreto asfáltico disgregado, sino también por agregados aportados por la base y subbase granular existente.

- **ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

Consiste en la estabilización de suelos de relativa baja plasticidad ( $IP < 16$ ) con asfalto espumado, en donde los suelos pueden provenir de la recuperación de áridos de un camino sin pavimentar o de nuevas canteras. Principalmente se emplean agregados recuperados cuya granulometría es mejorada por agregados nuevos (si es necesario), ya que uno de los objetivos

de esta aplicación es obtener mezclas de bajo costo. El proceso de recuperación de los agregados es similar al descrito para el reciclado en frío de pavimentos asfálticos.

## **4.5 Ventajas y Desventajas**

A continuación se muestra un listado con algunas de las ventajas y desventajas más importantes de la utilización de asfalto espumado.

### **VENTAJAS**

- Flexibilidad. - La estabilización con asfalto produce un material con propiedades viscoelásticas, que posee una flexibilidad mejorada y resistencia a la deformación.
- Facilidad de preparación. - Un tanque se acopla a la recicladora y el asfalto caliente es bombeado y esparcido mediante una barra rociadora, donde la espuma de asfalto es inyectada en la cámara de mezclado.
- Costo. - El asfalto espumado utiliza cemento asfáltico de penetración estándar. No existen costos adicionales de producción del mismo.
- Velocidad para adquirir resistencia. El material puede ser transitado inmediatamente después de ser colocado y compactado.

### **DESVENTAJAS**

- El asfalto espumado requiere que el asfalto esté caliente, generalmente sobre los 160°C. Frecuentemente esto requiere de instalaciones para calentar el mismo, y medidas especiales de seguridad.
- Condición y tipo de material. - El material saturado y pobre en la fracción fina (menor a 0,075 mm) no puede ser procesado con asfalto espumado sin un tratamiento previo o la adición de material nuevo.
- Los materiales granulares estabilizados con asfalto espumado sometidos a cargas repetidas de tránsito se encuentran bajo un efecto de densificación gradual, generando una

deformación de la capa superficial del pavimento, haciéndolos propensos a una falla de ahuellamiento.

## **4.6 Experiencias en otros países**

Algunas experiencias de aplicación del reciclado con asfalto espumado se muestran a continuación:

### **4.6.1 Reciclado con Asfalto Espumado en proyecto de saneamiento en Noruega**

Temperaturas muy bajas en invierno y ciclos frecuentes de hielo y deshielo, exigen requerimientos especiales de las estructuras de carreteras en Noruega. Se requieren métodos económicos de rehabilitación, en especial para el saneamiento de vías de tráfico mediante el rentable reciclaje en frío, a fin de poder mantener la red de carreteras en un estado utilizable.

A fin de compensar fuertes desniveles y para estabilizar las capas existentes, es posible esparcir previamente material fresado o una mezcla nueva de minerales. La recicladora, al fresar la estructura de carretera existente, lo que por lo general se efectúa a una profundidad de cerca de 20 cm, va incorporando estos materiales.

Teniendo en cuenta la flexibilidad que requieren las estructuras de carretera debido a las bajas temperaturas durante el invierno, en el proceso de tratamiento se utilizan tipos de asfalto blando.

El sistema de regulación por microprocesador de la máquina recicladora controla el proceso de espumado y la dosificación de las cantidades añadidas de ligante. Si se añade un promedio de 3,5 % del peso del asfalto, el consumo de asfalto caliente al día asciende a 100 t, lo que corresponde a un rendimiento de la máquina de aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup> por jornada, o bien a la rehabilitación en toda su anchura de un tramo de carretera de 1,5 km de longitud.

Los trabajos se efectúan sin cortar el tráfico. Después de corregir los perfiles con una motoniveladora y de compactar las capas recicladas, se efectúa la apertura al tráfico. Dependiendo del tráfico, se extienden, posteriormente, una o dos capas adicionales de asfalto.

Figura 4.9 Recicladora con rendimiento de 2.500 m<sup>2</sup> en poco menos de 2 horas



Fuente: Tesis: “Guía para Diseñar la Rehabilitación de una Ruta mediante el uso de Asfalto Espumado; Reciclando el Pavimento Asfáltico existente” –por el Bachiller Ricardo Arnoldo Robles Díaz – Valdivia Chile 2009.

#### **4.6.2 Reciclado con Asfalto Espumado en carretera de alto tráfico en Brasil**

Desde la introducción de la tecnología del Reciclado en Frío en el Brasil, la rehabilitación de la importante autopista Anhanguera ha sido uno de los mayores proyectos, en los cuales se empleó el betún espumado como ligante. La autopista, que une Sao Paulo con la ciudad Ribeirão Preto, es frecuentada diariamente por más de 15.000 vehículos, de los cuales un 60% son “vehículos de gran tonelaje”.

La estructura existente estaba integrada por una capa de base de grava de 20 cm de espesor, así como por una capa ligante de asfalto y una capa de rodadura, ambas de 6 cm de espesor. En pocos meses, una superficie de aproximadamente 400.000 m<sup>2</sup> de carretera fueron rehabilitados añadiendo un 2,5% de asfalto espumado, así como 1,5% de cemento, se reciclaron capas de asfalto hasta una profundidad de trabajo de cerca de 12 cm. Los trabajos se fueron completando con una rodadura de asfalto de 6 cm de espesor, la cual se aplicó al final. En este caso se efectuó el reciclado “sin cortar el tráfico” a través de una obra móvil. De esta manera fue posible reducir el entorpecimiento del tráfico a un grado mínimo

Figura 4.10 Los trabajos avanzan rápidamente, sin tener que cortar el tráfico



Fuente: Tesis: “Guía para Diseñar la Rehabilitación de una Ruta mediante el uso de Asfalto Espumado; Reciclando el Pavimento Asfáltico existente” –por el Bachiller Ricardo Arnoldo Robles Díaz – Valdivia Chile 2009.

#### **4.6.3 Rehabilitación de una autopista en el Irán, bajo condiciones extremas**

Hace ya algunos años, en el Irán se había comenzado con la construcción de una autopista de seis vías, la Teherán-Qom Highway. Desafortunadamente, la rodadura de la carretera nunca fue terminada, por lo que, durante varios años, la capa de base permaneció abierta y sin protección. Con el tiempo, el clima predominante, así como el tráfico pesado produjeron graves daños en la capa de base. Por lo tanto, antes de la terminación de los trabajos de construcción, primeramente fue necesario llevar a cabo el saneamiento de la estructura completa de la carretera.

A fin de mantener el nivel de altura existente, la superficie de la carretera, en primer lugar, fue fresada a una profundidad de 10 cm. La capa restante, fue tratada hasta una profundidad de 25 cm, con un tren de reciclaje, compuesto de la recicladora y la mezcladora de suspensión, añadiendo un 3,5% de betún espumado y 1,0% de cemento (como suspensión). De esta manera, fue rehabilitada rápida y económicamente una superficie de más de 800.000 m<sup>2</sup> de capa de base, en ambas direcciones.

Antes de que la sección saneada fuera abierta al tráfico, la capa de base fue cubierta con una capa ligante de 6 cm de espesor y una capa de asfalto de 6 cm.

Figura 4.11 Reciclado en Frío con Asfalto Espumado



Fuente: Tesis: “Guía para Diseñar la Rehabilitación de una Ruta mediante el uso de Asfalto Espumado; Reciclando el Pavimento Asfáltico existente” –por el Bachiller Ricardo Arnoldo Robles Díaz – Valdivia Chile 2009.

#### **4.6.4 Saneamiento de las vías a lo largo de la red de canales en el distrito Los Baños de Estados Unidos**

Particularmente en algunas épocas de cosecha, circulan vehículos de elevada carga útil por estos caminos. Las vías, cuya infraestructura en un principio únicamente consistía de material barroso de excavación procedente del canal, presentaban un fuerte agrietamiento en la capa de rodadura de asfalto. Sucesivamente, la penetración de agua produjo daños mayores y erosión por lavaje.

Para poder rehabilitar el camino se aplicó y desarrolló un proyecto utilizando asfaltos espumados, para lo cual el primer paso fue granular el camino existente en el ancho completo de aprox. 4,3 m, antes de que una motoniveladora, así como una compactadora efectuaran una primera corrección del perfil y la precompactación de la infraestructura homogeneizada. Durante el segundo paso, se llevó a cabo la incorporación de una combinación de ligantes compuesta de 1,5% de cemento y de 3% de betún espumado, mediante un tren de

pavimentación. Después de la compactación final de la red vial mediante compactadores vibratorios y compactadores de neumáticos, se aplicó un tratamiento de superficie para el sellado. También en este caso, el saneamiento de las vías resultó ser un método de rehabilitación rápido y eficaz, en el cual no fue necesario emplear material de otra procedencia.

Figura 4.12 Tren Reciclador de la vías



Fuente: Tesis: “Guía para Diseñar la Rehabilitación de una Ruta mediante el uso de Asfalto Espumado; Reciclando el Pavimento Asfáltico existente” –por el Bachiller Ricardo Arnoldo Robles Díaz – Valdivia Chile 2009.

En Chile, se han hecho investigaciones a nivel de laboratorio y a escala real, en particular el Laboratorio Nacional de Vialidad ha participado en el desarrollo de tramos de prueba en distintas zonas del país. El primero de ellos fue: “Proyecto Rehabilitación Travesía Copiapó, Ruta 5”, registrando todo lo relacionado al método constructivo y aportando en la experiencia logística en obra.

Por otro lado, también en laboratorio se han desarrollado una serie de estudios al material reciclado, en particular, se han realizado estimaciones de ángulo de fricción, determinación de la cohesión del material espumado, curvas de maduración, evolución de la fragilidad y ensayos triaxiales sobre el material, entre otros.

En el año 2006 se ha realizado la rehabilitación del camino en concesión La Madera aplicando la Técnica del Reciclado con Asfalto Espumado. Un equipo de ingenieros especialistas

supervisó el terreno de la construcción de 33 km de reciclado con asfalto espumado más la colocación de una carpeta asfáltica en caliente. El objetivo fue garantizar el aseguramiento de la calidad durante el proceso de construcción del proyecto.

Nueva Zelanda presentó un estudio en el año 2012 sobre el desempeño de pavimentos estabilizados con asfalto espumado en el Canterbury Accelerated Pavement Testing Indoor Facility (CAPTIF). CAPTIF es un laboratorio a escala real para pavimentos ubicados en Nueva Zelanda, que permite aplicar un gran número de cargas de tráfico en un breve período de tiempo. Seis secciones de pavimentos con distintos contenidos de asfalto y cemento fueron ensayadas en CAPTIF. Los resultados del experimento mostraron que las deflexiones disminuyen en las secciones con mayor contenido de asfalto espumado. Luego de aplicar más de un millón de ciclos de carga, las secciones estabilizadas solo con cemento, solo con asfalto y la sección sin estabilizar mostraron un deterioro significativo en forma de ahuellamiento. Por otro lado, las secciones que fueron estabilizadas con asfalto espumado y cemento mostraron un buen desempeño, demostrando que el cemento y el asfalto espumado juntos mejoran significativamente el desempeño del pavimento (*Según AlvaroGonzalez, MiskoCubrinovski, Bryan Pidwerbesky, David Alabaster*).

# CAPITULO V: RECICLAJE DE PAVIMENTO ASFALTICO

## 5.1 Generalidades

En este capítulo describe los distintos tipos de procesos y equipos para realizar el proceso de reciclado. También se exponen los beneficios que se obtienen al aplicar este proceso, y los principales factores que afectan la viabilidad del reciclado en frío en un proyecto específico.

## 5.2 El Proceso de Reciclado en Frío

El reciclado en frío puede ser realizado en planta o in-situ. En planta, el reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador continuo). In-situ, el reciclado se logra utilizando una máquina recicladora móvil.

En general, el proceso en planta es la opción más cara en términos de costo por metro cúbico de material.

Esto se debe principalmente a los costos de transporte, que no existen en el reciclado in situ. Sin embargo, ambos métodos de reciclado tienen su nicho en la industria de la construcción y la decisión sobre cuál debe ser aplicado está definido básicamente por:

***Tipo de construcción.*** El proceso en planta habitualmente es considerado donde el material reciclado se puede utilizar en la construcción de un nuevo pavimento asfáltico, y en el refuerzo de un pavimento existente.

***El material in-situ del pavimento existente que va a ser reciclado.*** Cuando el material de la capa superior de un pavimento existente va a ser reciclado, la variabilidad y/o condición del material en ocasiones requiere un proceso de selección o pre-tratamiento (por ejemplo, reducir el tamaño de una capa asfáltica gruesa).

En la actualidad, el tratamiento in-situ de los materiales de pavimentos es de uso generalizado, debido a la llegada de potentes máquinas recicladoras que pueden rehabilitar pavimentos a una fracción del costo de los métodos de reconstrucción convencionales. Además, considerando la situación de los pavimentos a nivel mundial, la rehabilitación de pavimentos existentes excede ampliamente la demanda por caminos nuevos. Como consecuencia de esto, el reciclado in-situ ha sido adoptado en muchos países como el método recomendado para abordar el enorme trabajo pendiente en términos de rehabilitación de pavimentos.

### **5.2.1 Reciclado en planta**

El tratamiento en planta permanece siempre como una opción que debería ser considerada cuando el reciclado tiene aplicación, particularmente en aquellos proyectos que requieren una mezcla de materiales vírgenes a ser tratados, y también cuando son tratados con asfalto espumado y luego almacenados en acopios para su uso posterior.

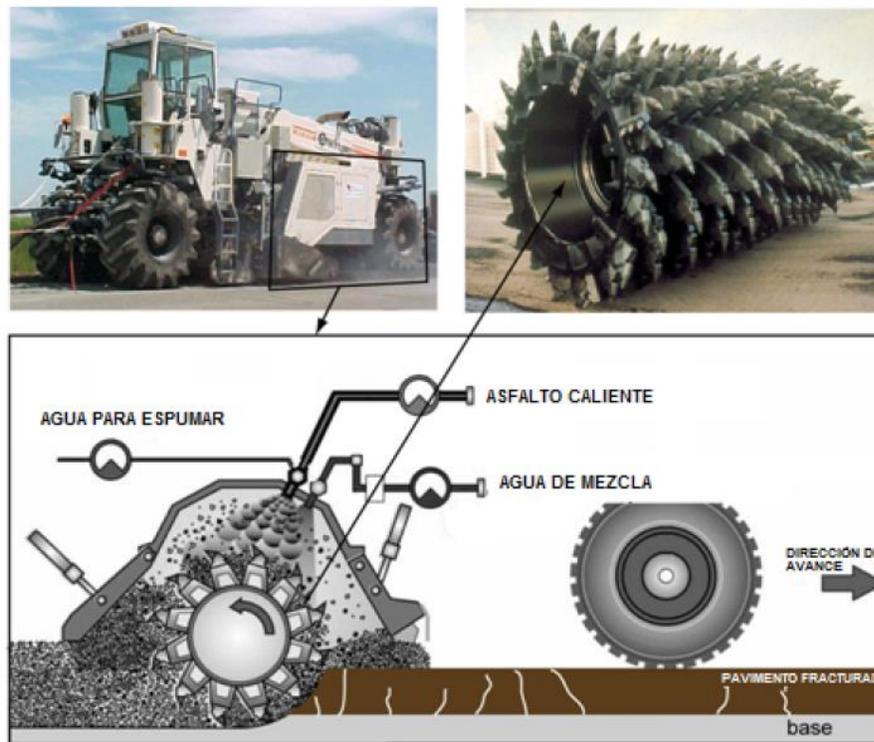
Los principales beneficios del reciclado en planta versus el reciclado in situ son:

- ***Control de los materiales de entrada.*** Mientras que el reciclado in-situ permite un control limitado del material recuperado del pavimento existente, el reciclado en planta permite producir un producto final específico al mezclar distintos tipos de agregados. Los materiales de entrada pueden ser almacenados en acopios y ser sometidos a ensayos antes de producir la mezcla, y también es posible cambiar la proporción de los mismos en la mezcla.
- ***Calidad de mezclado.*** Es posible realizar modificaciones en la operación de mezclado continuo para variar el tiempo en que el material es retenido dentro de la cámara de mezclado, cambiando la calidad de la mezcla.
- ***Posibilidades de acopiar el material.*** Particularmente en los materiales tratados con asfalto espumado, el producto producido puede ser almacenado y ser utilizado cuando sea requerido, y de ese modo evitar la dependencia de la producción de la mezcla y la colocación de la misma.

## 5.2.2 Reciclado in-situ

Las máquinas de reciclado han evolucionado a través de los años, desde las primeras máquinas modificadas para fresar y estabilizar suelos, hasta las recicladoras especializadas utilizadas hoy en día. Estas recicladoras son especialmente diseñadas para lograr la capacidad de reciclar capas de pavimento de gran espesor en una sola pasada. Las recicladoras modernas tienden a ser máquinas grandes y potentes, las cuales pueden estar montadas sobre orugas o sobre neumáticos de flotación. El elemento más importante de una máquina recicladora es el rotor fresador-mezclador equipado con un gran número de puntas, especialmente diseñadas para este proceso. El tambor normalmente rota y pulveriza el material del pavimento existente, como se ilustra en la Figura 5.1.

Figura 5.1 Recicladora



Fuente: Manual Wirtgen - Manual de Reciclado en Frío  
Segunda Edición Noviembre del 2004

A medida que la máquina avanza con el tambor rotando, el agua de un tanque acoplado a la recicladora se llena mediante mangueras dentro de la cámara de mezclado de la recicladora. El flujo de agua es medido con precisión mediante un micro procesador controlado por un sistema de bombeo, mientras que el tambor mezcla el agua con el material reciclado para alcanzar el contenido necesario de humedad. De esta forma es posible conseguir altos niveles de compactación. Agentes estabilizadores líquidos, como lechada cemento / agua o emulsión asfáltica, tanto en forma separada como combinadas, pueden ser introducidas directamente a la cámara de mezclado de una forma similar. Además, el asfalto espumado puede ser inyectado dentro de la cámara de mezclado mediante una barra aspersora especialmente diseñada.

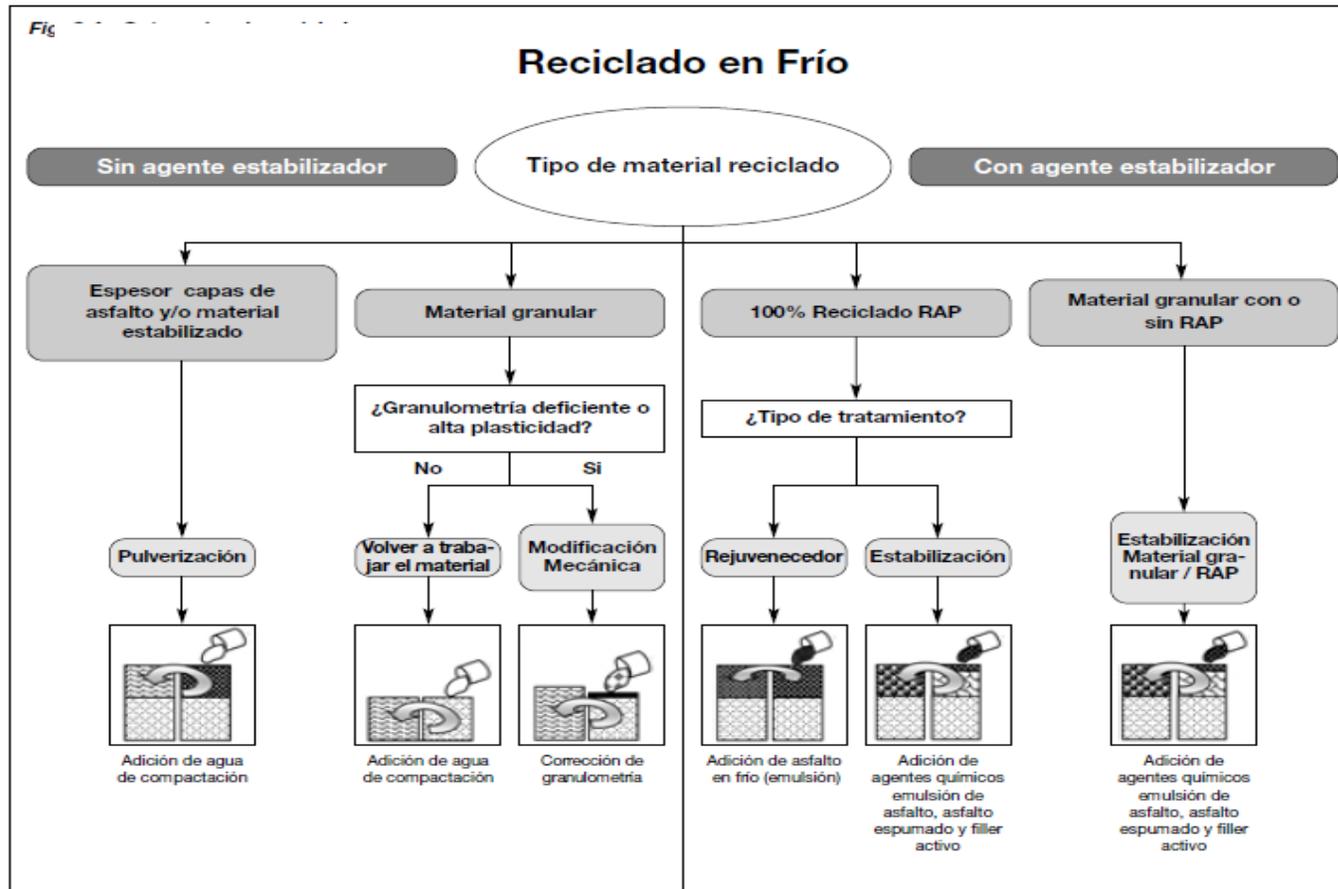
Agentes estabilizadores poderosos, como la cal hidratada, son normalmente repartidos en la superficie del pavimento existente, delante de la recicladora. La recicladora pasa trabajando sobre el estabilizador en polvo, mezclando a éste con el material recuperado, para luego inyectarle agua, todo en una sola pasada.

### **5.3 Aplicaciones del Reciclado en Frío**

El reciclado en frío es un proceso con múltiples aspectos que puede satisfacer muchas necesidades en el mantenimiento y rehabilitación en la infraestructura vial. Dependiendo en si el material es tratado o no con un agente ligante, se pueden identificar dos categorías de reciclado en frío. Luego, como un segundo grupo de clasificación, cada categoría (con o sin agente ligante) puede ser a su vez categorizada por el tipo de tratamiento que el material recibe. Este sistema de clasificación primaria y secundaria es ilustrado en el Esquema 5.1. Nótese que la abreviación “RAP” utilizada en el Esquema 5.1 y en otras partes de este manual se refiere a “Recycled Asphalt Pavement” (Pavimento Asfáltico Recuperado), un término comúnmente utilizado en todo el mundo para el material asfáltico fresado.

Las distintas categorías se presentan en el Esquema 5.1; 100% de reciclado con RAP, estabilización de material granular y/o RAP, modificación mecánica, recompactación y pulverización son discutidos a continuación:

Esquema 5. 1 Categrías de Reciclado



Fuente: Manual Wirtgen - Manual de Reciclado en Frío  
 Segunda Edición Noviembre del 2004

## 5.4 Beneficios del Reciclado en Frío

- Integridad Estructural: El proceso de reciclado en frío produce capas ligadas gruesas que son consideradas homogéneas y no contienen interfaces débiles con otras capas más delgadas.
- Se logra una alta calidad de mezclado de los materiales provenientes del fresado, el agua de compactación y los agentes estabilizadores.
- Se hace un uso de 100% de RAP, no se necesita crear sitios de empréstitos y se reduce las cantidades destinadas a botaderos. Esto reduce los efectos sobre el medio ambiente.
- Menores tiempos de construcción: Las máquinas empleadas en el reciclaje en frío son capaces de producir altas tasas de rendimiento, que reducen significativamente los tiempos de construcción.
- Seguridad: Uno de los beneficios más importantes del proceso de reciclado en frío es la seguridad vial que es posible conseguir. El tren de reciclado completo se puede acomodar en el ancho de una pista. Por ejemplo, en caminos con dos pistas, el reciclado puede ser llevado a cabo a lo largo de una mitad del ancho del camino durante el día. El ancho completo del camino, incluyendo la pista completamente reciclada, puede ser abierto al tráfico al anochecer.
- Costo-efectividad: Los beneficios expuestos anteriormente se combinan para hacer del reciclado en frío una alternativa altamente atractiva para la rehabilitación de pavimentos en términos de costo-efectividad.

# CAPÍTULO VI: ESTUDIO DE LA CARRETERA LA OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA – DV. TOCACHE

## 6.1 Marco Situacional

Las actividades de conservación periódica conllevan a realizar trabajos que comprenden VI Tramos, que van desde La Oroya hasta Dv. Tocache, las mismas que describen intervenciones tales como Parchado + Sello Fisuras + Mortero Asfáltico con una longitud real de 159.985 Km y Reciclado con Asfalo Espumado de 15cm + Mortero Asfáltico Slurry Seal de 9mm de 199.370 Km de longitud real.

De acuerdo a lo mencionado, los Tramos II, III, IV y V comprende la intervención del Reciclado con Asfalo Espumado + Mortero Asfáltico Slurry Seal.

Como punto de partida para diseñar el plan de conservación vial, se procedió a la recolección de la información de campo y su posterior procesamiento para determinar la intervención a realizar en cada uno de los tramos. Se realizaron actividades de campo tales como: Apiques y Sondeos, Estudio Deflectométrico (Inf. suministrada por la Entidad), Estudio de Variables Funcionales IRI (Inf. suministrada por la Entidad), Estudio del Tránsito y Auscultación de Daños Superficiales.

La medición del IRI, adicionalmente, fue realizado en los tramos de la carretera. El equipo empleado para la medición de la rugosidad fue un **PERFILÓGRAFO RSP-L5** (Road Surfacer Profiler) de la compañía Dynatest, el cual permite relevar en forma continua el carril de circulación del tramo seleccionado, recorriendo el mismo a una velocidad superior de 30 km/h.

En particular, la deflectometría fue medida por un deflectómetro de impacto (HWD) Dynatest, para tal caso se tuvo una carga aplicada de 40 KN y los desplazamientos

verticales producidos en el pavimento a causa del impacto, fueron detectados por geófonos situados en línea recta a determinadas separaciones del centro de aplicación de la carga, típicamente 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 cm.

La investigación geotécnica consistió en 42 calicatas, en donde a las muestras extraídas de cada estrato encontrado se le hicieron ensayos de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del MTC (EM-2000). En ese sentido, en su mayoría corresponden a gravas ligeramente limosas, seguido de gravas limosas arcillosas, y finalmente limos y arcillas.

En cuanto al diseño, esto fue basado en el AASHTO-93 (American Association of State Highway). La expresión a utilizar definida por la metodología AASHTO 93, que relaciona el número estructural con los espesores de cada una de las capas, proporcionando una capacidad con base en el aporte estructural y en función de la calidad del material utilizado, es el Número Estructural SN.

Finalmente, cabe mencionar que hubo cambios en las intervenciones en los tramos Huayre - Chicrín, Huánuco - Puente Rancho y Puente Rancho - Tingo María, esto obedece a los resultados obtenidos en la evaluación de la Condición Estructural y Funcional del pavimento existente. El Contratista – Conservador propone, para evaluación y decisión de la Entidad, ejecutar soluciones de conservación periódica diferentes, algunas de ellas representando un mayor costo y otras un menor costo para el proyecto.

## **6.2 Descripción Geográfica**

### **6.2.1 Ubicación**

La carretera se encuentra ubicada entre los departamentos de Junín, Pasco y Huánuco (Ver Figura 6.1a).

Figura 6.1a Mapa de Ubicación



Fuente: [http://gis.proviasnac.gob.pe/FilesPdfs/Proyectos/00948\\_6.pdf](http://gis.proviasnac.gob.pe/FilesPdfs/Proyectos/00948_6.pdf)

Comprende los siguiente Centros Poblados:

REGION	PROVINCIA	DISTRITO
JUNIN	JUNIN	LA OROYA
JUNIN	CARHUAMAYO	CARHUAMAYO
PASCO	PASCO	NINACACA
		VICO
		CHAUPIMARCA
		HUARIACA
		CHICRIN
HUANUCO	AMBO	AMBO
	HUANUCO	HUANUCO
	LEONCIO PRADO	TINGO MARIA
		PUMAHUASI

La población beneficiada es de 342 972 habitantes.

Descripción de los tramos a intervenir:

- **Tramo I La Oroya – Huayre.** Se encuentra ubicada en la región centro, en el departamento de Junín entre La Oroya y Huayre, con una longitud de 74.60 Km.
- **Tramo II Huayre – Chicrín.** Se encuentra ubicado en la región centro, entre Huayre y Chicrín, en los departamentos de Junín y Pasco, respectivamente, con una longitud de 77.70 Km.
- **Tramo III Chicrín – Huánuco.** Se encuentra ubicado en la región centro, entre Chicrín y Huánuco, en los departamentos de Pasco y Huánuco, respectivamente, este tramo cuenta con una longitud de 79.45 Km haciendo de esta una vía importante, no solo para la unión entre estas dos poblaciones, sino también para las regiones que las circundan y/o tienen acceso y comunicación con esta vía.
- **Tramo IV Huánuco – Puente Rancho.** Se encuentra ubicado en la región centro, entre Huánuco y el Puente Rancho vía Tingo María, departamento de Huánuco, este tramo de la carretera cuenta con una longitud de 25.4 Km.
- **Tramo V Puente Rancho – Tingo María.** Se encuentra ubicado en la Región central, entre Huánuco y Tingo María, en el departamento de Huánuco, esta carretera cuenta con una longitud de 97.06 km, el cual constituye una vía importante para la unión entre las provincias y el desarrollo del departamento.
- **Tramo VI Tingo María – DV. Tocache.** Se encuentra ubicado en el departamento de Huánuco, cuenta con una longitud de 16.29 Km.

### **6.2.2 Altitud y Condiciones climáticas**

La carretera, a lo largo de su recorrido, tendrá que pasar por diferentes centros poblados del cual se situará dentro de características geográficas divergentes, por lo tanto de condiciones climáticas cambiantes. A continuación se describe geográficamente los poblados y sus respectivas peculiaridades.

El clima del departamento de Junín tiene una temperatura promedio de 11°C. En general el clima de Junín es templado, varía de acuerdo a la altitud, así como en algunas provincias del departamento, el clima es frígido (frío y lluvioso). Situada a los 4,105 msnm en la orilla sur del lago Junín.

San Jerónimo de La Oroya, antes Villa de La Oroya, es una ciudad de la parte central del Perú, capital de la Provincia de Yauli, departamento de Junín. Está situado a 3,750 msnm en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, al margen del Río Mantaro, a unos 176 km al noreste de la capital peruana Lima.

La Oroya constituye el punto de convergencia de las 3 vías de comunicación del centro del país, una hacia la costa a Lima, otra hacia el sur a Huancayo (Huancavelica, Ayacucho, Cusco) y la tercera ruta hacia Tarma, Pasco y el Valle de Chanchamayo, Junín, Tingo María hasta Pucallpa.

La Oroya está enclavada en las estribaciones orientales de la Cordillera de los Andes. Debido a la ubicación en la puna andina y por su gran altitud (3,750 msnm), el clima es frígido y lluvioso.

El distrito de Carhuamayo es el distrito del cercado de la provincia de Junín, situada en la zona ecológica de punta alta con territorios por encima de los 4,100 m.s.n.m., debiéndose distinguir nítidamente dos zonas de ocupación alternativa: la zona inmediata a la ribera del lago u “oconal”, zona inundable o dentro del entorno del lago Chinchaycocha, que corresponde propiamente a la meseta de Bombón, y la parte de laderas pertenecen a la cadena oriental de los Andes centrales.

Carhuamayo se halla situada en un punto singular de ubicación que le permite, además de ser paso obligatorio de transporte vial carretero y ferrocarrilero de La Oroya a Cerro de Pasco, ser punto de inicio de la penetración hacia las quebradas de la vertiente oriental de los Andes.

Chicrín está situada en la parte Nor-Este del distrito de Yanacocha, provincia de Pasco, departamento de Pasco. Limita al Norte con Cajamarquilla, al Sur con la Quinia, al Este

con La Quinoa y al Oeste con Atacocha. Tiene clima templado con lluvias en diciembre a marzo y los otros meses con sol y sin embargo con heladas.

Chicrín se halla a 3,500 msnm, su suelo es accidentado, está atravesado por el río Huallaga, rodeado por los cerros URINHUAYRA en la parte oeste, CHILENOHERA en la parte nor-este y el cerro UCHI por el nor-oeste, clima templado por estar entre las zonas Quechua y Suni.

El distrito de Ambo es uno de los 8 distritos de la Provincia de Ambo, ubicada en el Departamento de Huánuco, perteneciente a la Región Huánuco. Su capital es Ambo. El distrito de Ambo se ubica a 2,064 msnm.

Huánuco es una ciudad ubicada en la parte nor-central del Perú, es la capital del departamento de Huánuco. Presenta topografía accidentada y regiones de sierra y selva.

Sus coordenadas son 8° 21' 47 de latitud sur y entre 76° 18' 56" y 77° 18' 52,5" de longitud oeste; mientras que su altitud promedio es de 1,894 msnm.

La carretera central conecta Huánuco con la Amazonía Peruana (Pucallpa), con la zona altoandina (Cerro de Pasco) y la capital peruana de Lima.

Tiene un clima templado y seco en la parte andina y cálido en la zona montañosa. La temperatura promedio es de 19 °C en sus valles.

Tingo María es una ciudad del centro-norte del Perú, capital del distrito de Rupa-Rupa y de la provincia de Leoncio Prado, en el departamento de Huánuco. Ubicada en la parte media del río Huallaga, entre la Cordillera Azul y la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, una zona de yunga. Se encuentra a los 647 msnm.

El clima de la ciudad es tropical, cálido con una temperatura promedio anual de 18 a 35 °C y humedad relativa de 77.5 %, con una precipitación anual de 3,000 mm. Puede observarse microclimas o lluvias a distancias muy cortas entre 200 a 500 metros, no obstante hace un calor sorprendente.

## **6.3 Ventajas Técnicas de la aplicación del RPAE en la etapa de post intervención**

### **6.3.1 Proceso Constructivo de Alto Rendimiento**

El proceso constructivo que se tuvo en este proyecto estuvo determinado por el siguiente esquema de trabajo, que a continuación se describe.

Con el fin de que se tengan rendimientos altos como los que en la actualidad se tienen, se implementó un gran logística que empezó por una capacitación del personal, programación de recursos, programación de equipos, programación de despachos de materiales como cemento y asfalto, topografía de las zonas de trabajo, re nivelación de las zonas en la cual se presentaban deformaciones en la carpeta existente de más de 5 cm, estudio de los espesores del asfalto de toda la carretera y granulometrías y ensayos al material granular obtenidos al fresar en zonas en donde se encontraron homogeneidad de espesores y de deterioros de la pista.

Sumado a estos trabajos, se hizo el estudio de los anchos de la carretera con el fin de esquematizar los anchos del tambor de la recicladora, al tener estos tramos demarcados, se efectuó la distribución del cemento, el cual fue usado para poder darle resistencia conservada al material, es decir, resistencia a los ciclos de humedecimiento y secado.

Además, se contó con un buen equipo de laboratorio en el que se pudo realizar diariamente todos los ensayos requeridos para garantizar que se esté trabajando correctamente bajo las especificaciones técnicas y de calidad vigentes para este proyecto.

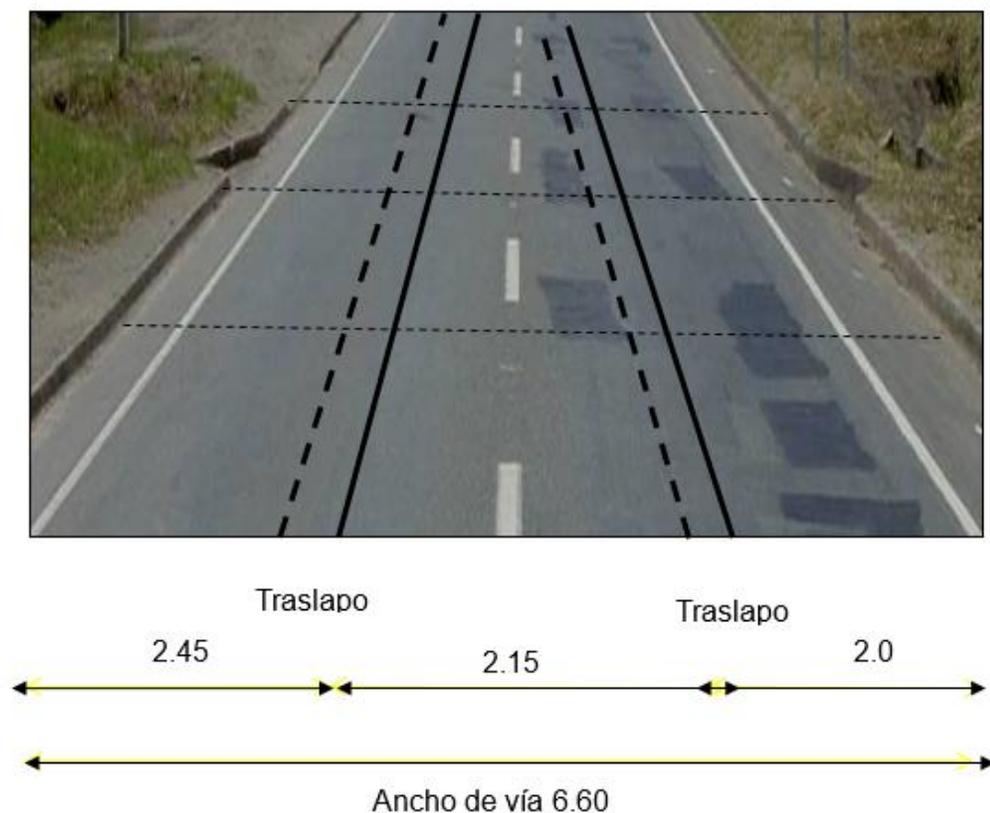
El avance promedio diario en una jornada normal, sujeto a un horario de 7:00am - 12m y de 1:30pm - 5:30pm (con cierres programados de 30 minutos durante 3 veces), consistió en un orden particular de trabajo:

Inicialmente, se efectuó los trabajos de levantamiento de la vía existente con el fin de determinar zonas posibles de relleno, ya que al existir huecos o deformaciones, eran

necesario que estos sean previamente nivelados, ya que de otra manera, la recicladora calcaría el estado de la vía dejando a su paso nuevamente las deformaciones.

Posteriormente, se efectuaron trabajos topográficos de demarcación de los carriles y sobrecanchos con el fin de poder distribuir el cemento portland, el asfalto y el agua (Ver Figuras 6.1 y 6.2), y además con la finalidad de que no vayan a quedar sectores con excesos o defectos de alguno de los materiales que pueden llegar a causar acolchonamientos, rigideces indeseadas o excesivos consumos de materiales, para esto la topografía marcará los anchos de la recicladora y los sectores de traslape para que en ellos no exista duplicidad de colocación de materiales y luego poder iniciar los trabajos de reciclado, los cuales consisten en enganchar por medio de tiros fijos a la recicladora el camión cisterna con asfalto y el camión cisterna con agua.

Figura 6.1 Esquema de distribución de los carriles para una vía de 6.60 metros de ancho



Fuente: Informe de Reciclado con Asfalto Espumado de la Carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache. Por William Mauricio Galvis Castillo - Conalvías S.A Sucursal Perú

Figura 6.2 Distribución de los carriles en curva y del cemento



Fuente: Informe de Reciclado con Asfalto Espumado de la Carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache. Por William Mauricio Galvis Castillo - Conalvías S.A Sucursal Perú

Se inician los trabajos de reciclado. Estos consisten en configuraciones de trenes de máquinas que fueron diseñadas para lograr la capacidad de reciclar capas de pavimento en una sola pasada. A continuación se especifica en la Figura 6.3 el Tren de Reciclado para este proyecto en particular.

Figura 6.3 Tren de Reciclado



Fuente: “Proyecto Perú-Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio Aplicación de Nuevas Tecnologías” - Conalvías S.A Sucursal Perú. Por William Mauricio Galvis Castillo.

El Tren de Reciclado estuvo compuesto por:

- Cisterna de Agua 4000 galones.
- Cisterna de Asfalto de 8000 galones.
- Reciclado Wirtgen 2500 S
- La recicladora Wirtgen posee un tambor con puntas semejantes a los de una fresadora (Ver Figura 6.4) y estas van pulverizando las capas de asfalto y base granular, luego los va mezclando con el cemento colocado sobre la superficie y se va inyectando el asfalto y el agua para el espumado, y el agua de compactación mediante una serie de boquillas distribuidas (Ver Figura 6.5 y Figura 6.5a) sobre y a

lo ancho del tambor de la recicladora, después de esto, va seguida inmediatamente por un rodillo liso, el cual da un pre – compactado inicial para la franja que se está ejecutando.

Figura 6.4 Puntas de la Fresadora Wirtgen



Figura 6.5 Distribución de Boquillas en la Recicladora

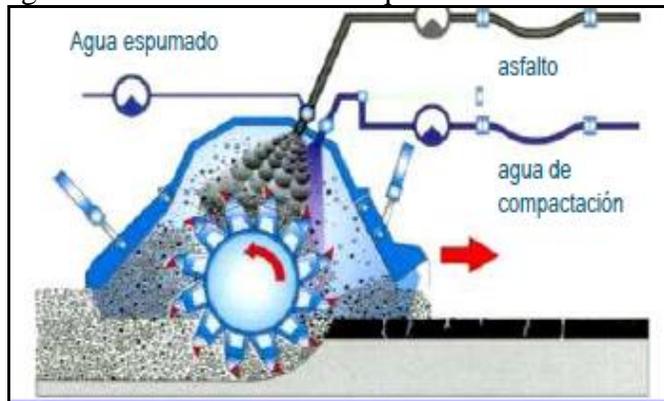


Figura 6.5a Boquillas en la Recicladora



Fuente Figura 6.4, 6.5 y Figura 6.5a: “Proyecto Perú-Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio Aplicación de Nuevas Tecnologías” - Conalvías S.A Sucursal Perú.

Por William Mauricio Galvis Castillo.

Estas franjas de trabajo son del ancho de la recicladora (2.45 metros) y una longitud de 250 metros. Al llegar al final de la primera franja, la recicladora, junto con la cisterna de asfalto y de agua, retroceden para iniciar con la franja del centro y así repetir el proceso hasta completar toda la calzada. Cuando se halla reciclado todo el ancho de la calzada, entran a trabajar la motoniveladora y los demás rodillos, de la misma manera que se trabaja una conformación con material granular. Esto describe al Tren de Compactación (Ver Figura 6.6).

Figura 6.6 Tren de Compactación



Pre-Compactado Inicial y nivelación de la Franja de Trabajo



Compactación Secundaria. Rodillos Lisos de 11 Ton y 14 Ton.

Riego de Agua para alcanzar el Óptimo Contenido de Humedad y Conformación Final con Rodillo Neumático.



Fuente: Reciclado de Pavimentos, Tecnología Moderna para el Mantenimiento de Carreteras. “Proyecto Perú-Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio Aplicación de Nuevas Tecnologías” - Conalvías S.A Sucursal Perú. Por William Mauricio Galvis Castillo.

Cabe mencionar que para obtener la humedad de compactación óptima (6.4%) después del reciclado, se tuvo que realizar un riego de agua en aproximadamente 0.5 % - 1% que se adiciona en el momento en que el rodillo liso está culminando la compactación y se va a sellar con el rodillo neumático, con el fin de densificar un poco más el material y que las densidades suban al 100%.

El avance en una jornada normal de trabajo, con esta configuración de equipos, se encuentra entre 800 y 1200 ml por día normal de trabajo, es decir, un avance promedio de 1000 ml, siempre y cuando se tengan espesores de capas asfálticas entre 5 y 10 cm, ya que al aumentar el espesor del asfalto disminuye la velocidad del reciclado, por ejemplo, al tener una carpeta de 17 a 20 cm, se tuvieron rendimientos entre 2 y 5 metros por minuto, dificultando la producción de la espuma, por lo que fue necesario fresar primero y luego proceder a reciclar.

### **6.3.2 Apertura al tránsito en un menor tiempo después del mezclado**

La publicación realizada por la “Revista Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LANAMME, Universidad de Costa Rica”, Agosto 2002 sobre el Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado menciona que el material tratado puede ser colocado, compactado y abierto al tráfico en un menor tiempo después del mezclado, como una de las ventajas de esta tecnología.

Según el juicio de William Mauricio Galvis Castillo-Conalvías S.A Sucursal Perú quien fue Gerente Vial, el asfalto espumado se puede poner al tránsito inmediatamente porque se encuentra a temperatura ambiente, en cambio, un asfalto convencional se compacta mínimo a 120 °C, por lo que si se abre al tráfico inmediatamente se puede producir deformación de la carpeta denominado Ahuellamiento.

De manera particular, con respecto al proyecto en estudio, no se tuvo registro alguno del tiempo que demoró aperturar el tránsito de la carretera después de la conformación final de las franjas de trabajo, pero se abrió al tránsito todas las tardes después de la jornada de trabajo sin inconvenientes para el reciclado recién trabajado.

En cuanto al curado, esto se hizo mediante la colocación de un riego de protección que fue una emulsión sin polímero diluída en una proporción de 1 a 3 de agua, esta se aplicaba al día siguiente, después del reciclado, así no había pérdida de humedad sobre la base reciclada.

### **6.3.3 Características Estructurales**

#### **6.3.3.1 Deflectometría**

No se realizó ensayo deflectométrico posterior a los trabajos de reciclado con asfalto espumado y colocación de slurry seal como carpeta de rodado porque no estuvo contemplado dentro de las especificaciones de trabajo dadas por la Entidad (El Estado).

#### **6.3.3.2 Resistencia a la Tracción Indirecta**

Para evaluar la resistencia de la mezcla con asfalto espumado se utilizó el ensayo a la Tracción Indirecta (Indirect Tensile Strength, ITS), en vez del ensayo Marshall. Además, la susceptibilidad a la humedad del material es generalmente determinada en términos de la Resistencia a la Tracción Retenida (Tensile Strength Retained, TSR) o Conservada.

En el presente proyecto, se tomó muestras representativas del material dejado detrás de la máquina recicladora para compactar probetas tipo Marshall de 10cm de diámetro y probar la Resistencia a la Tracción Indirecta del material seco (ITS seco) y en condición húmeda (ITS húmeda), verificando que se obtengan resistencias mínimas de ITS seco de 200 KPa y de ITS húmedo de 100 KPa, junto con una Resistencia Conservada superior al 50% ( $ITS_{húmedo} / ITS_{seco}$ ).

Efectivamente, se registraron valores obtenidos promedio superiores (caso Tramo V), tanto para ITS seco e ITS en estado húmedo, junto con la Resistencia Conservada superior al 50%. A continuación se muestra la siguiente Tabla 6.1.

Tabla 6. 1 Resistencia a la Tracción Indirecta del Tramo V

Proyecto:	C ONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO CARRETERA LA OROYA - CHICRIN -			
Empresa:	CONALVIAS S.A SUCURSAL PERU			
Cliente:	M.T.C. - PROVIAS NACIONAL			
Asfalto:	85/100	160	% Agua: 2.5%	
Material:	ESPUMADO RAP. + BASE ( 0.15 - 0.20 - 0.25 cm )			
FECHA	TRAMO V KM.	Resistencia I.T.S. (KPa)		RESISTENCIA CONSERVADA
		SECO	HUMEDO	
		KPa.		%
24/06/2011	77+860 - 76+650	416.5	342.1	82.2
25/06/2011	76+650 - 75+518.50	368.1	296.8	80.6
26/05/2011	75+400 - 74+920	350.2	301.8	86.2
27/06/2011	74+920 - 74+620	273.3	235.7	86.2
28/06/2011	74+620 - 73+870	304.8	252.0	82.7
29/06/2011	73+870 - 73+337.70	274.8	245.5	89.3
01/07/2011	73+337.70 - 72+650	387.1	301.4	77.9
04/07/2011	72+650 - 72+000	381.2	301.2	79.0
05/07/2011	72+000 - 70+760	299.2	255.0	85.2
06/07/2011	70+760 - 69+600	399.9	317.0	79.3
07/07/2011	69+600 - 66+691	345.1	288.8	83.7
08/07/2011	66+691 - 65+600	340.1	287.6	84.6
09/07/2011	65+600 - 64+276.50	360.6	308.1	85.4
10/07/2011	64+276.50 - 63+840	326.2	278.3	85.3
11/07/2011	63+840 - 62+478.50	311.1	268.0	86.1
12/07/2011	62+478.50 - 61+419	391.7	313.5	80.0
13/07/2011	61+419 - 60+350	351.4	311.6	88.7
14/07/2011	59+220.65 - 58+052.20	303.3	255.1	84.1
15/07/2011	57+985.35 - 56+730	357.8	272.4	76.1
16/07/2011	55+660 - 49+354	369.7	310.1	83.9
17/07/2011	49+354 - 48+822.45	396.0	331.8	83.8
18/07/2011	48+509.90 - 46+638.45	380.8	313.8	82.4
19/07/2011	40+347 - 41+660	282.9	227.1	80.3
20/07/2011	41+660 - 42+350	334.0	264.6	79.2
21/07/2011	42+350 - 43+021	320.5	275.5	85.9
PROMEDIOS:		345.0	286.2	83.1
ESPECIFICACIONES:		200 MIN	100 MIN	50 %MIN.

Fuente: Informe Reciclado Pista Km 43+021 al Km 77+860 por William Mauricio Galvis Castillo – Conalvías Sucursal Perú

## 6.4 Ventajas Ambientales de la aplicación del RPAE en la etapa de post intervención

### 6.4.1 Disminución de explotación de Canteras de Material para Base Granular y generación de residuos

El reciclado hace que se reutilicen todos los materiales del pavimento existente, es por eso que no se explotó canteras de material para base granular no requeridas para las actividades que comprende el RPAE. Sin embargo, para este proyecto se identificaron sectores con déficit estructural en el **Tramo V**, el cual consistió en sitios con alto grado de deflectometría y pérdida de la carpeta asfáltica que requería trabajos de refuerzo estructural con material granular.

La Entidad accedió a la colocación de material granular en espesores de 15, 20 o máximo 30 cm en una longitud de 7.105 Km, posteriormente se recicló entre 18 y 20 cm de espesor. De esta manera se completaba el número estructural requerido debiendo explotar cantera, pero en cantidad mucho menor que una técnica convencional (Ver Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1 Resumen de cantidades de material para base granular explotado aplicable para la Técnica Tradicional y el Reciclado con Asfalto Espumado

Descripción	Técnica Convencional	Reciclado con Asfalto Espumado	Ahorro
Material granular para Base m <sup>3</sup>	444,096.68	13,927.22	430,169.45

Fuente: Elaboración Propia

Se cuantifica 13, 927.22 m<sup>3</sup> de material utilizado como encimado del pavimento existente para la aplicación del asfalto espumado y 444, 096.68 m<sup>3</sup> de material base si se hubiera empleado la Técnica Convencional.

En cuanto a la generación de residuos, se cuenta con 0.00 m<sup>3</sup> de material eliminado de base granular y de la superficie de rodadura existente en la vía, por lo tanto, no se

generaron residuos que van a botaderos, lo cual, como se sabe, no están cerca del lugar de trabajo ni de la zona poblada, estos residuos de asfalto son muy contaminantes que no se pueden eliminarse en cualquier lado. Se muestra un cuadro comparativo de la cantidad de material a eliminar si se hubiera hecho el uso de una técnica convencional (Ver Cuadro 6.2).

Cuadro 6.2 Cantidad de Material a Eliminar

Descripción	Técnica Convencional	Reciclado con Asfalto Espumado
Material eliminado m <sup>3</sup>	532,916.01	00,000.00

Fuente: Elaboración Propia

La técnica convencional hubiera exigido eliminar 199, 370 m x 6,6 m x 0.30 m x 1.35, resultando en 532, 916.01 m<sup>3</sup> de material.

#### **6.4.2 Menor emisión de CO<sub>2</sub>**

No se han realizado mediciones en cuanto a ecoeficiencia de procesos, inclusive, no se han realizado evaluaciones de impacto ambiental con la metodología de Matriz de Leopold (que es una metodología cualitativa) y no se han realizado monitoreos ambientales. Por lo que no existe información y/o registro de emisión de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) para esta obra de mantenimiento.

### **6.5 Ventajas Económicas de la aplicación del RPAE en la etapa de post intervención**

#### **6.5.1 Ahorro en el costo de mantenimiento por Km**

En cuanto a los costos de esta solución, las cuales corresponden a trabajos de mantenimiento y no de rehabilitación, el costo por Km de esta alternativa está por el orden de 60.000 US\$ para un ancho de 6.6 a 7.0 metros. Los siguientes sub capítulos mostrarán la disminución en costo de mantenimiento al aplicar RPAE respecto a la Técnica Convencional.

### **6.5.1.1 Disminución en el costo de obtención y transporte de material granular nuevo**

Se están ahorrando costos de material granular nuevo y de su respectivo transporte, lo cual siempre es un monto fuerte en cualquier obra. En tal sentido, se estaría disminuyendo el gasto de traída de material de 199 370 m de longitud x 6.6 m de ancho x 0.25 m de espesor promedio x 1.35 de factor; el mismo material en cantera debe explotarse, procesarse y transportarse, esto tiene un costo de producción de 25.76 soles aproximadamente por m<sup>3</sup> de material zarandeado (Ver Anexo A6: Partida Material Base (Preparación y Explotación), entonces, serían 444,096.68 m<sup>3</sup> x 25.76 soles/m<sup>3</sup> lo que equivale a 11'439,930.35 soles sólo en material granular. A esto, se debe sumar el costo del transporte, fue considerado 1.42 soles por m<sup>3</sup> por Km de transporte para el reciclado con asfalto espumado. Si el material que se debe llevar se encuentra a 31 Km de distancia promedio, entonces, el costo a pagar sería 44.02 soles por m<sup>3</sup> por los 31 Km de recorrido, esto resultaría 19'549,135.63 soles en sólo transporte, entonces, se debe sumar transporte más costo de material granular, obteniéndose 30'989,065.98 soles. En este proyecto se estaría ahorrando en obtención y transporte de material granular nuevo, aproximadamente 30'989,065.98 soles, lo que significa un ahorro considerable para la Entidad o para el Estado por usar la técnica del reciclado respecto a la técnica tradicional (Ver Cuadro 6.3).

Cuadro 6.3 Detalle de gastos de material granular nuevo y su transporte

Longitud de Reciclado (Km)	199.37
Ancho de la Calzada (m)	6.60
Espesor promedio (m)	0.25
Factor de Contracción	1.35
Material Granular por utilizar	444,096.68
Costo de material zarandeado por m3	S/. 25.76
Costo de material granular	S/. 11,439,930.35
Costo por m3 por Km de transporte	S/. 1.42
Distancia promedio de cantera (Km)	31.00
Costo por m3 por 31 km	S/. 44.02
Costo de transporte	S/. 19,549,135.63
<b>RESUMEN DE COSTOS</b>	
<b>Costo de material granular</b>	S/. 11,439,930.35
<b>Costo de transporte</b>	S/. 19,549,135.63
<b>Ahorro para la Entidad</b>	<b>S/. 30,989,065.98</b>

Fuente: Elaboración Propia

No obstante, exigido la utilización de material granular en el Tramo V como encimado del pavimento existente para conseguir el número estructural requerido como resultado de la presencia de zonas críticas, definidas como sectores con déficit estructural y alto grado de deflectometría, se empleó 13,927.22 m<sup>3</sup> de material granular. No obstante, se hace referencia al gasto de obtención y transporte del mismo en el siguiente Cuadro 6.4.

Cuadro 6.4 Detalle de gastos de material granular para encimado y su transporte

Longitud total encimado (Km)	7.105
Ancho de calzada (m)	6.60
Espesor promedio (m)	0.22
Factor de contracción	1.35
Material Granular por utilizar (m3)	13,927.22
Costo de material zarandeado por m3	S/. 25.76
Costo de material granular	S/. 358,765.21
Costo por m3 por Km de transporte	S/. 1.42
Distancia promedio de cantera (Km)	31.00
Costo por m3 por 31 km	S/. 44.02
Costo de transporte	S/. 613,076.27
RESUMEN DE COSTOS	
<b>Costo de material granular para encimado</b>	<b>S/. 358,765.21</b>
<b>Costo de transporte</b>	<b>S/. 613,076.27</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.5.1.2 Disminución en el costo de eliminación de material excedente

A efectos de definir la disminución del costo de transporte de eliminación de material existente, lo cual siempre representa un monto importante; en este proyecto, al no utilizar botaderos se ahorró en  $199.370 \text{ Km} \times 6.6 \text{ m de ancho} \times 0.30 \text{ m de espesor} \times 1.35$  de expansión, equivalente a  $532,916.01 \text{ m}^3$  de eliminación de material, considerando alrededor de 1.20 soles por  $\text{m}^3$  por Km de transporte para una distancia aproximadamente de 10 Km, se tiene un ahorro total de 6'394,992.12 soles en transporte de material eliminado, sabiendo que no están cerca los sitios autorizados de disposición final de residuos como es el asfalto viejo (Ver Cuadro 6.5).

Cuadro 6.5 Detalle de gastos de eliminación de material excedente, si la aplicación fuera la Técnica Tradicional

Longitud de reciclado (Km)	199.37
Ancho de calzada (m)	6.60
Espesor promedio (m)	0.30
Factor de Expansión	1.35
Material Granular por utilizar m3	532,916.01
Costo por m3 por Km de transporte	S/. 1.20
Distancia supuesta a botadero (Km)	10.00
Costo por m3 por 10 Km	S/. 12.00
Costo de transporte de eliminación	S/. 6,394,992.12
<b>RESUMEN DE COSTOS</b>	
Costo de Eliminación de Material	S/. 6,394,992.12
<b>Ahorro para la Entidad</b>	<b>S/. 6,394,992.12</b>

Fuente: Elaboración Propia

En general, el ahorro en el costo de obtención y transporte de material granular nuevo y en el costo de eliminación de material excedente aplicable al Reciclado con Asfalto Espumado y a la Técnica Tradicional se muestra en la Cuadro 6.6.

Cuadro 6.6 Disminución en el gasto de material granular nuevo, su transporte y en la eliminación de material excedente cuando se emplea RPAE respecto a la Técnica Tradicional

	<b>Técnica Tradicional</b>	<b>Reciclado con Asfalto Espumado</b>	<b>Ahorro RPAE</b>
Costo de Material Granular nuevo	S/. 11,439,930.35	S/. 0.00	S/. 11,439,930.35
Costo de Transporte del Material Granular nuevo	S/. 19,549,135.63	S/. 0.00	S/. 19,549,135.63
Costo de Eliminación	S/. 6,394,992.12	S/. 0.00	S/. 6,394,992.12
Costo de Material Granular para Encimado	S/. 0.00	S/. 358,765.21	S/. -358,765.21
Costo de Transporte del Material Granular para Encimado	S/. 0.00	S/. 613,076.27	S/. -613,076.27
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 37,384,058.10</b>	<b>S/. 971,841.48</b>	<b>S/. 36,412,216.62</b>
%	100%	3%	97%

Fuente: Elaboración Propia

El Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado representa el 3% de gastos en material granular nuevo, transporte del mismo y en la eliminación de material, respecto a la Técnica Tradicional.

### 6.5.2 Disminución en el costo de consumo de insumos

Para probar la hipótesis basada en fundamentos teóricos, que indican que la aplicación de la Técnica del Asfalto Espumado en cuanto a costos de consumo de insumos es menor al de la Técnica Convencional, a continuación se presentan unos cuadros de análisis de los insumos de mano de obra, materiales y maquinaria utilizados, en particular para la carretera en estudio.

### 6.5.2.1 Insumos Mano de Obra

#### - Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado

La determinación del costo de consumo de insumos, para el caso insumo Mano de Obra de la partida BASE RECICLADA (RAP) E=150mm, resulta justificado a partir del Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.) (Precios año 2009), cuyo Cuadro 6.7 se basa en la documentación proporcionada por William Mauricio Galvis Castillo, quien fue parte del proyecto de mantenimiento por niveles de servicio de la carretera en estudio como Gerente Vial de la empresa CONALVÍAS S.A Sucursal Perú.

#### 1) BASE RECICLADA (RAP) E=150 mm

Cuadro 6.7 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E=150mm

RENDIMIENTO :	6,600.00	m2/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:			S/. 0.12
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
OPERARIO JEFE DE GRUPO	hh	1.0000	0.0012	S/. 14.98	S/. 0.02	
OPERARIO	hh	1.0000	0.0012	S/. 14.98	S/. 0.02	
OFICIAL	hh	1.0000	0.0012	S/. 11.90	S/. 0.01	
PEON	hh	6.0000	0.0073	S/. 9.66	S/. 0.07	
					<b>S/. 0.12</b>	

Cuadro 6.8 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica RPAE

CONSUMO HORA HOMBRE (HH) Y COSTO TOTAL						
RECURSO	METRADO m2	HH/m2	HH TOTAL	PRECIO/m2	COSTO	
OPERARIO JEFE DE GRUPO	1,315,842.00	0.0012	1579	S/. 0.02	S/. 26,316.84	
OPERARIO	1,315,842.00	0.0012	1579	S/. 0.02	S/. 26,316.84	
OFICIAL	1,315,842.00	0.0012	1579	S/. 0.01	S/. 13,158.42	
PEON	1,315,842.00	0.0073	9606	S/. 0.07	S/. 92,108.94	
			<b>14343</b>		<b>S/. 157,901.04</b>	
<b>HH TOTAL</b>		<b>14343</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>S/. 157,901.04</b>				

**- Técnica Convencional**

La determinación del costo de consumo de insumos, para el caso Insumo Mano de Obra, comprende la denominación de dos partidas dentro del rubro de PAVIMENTOS de lo que normalmente refiere a la aplicación de una Técnica Convencional, esto son: 1) ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYE CARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 10 Km y 2) BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m. Esto resulta justificado a partir del Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.), cuyo Cuadro 6.9 se basa en la literatura del Libro "Costos y Tiempo en Carreteras" por Walter Ibañez. El uso del mencionado libro sirve como referencia bibliográfica de lo que establece la Técnica Convencional, como ocurre en nuestro país.

**1) ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYE CARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 10Km**

Cuadro 6.9 A.P.U. Eliminación de Material Excedente (Incluye carguío y transporte) para 10 Km - Técnica Convencional

RENDIMIENTO:		169.41	m3/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:		S/. 1.12
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
CONTROLADOR 1	hh	1.0000	0.0472	S/. 11.90	S/. 0.56	
CONTROLADOR 2	hh	1.0000	0.0472	S/. 11.90	S/. 0.56	
					<b>S/. 1.12</b>	

El Rendimiento obedece al cálculo del tiempo que dura un ciclo de transporte para 10 Km. Se detalla en el ANEXO B6. Cabe mencionar, que el CONTROLADOR 1 aplica a 1 Volquete y CONTROLADOR 2 aplica a 1 Retroexcavadora. Además, el precio hora hombre se efectúa según la zona de la región a la que pertenece, para fines de comparación, el caso sería el mismo PRECIO aplicado en el RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO.

Cuadro 6.10 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica Convencional

CONSUMO HORA HOMBRE (HH) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m3	HH/m3	HH TOTAL	PRECIO/m3	COSTO TOTAL
CONTROLADOR 1	532,916.01	0.0472	25154	S/. 0.56	S/. 298,432.97
CONTROLADOR 2	532,916.01	0.0472	25154	S/. 0.56	S/. 298,432.97
			<b>50308</b>		<b>S/. 596,865.93</b>
<b>HH TOTAL</b>	<b>50308</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 596,865.93</b>				

Fuente: Elaboración Propia

## 2) BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m

Cuadro 6.11 A.P.U. Base Granular: Extendido, Riego y Compactación E=0.25 m –  
Técnica Convencional

RENDIMIENTO :	2,090.00	m2/DIA		COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:	S/. 0.27
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
OFICIAL	hh	1.0000	0.0038	S/. 11.90	S/. 0.05
PEÓN	hh	6.0000	0.0230	S/. 9.66	S/. 0.22
					<b>S/. 0.27</b>

Ver ANEXO C6.

Cuadro 6.12 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica Convencional

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m2	HM/m2	HM TOTAL	PRECIO/m2	COSTO TOTAL
MOTONIVELADORA DE 140 HP	1,315,842.00	0.0038	5037	S/. 1.03	S/. 1,357,394.91
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton - 14 Ton	1,315,842.00	0.0038	5037	S/. 0.83	S/. 1,091,557.05
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	1,315,842.00	0.0038	5037	S/. 0.85	S/. 1,122,432.11
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	1,315,842.00	0.0038	5037	S/. 0.60	S/. 782,957.47
			<b>20147</b>		<b>S/. 4,354,341.53</b>
<b>HM TOTAL</b>	<b>20147</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 4,354,341.53</b>				

### 6.5.2.2 Insumos Materiales

De acuerdo al Informe de Reciclado con Asfalto Espumado presentado por el William Mauricio Galvis Castillo, Ingeniero Gerente Vial de la obra, se registró el siguiente consumo de insumos de materiales de primer orden por jornada de trabajo (Ver Cuadro 6.13).

Cuadro 6.13 Consumo de Insumos por Día

<b>Asfalto PEN 85/100</b>	17 000 galones
<b>Cemento Portland</b>	550 bolsas
<b>Agua para espumado</b>	16 000 galones
<b>Agua para compactado</b>	
<b>Combustible Diesel</b>	750 galones

Fuente: Por William Mauricio Galvis Castillo, del Informe “Reciclado con Asfalto Espumado”- Conalvías S.A Sucursal Perú

Cabe mencionar que los 750 galones de combustible diésel incluyen todos los equipos, tanto el tren de reciclado como el tren de compactado; el cual consistió en el siguiente detalle. La recicladora usaba 250 galones de combustible, la motoniveladora usó casi 80 galones diarios, cada uno de los rodillos usó 50 galones diarios, el rodillo neumático usó 60 galones por día, el punto de calentamiento usó más de 200 galones diarios, las cisternas de transporte de asfalto a la obra usaron alrededor de 80 galones diarios, en total eran aproximadamente 750 galones diarios de combustible.

No obstante, a partir del registro anterior de insumos, se elabora el Cuadro 6.14, para ello se recomienda Ver ANEXO D6: Cálculo de Cantidades. El Cuadro 6.15 muestra el consumo de insumos para la Técnica Convencional.

- **Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado**

Cuadro 6.14 Consumo de Insumos y Costo Total Materiales – Técnica RPAE

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	PU	COSTO
LIGANTE	glns	3,389,290.00	S/. 8.75	S/. 29,656,287.50
BASE GRANULAR	m3	13,927.22	S/. 25.76	S/. 358,765.21
CEMENTO	bls	109,653.50	S/. 20.00	S/. 2,193,070.00
AGUA	m3	19,273.80	S/. 0.18	S/. 3,469.28
COMBUSTIBLE	glns	229,773.18	S/. 8.18	S/. 1,879,544.62

Fuente: Elaboración Propia

- **Técnica Convencional**

Cuadro 6.15 Consumo de Insumos y Costo Total Materiales –Técnica Convencional

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	PU	COSTO
LIGANTE	glns	0.00	S/. 8.75	S/. 0.00
BASE GRANULAR	m3	444,096.68	S/. 25.76	S/. 11,439,930.35
CEMENTO	bls	0.00	S/. 20.00	S/. 0.00
AGUA	m3	42,830.66	S/. 0.18	S/. 7,709.52
COMBUSTIBLE	glns	595,013.06	S/. 8.18	S/. 4,867,206.86

Fuente: Elaboración Propia

El CAP PEN 85/100 y el Cemento Portland son insumos de mayor incidencia para el RPAE. Pese a ello, el consumo de agua, material granular y combustible al aplicar la Técnica Convencional es mucho mayor que el RPAE, por lo tanto, el RPAE consigue disminuir la utilización de menos cantidad de recursos que una Técnica Convencional.

### **6.5.2.3 Insumos Maquinaria**

#### **- Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado**

La determinación del costo de consumo de insumos, para el caso Insumo Maquinaria, de la partida BASE RECICLADA (RAP) E=150mm, resulta justificado a partir del Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.) (Ver ANEXO E6), cuyo Cuadro 6.16 se basa en la documentación proporcionada por William Mauricio Galvis Castillo, quien fue parte del proyecto de mantenimiento por niveles de servicio de la carretera en estudio como Gerente Vial.

1) **BASE RECICLADA (RAP) E=150 mm**

Cuadro 6.16 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E=150 mm

RENDIMIENTO :	6,600.00	m2/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:		S/. 3.14
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	hm	2.0000	0.0024	S/. 155.45	S/. 0.37
CAMION CISTERNA (ASFALTO) 8000 glns	hm	2.0000	0.0024	S/. 155.45	S/. 0.37
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton y 14 Ton	hm	2.0000	0.0024	S/. 216.72	S/. 0.52
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	hm	1.0000	0.0012	S/. 222.85	S/. 0.27
MAQUINA RECICLADORA WIRTGEN 2500 S	hm	1.0000	0.0012	S/. 513.10	S/. 0.62
BARREDORA MECÁNICA 10-20 HP	hm	2.0000	0.0024	S/. 82.58	S/. 0.20
MOTONIVELADORA DE 140 HP	hm	2.0000	0.0024	S/. 269.50	S/. 0.65
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO PEN	hm	1.0000	0.0012	S/. 43.74	S/. 0.05
CAMIÓN PARA CEMENTO 12 Ton	hm	1.0000	0.0012	S/. 71.65	S/. 0.09
					<b>S/. 3.14</b>

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 6.17 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica RPAE

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m2	HM/m2	HM TOTAL	PRECIO/m2	COSTO TOTAL
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	1,268,949.00	0.0024	3045	S/. 0.37	S/. 469,511.13
CAMION CISTERNA (ASFALTO) 8000 glns	1,268,949.00	0.0024	3045	S/. 0.37	S/. 469,511.13
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton y 14 Ton	1,268,949.00	0.0024	3045	S/. 0.52	S/. 659,853.48
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	1,268,949.00	0.0012	1523	S/. 0.27	S/. 342,616.23
MAQUINA RECICLADORA WIRTGEN 2500 S	1,268,949.00	0.0012	1523	S/. 0.62	S/. 786,748.38
BARREDORA MACÁNICA 10-20 HP	1,268,949.00	0.0024	3045	S/. 0.20	S/. 253,789.80
MOTONIVELADORA DE 140 HP	1,268,949.00	0.0024	3045	S/. 0.65	S/. 824,816.85
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO PEN	1,268,949.00	0.0012	1523	S/. 0.05	S/. 63,447.45
CAMIÓN PARA CEMENTO 12 Ton	1,268,949.00	0.0012	1523	S/. 0.09	S/. 114,205.41
			<b>21318</b>		<b>S/. 3,984,499.86</b>
<b>HM TOTAL</b>		<b>21318</b>			
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>S/. 3,984,499.86</b>			

Fuente: Elaboración Propia

## 2) BASE RECICLADA (RAP) Eprom=220 mm (REPARACIONES EN ZONAS CRÍTICAS)

Se presenta el caso cuando surge la necesidad de reparar algunas zonas críticas por déficit estructural, por tal, se debe realizar un encimado de material granular como una alternativa de solución para la Técnica del Reciclado. El siguiente Cuadro 6.18 muestra el A.P.U. para la partida BASE RECICLADA (RAP) Eprom=220 mm (REPARACIONES EN ZONAS CRÍTICAS).

Cuadro 6.18 A.P.U. Base Reciclada (RAP) Eprom=220 mm (Reparaciones en Zonas Críticas)

RENDIMIENTO :	6,600.00	m2/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:			S/. 3.14
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	hm	2.0000	0.0024	S/. 155.45	S/. 0.37	
CAMION CISTERNA (ASFALTO) 8000 glns	hm	2.0000	0.0024	S/. 155.45	S/. 0.37	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton y 14 Ton	hm	2.0000	0.0024	S/. 216.72	S/. 0.52	
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	hm	1.0000	0.0012	S/. 222.85	S/. 0.27	
MAQUINA RECICLADORA WIRTGEN 2500 S	hm	1.0000	0.0012	S/. 513.10	S/. 0.62	
BARREDORA MECÁNICA 10-20 HP	hm	2.0000	0.0024	S/. 82.58	S/. 0.20	
MOTONIVELADORA DE 140 HP	hm	2.0000	0.0024	S/. 269.50	S/. 0.65	
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO PEN	hm	1.0000	0.0012	S/. 43.74	S/. 0.05	
CAMIÓN PARA CEMENTO 12 Ton	hm	1.0000	0.0012	S/. 71.65	S/. 0.09	
					<b>S/. 3.14</b>	

Fuente: Elaboración Propia

## 2.1) TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR A OBRA PARA 31 Km

Para el encimado se debe incluir la partida de Transporte de Material traído desde Cantera, tal como muestra el siguiente Cuadro 6.19. Cabe mencionar que el Rendimiento fue calculado mediante el ciclo de tiempo de transporte para un volquete de 15 m<sup>3</sup> (Ver ANEXO F6).

Cuadro 6.19 A.P.U. Transporte de Material Granular a obra para 31 Km – Técnica RPAE

RENDIMIENTO :	63.51	m3/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m3:			<b>S/. 25.62</b>
<b>RECURSO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUADRILLA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PARCIAL</b>	
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	hm	1.000	0.1260	S/. 203.36	S/. 25.62	
					<b>S/. 25.62</b>	

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 6.20 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria - Técnica RPAE

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m2	HM/m2	HM TOTAL	PRECIO/m2	COSTO TOTAL
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	46,893.00	0.0024	113	S/. 0.37	S/. 17,350.41
CAMION CISTERNA (ASFALTO) 8000 glns	46,893.00	0.0024	113	S/. 0.37	S/. 17,350.41
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton y 14 Ton	46,893.00	0.0024	113	S/. 0.52	S/. 24,384.36
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	46,893.00	0.0012	56	S/. 0.27	S/. 12,661.11
MAQUINA RECICLADORA WIRTGEN 2500 S	46,893.00	0.0012	56	S/. 0.62	S/. 29,073.66
BARREDORA MACÁNICA 10-20 HP	46,893.00	0.0024	113	S/. 0.20	S/. 9,378.60
MOTONIVELADORA DE 140 HP	46,893.00	0.0024	113	S/. 0.65	S/. 30,480.45
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO PEN	46,893.00	0.0012	56	S/. 0.05	S/. 2,344.65
	<b>METRADO m3</b>	<b>HM/m3</b>	<b>HM TOTAL</b>	<b>PRECIO/m3</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
VOLQUETE 15 m3 - 330 HP	13,927.22	0.1260	1755	S/. 25.62	S/. 356,815.40
			<b>2486</b>		<b>S/. 499,839.05</b>
<b>HM TOTAL</b>		<b>2486</b>			
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>S/. 499,839.05</b>			

Fuente: Elaboración Propia

- **Técnica Convencional**

La determinación del costo de consumo de insumos, para el caso Insumo Maquinaria, comprende la denominación de tres partidas dentro del rubro de PAVIMENTOS de lo que normalmente refiere a la aplicación de una Técnica Convencional, esto son: 1) ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYECARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 10 Km, 2) TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR A OBRA PARA 31 Km y 3) BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m. Esto resulta justificado a partir del Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.), cuyo Cuadro 6.21 se basa en la literatura del Libro

"Costos y Tiempo en Carreteras" por el Walter Ibañez. El uso del mencionado libro sirve como referencia bibliográfica de lo que establece la Técnica Convencional como ocurre en nuestro país.

### 1) ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYE CARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 10 Km

Cuadro 6.21 A.P.U. Eliminación de Material Excedente (Incluye carguío y transporte) para 10 Km –Técnica Convencional

RENDIMIENTO :		169.41	m3/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m3:		S/. 20.15
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
RETROEXCAVADRA SOBRE ORUGAS CAT 320	hm	1.000	0.0472	S/. 223.48	S/. 10.55	
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	hm	1.000	0.0472	S/. 203.36	S/. 9.60	
					<b>S/. 20.15</b>	

Fuente: Elaboración Propia

El Rendimiento obedece al cálculo del tiempo que dura un ciclo de transporte para 10 Km. Se detalla en el ANEXO B6. Además, el precio hora máquina se efectúa según la zona de la región a la que pertenece, para fines de comparación, el caso sería el mismo al aplicado con Asfalto Espumado.

Cuadro 6.22 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica Convencional

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m <sup>3</sup>	HM/m <sup>3</sup>	HM TOTAL	PRECIO/m <sup>3</sup>	COSTO TOTAL
RETROEXCAVADRA SOBRE ORUGAS CAT 320	532,916.01	0.0472	25153.64	S/. 10.55	S/. 5,621,334.50
VOLQUETE 6X4 DE 15 m <sup>3</sup>	532,916.01	0.0472	25153.64	S/. 9.60	S/. 5,115,243.35
			<b>50307.28</b>		<b>S/. 10,736,577.85</b>

<b>HM TOTAL</b>	<b>50307</b>
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 10,736,577.85</b>

Fuente: Elaboración Propia

## 2) TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR A OBRA PARA 31 Km

Cuadro 6.23 A.P.U. Transporte de Material Granular a obra para 31 km– Técnica Convencional

RENDIMIENTO :	63.51	m3/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m3:			<b>S/. 25.62</b>
<b>RECURSO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUADRILLA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PARCIAL</b>	
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	hm	1.000	0.1260	S/. 203.36	S/. 25.62	
					<b>S/. 25.62</b>	

Fuente: Elaboración Propia

El Rendimiento obedece al cálculo del tiempo que dura un ciclo de transporte para 31 Km. Se detalla en el ANEXO F6.

Cuadro 6.24 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria - Técnica Convencional

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m3	HM/m3	HM TOTAL	PRECIO/m3	COSTO TOTAL
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	444,096.68	0.1260	55956	S/. 25.62	S/. 11,379,248.98
			<b>55956</b>		<b>S/. 11,379,248.98</b>
<b>HM TOTAL</b>	<b>55956</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 11,379,248.98</b>				

Fuente: Elaboración Propia

### 3) BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m

El Cuadro 6.25 muestra el Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.) de la partida Base Granular: Extendido, Riego y Compactado E=0.25 m, en el cual, a través del libro “Costos y Tiempo en Carreteras” cuyo autor es Walter Ibañez, se utiliza el valor de Rendimiento de 2,090 m<sup>2</sup>/día en efecto al uso de una Motoniveladora de 140 HP para las condiciones y restricciones de topografía, geografía y características de maquinaria según la ubicación de la obra La Oroya - Chicrín - Huánuco - Tingo María – Dv Tocache.

Cuadro 6.25 A.P.U. Base Granular: Extendido, Riego y Compactación E=0.25 m

RENDIMIENTO :	2,090.00	m2/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:			<b>S/. 3.31</b>
<b>RECURSO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUADRILLA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PARCIAL</b>	
MOTONIVELADORA DE 140 HP	hm	1.000	0.0038	S/. 269.50	S/. 1.03	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton - 14 Ton	hm	1.000	0.0038	S/. 216.72	S/. 0.83	
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	hm	1.000	0.0038	S/. 222.85	S/. 0.85	
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	hm	1.000	0.0038	S/. 155.45	S/. 0.60	
					<b>S/. 3.31</b>	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6.26 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica Convencional

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m2	HM/m2	HM TOTAL	PRECIO/m2	COSTO TOTAL
MOTONIVELADORA DE 140 HP	1,315,842.00	0.0038	5037	S/. 1.03	S/. 1,357,394.91
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton - 14 Ton	1,315,842.00	0.0038	5037	S/. 0.83	S/. 1,091,557.05
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	1,315,842.00	0.0038	5037	S/. 0.85	S/. 1,122,432.11
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	1,315,842.00	0.0038	5037	S/. 0.60	S/. 782,957.47
			<b>20147</b>		<b>S/. 4,354,341.53</b>
<b>HM TOTAL</b>	<b>20147</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 4,354,341.53</b>				

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se presenta el resumen en el Cuadro 6.27 que muestra la diferencia económica en cuanto al consumo de insumos al aplicar la Técnica del RPAE con respecto a la Técnica Convencional, consiguiendo un ahorro total de S/. 5, 043, 257.06, es decir, un ahorro del 12% respecto al costo total de los insumos utilizados con la Técnica Convencional.

Cuadro 6.27 Resumen de Costo Total de Insumos

DESCRIPCIÓN	RPAE	TÉCNICA COVENCIONAL	
INSUMOS PERSONAL	S/. 157,901.04	S/. 952,143.27	
INSUMOS MATERIALES	S/. 34,091,136.61	S/. 16,314,846.72	
INSUMOS MAQUINARIA	S/. 4,484,338.91	S/. 26,470,168.36	
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 38,733,376.56</b>	<b>S/. 43,737,158.36</b>	<b>S/. 5,003,781.80</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 6.5.3 Ahorro en Gastos Generales en función al tiempo de ejecución

En efecto al proceso constructivo de alto rendimiento, el tiempo efectivo de ejecución de la obra se reduce de manera considerable respecto a una Construcción Tradicional, en tanto, existe ahorro en gastos generales de la misma manera (Ver Cuadros 6.28; 6.29 y 6.30).

Cuadro 6.28 Detalle de Gastos Generales

<b><u>DETALLE DE GASTOS GENERALES REALES</u></b>
Carretera la Oroya - Chicrin - Huanuco - Tingo Maria - Dv. Tocache
Tiempo: 8 meses
<b>PERSONAL</b>
<b>A.- SUELDOS Y SALARIOS (incluye leyes sociales)</b>
<i>a) Personal profesional</i>
<i>b) Personal Tecnico</i>
<i>c) Personal auxiliar y de servicios</i>
<b>B.- ALQUILERES Y SERVICIOS</b>
<i>a) Alquileres de Oficinas en Obra</i>
<i>b) Equipos de topografía, suelos y pavimentos</i>
<i>c) Alquiler de vehiculos y otros equipos (incluido operador, gasolina y seguros)</i>
<i>d) Otros alquileres y servicios</i>
<i>e) Bonificacion</i>
<b>C.- MOVILIZACION Y APOYO LOGISTICO</b>
<i>a) Pasajes</i>
<i>b) Alimentacion del personal</i>
<i>c) Transporte de materiales</i>
<b>D.- MATERIALES Y UTILES DE OFICINA</b>
<b>E.- GASTOS FINANCIEROS</b>
<i>a) Pólizas y seguros</i>
<i>b) Costos Corporativos</i>

Fuente: Informe de Reciclado con Asfalto Espumado de la Carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache. Por William Mauricio Galvis Castillo.

Cuadro 6.29 Comparativo Tiempo Efectivo de Trabajo

<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>Técnica Tradicional</b>	<b>Reciclado con Asfalto Espumado</b>
Número de meses empleados para el Mantenimiento de 199.37 Km	16	8

Fuente: Elaboración Propia

Se empleó 8.5 meses para el mantenimiento de 199.37 Km de carretera aplicando el Reciclado con Asfalto Espumado, considerando, en consecuencia un avance diario promedio de 1000 ml. El Cuadro 6.30 muestra la disminución en Gastos Generales en función al tiempo empleado al aplicar el RPAE.

Ver ANEXO G6: Monto Total en Gastos Generales por William Mauricio Galvis Castillo – Conalvías S.A. Sucursal Perú

Cuadro 6.30 Gastos Generales en función al tiempo efectivo de ejecución

	<b>Reciclado con Asfalto Espumado</b>
Costo mensual de Gastos Generales	S/. 500,126.50
Tiempo ahorrado (meses)	8
Menor costo en Gastos Generales en función al tiempo de ejecución	S/. 4,001,012.00

Fuente: Elaboración Propia

Se obtiene 8 meses menos de trabajo efectivo aplicando el Reciclado con Asfalto Espumado que una Técnica Tradicional, este último a nivel o por concepto de base granular sin estimar la carpeta de rodado. En tal sentido, se alcanza aproximadamente 4 millones de soles menos.

#### 6.5.4 Ahorro de energía promedio en más del 80%

El ahorro energético es una preocupación dominante en los últimos años. Respecto a lo mencionado, se recomienda Ver Sub Capítulo 2.9.3.2 Ahorro Energético.

Como se pudo apreciar, se trata de valores muy importantes, a los que habría que añadir un mayor consumo energético en el transporte, mayores distancias, manipulación, compactación, etc., es decir, está relacionado directamente con el consumo de horas de maquinaria haciendo mención al transporte (Ver Cuadro 6.31).

Cuadro 6.31 Horas Máquina Total tanto para el RPAE y la Técnica Convencional

DESCRIPCIÓN	RPAE	TÉCNICA CONVENCIONAL
HORAS MÁQUINA	23,804.70	126,410.32

Fuente: Elaboración Propia

Se precisa que el RPAE consume el 20% de horas máquina respecto a la Técnica Convencional, alcanzando un ahorro del 80% en horas máquinas empleadas.

Otro aspecto que deriva del transporte en cuanto al ahorro de energía, es el consumo de combustible, por ello, se ha obtenido el consumo de combustible tanto para la Técnica del RPAE como para la Técnica Convencional (Ver Cuadro 6.32).

Cuadro 6.32 Consumo de Combustible tanto para el RPAE como para la Técnica Convencional

DESCRIPCIÓN	RPAE	TÉCNICA CONVENCIONAL
CONSUMO DE COMBUSTIBLE (gln)	229,773.18	595,013.06

Fuente: Elaboración Propia

Se precisa que la Técnica del RPAE consume el 40% de combustible que generaría el consumo del empleo de la Técnica Convencional, es decir, 60% de ahorro.

Por lo tanto, el procedimiento del RPAE es también económico desde el punto de vista energético.

## 6.6 Determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI- Pavement Condition Index) actual

La determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI- Pavement Condition Index) de la carretera en evaluación ha sido efectuada mediante la utilización del Manual “PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS” como instrumento de investigación, cuyo autor es Luis Ricardo Vásquez Varela de la Universidad Nacional de Colombia, publicado en el año 2002.

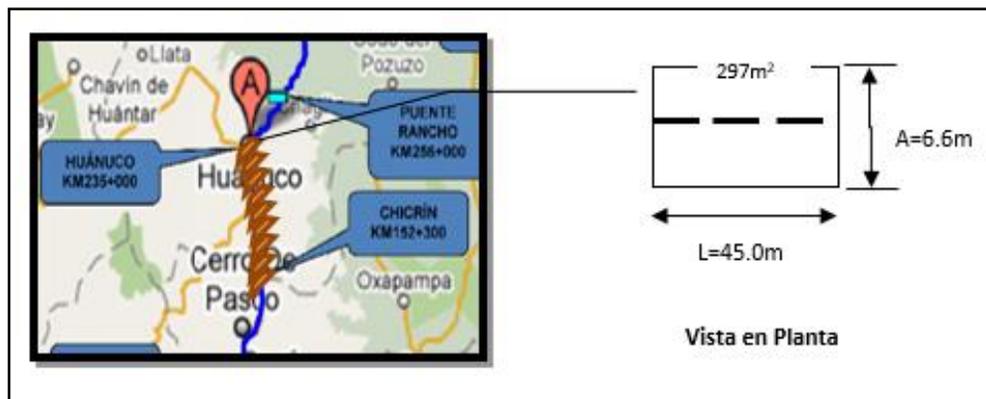
Se ha establecido la evaluación visual de la carretera desde el Km 230+000 hasta el Km 228+000, encontrándose la progresiva inicial en la ciudad de Huánuco, yendo en retroceso en dirección a Chicrín. Se realizó la inspección caminando y con ayuda de herramientas que en esta misma explicación se detalla. Además, con apoyo de un automóvil y una cámara de video se hizo la auscultación completa.

### 6.6.1 Procedimiento de evaluación de la Condición del Pavimento

#### 6.6.1.1 Unidades de Muestreo

El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de  $230.0 \pm 93.0$  m<sup>2</sup>. En la Figura 6.7 se presenta la Unidad de Muestra que se empleó en la evaluación de la carretera.

Figura 6.7 Vista en Planta del área de la Unidad de Muestra



Fuente: Elaboración Propia

### **6.6.1.2 Determinación del número mínimo de unidades de muestreo para evaluación**

El número mínimo de unidades de muestreo que deben seleccionarse se obtienen mediante la Ecuación 3.1, la cual se define en el Capítulo 3.

Se asume una desviación estándar ( $\sigma$ ) del PCI de 10 .

Se ha calculado  $n=11$ , en el cual  $N=44$  muestras; sin embargo se ha desarrollado 15 unidades de muestreo como cantidad mínima de inspección.

### **6.6.2 Selección de las unidades de muestreo para inspección**

El intervalo de muestreo ( $i$ ) se expresa mediante la Ecuación 3.2 Intervalo de muestreo.

Se ha calculado un intervalo de muestreo igual a 2, siendo  $n=15$  y  $N=44$ .

### **6.6.3 Cálculo del PCI de las unidades de muestreo seleccionadas**

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser utilizando el Microsoft Excel-2007 o la forma computarizada (Software UNAL PCIA).

Se realizó el presente cálculo utilizando los dos formas con la finalidad de acrecentar la confianza de los resultados.

Se muestran en los ANEXOS H6 e I6 los formatos de cálculo realizados en Microsoft Excel-2007 y en Software UNA PCIA, respectivamente.

### **6.6.4 Información de daños encontrados**

Las fallas o daños del pavimento es uno de los factores que influyen de gran manera, tanto en la vida útil como en el servicio que prestan al público.

Los daños encontrados se resumen a continuación en el siguiente Cuadro 6.33

Cuadro 6.33 Daños encontrados en el pavimento

Código	Descripción	Und.	Metrados		
			Leve	Medio	Alto
1	PIEL DE COCODRILO	m2	110.16	570.93	0.00
3	FISURA EN BLOQUE	m2	70.31	98.70	0.00
7	GRIETA DE BORDE	m	0.00	31.50	2.05
8	FLEXION DE JUNTA	m	0.00	6.00	0.00
10	FISURA LONGITUD. Y TRANSV.	m	0.00	3.00	2.00
11	PARCHES	m2	15.96	10.99	0.00
13	HUECOS	und	202.00	4.00	20.00
15	AHUELLAMIENTO	m2	5.13	0.00	0.00
17	GRIETA PARABOLICA	m2	0.00	9.00	0.00
19	DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	m2	19.20	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

El Panel Fotográfico de daños encontrados se muestra en el ANEXO J6.

### 6.6.5 Clasificación de la Condición del Pavimento

La carretera alcanzó, mediante el cálculo con Microsoft Excel versión 2007 el valor de PCI igual a 32, la cual se clasifica en condición MALA (Ver Cuadro 6.34).

Para el cálculo con el software UNAL PCIA, el valor del PCI es 36, de igual manera, califica como una superficie en condición MALA (Ver Cuadro 6.35).

Esto determina que es un indicador de la mala condición operacional de la superficie y de la integridad estructural del pavimento.

Cuadro 6.34 Valores del PCI por el método manual

<b>Unidades de Muestreo</b>	<b>Valor del PCI</b>	<b>Clasificación</b>
PCI_1	60	Bueno
PCI_2	55	Regular
PCI_3	34	Malo
PCI_4	10	Muy Malo
PCI_5	73	Muy Bueno
PCI_6	23	Muy Malo
PCI_7	32	Malo
PCI_8	11	Muy Malo
PCI_9	26	Malo
PCI_10	65	Bueno
PCI_11	6	Fallado
PCI_12	27	Bueno
PCI_13	14	Muy Malo
PCI_14	15	Muy Malo
PCI_15	28	Malo
<b>PCI_Prom.</b>	<b>32</b>	<b>MALO</b>

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 6.35 Valores del PCI por el método computarizado

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX				
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela				
Pavimentos asfálticos				
=====				
Archivo				
=====				
Nº de Unidades de Muestra	PCI	Piel de cocodrilo (m <sup>2</sup> )	Parcheo (m <sup>2</sup> )	Huecos (un)
=====				
1	56	0	0	15
2	54	0	0.31	13
3	37	0	14.46	31
4	14	3.2	0.6	36
5	76	0	4.5	1
6	23	102.6	0.42	7
7	32	135	0.6	0
8	11	116.64	2.55	22
9	26	54.9	0	16
10	57	5.5	0	1
11	5	76.95	0	15
12	27	43.2	0	5
13	15	0	0	31
14	12	43.2	0	23
15	27	99.9	3.51	10
<b>PROMEDIO</b>	<b>36</b>			

Fuente: Formato de Procesamiento Automático de Datos para el Cálculo del PCI – UNAL PCIA

Se establece que la superficie del pavimento actualmente alcanza un valor menor al 55 de PCI, lo cual indica un comportamiento funcional MALO.

# CAPITULO VII: ESTUDIO DE LA CARRETERA CONOCOCHA – YANACANCHA

## 7.1 Marco Situacional

La carretera Conococha-Yanacancha pertenece a la Red Vial Nacional (Ruta 3N), es un acceso de 120 Km que va desde la laguna de Conococha hasta el Campamento Minero Yanacancha de la Compañía Minera Antamina (CMA), desde su construcción alrededor de los años 1999 – 2000 CMA se comprometió a hacerse responsable de su mantenimiento (según convenio con el MTC), el cual comprende los trabajos necesarios para conservar la carretera de acceso, lo más cercano posible a su condición de recién construída, bajo condiciones de tráfico y fuerzas naturales; utilizando la tecnología del Reciclado de Pavimento con Asfalto espumado + Cemento Portland, convirtiéndose de esta forma, en la primera experiencia en su género a nivel nacional, así como la pionera a más de 4000 m.s.n.m. en el mundo.

CMA como parte de su plan de mantenimiento y obras de conservación vial lanzó la convocatoria al proceso de licitación N° PR-007032, para la elaboración del estudio definitivo para el mantenimiento periódico de la carretera Conococha-Yanacancha cuyo presupuesto asciende a la suma de S/.62 951 527,46, el precio incluye, el reciclado de pavimento con asfalto espumado y un tratamiento superficial bicapa.

Como parte del estudio se realizó una evaluación superficial de la carretera usando la metodología PCI (Pavement Condition Index), la cual parte de un relevamiento de fallas siguiendo las consideraciones que estipula el Manual de Identificación de Fallas para el Proyecto de Comportamiento de Pavimentos a Largo Plazo (LTPP). El PCI encontrado en la carretera fue de 46.05, lo cual indica que el estado va de regular a malo.

La evaluación de la condición estructural obtenida con FWD dio una deflexión máxima promedio superior a 50 (0.01 mm), asimismo se determinaron los módulos elásticos de la sub-rasante, obteniendo un promedio de 22.440 psi. Ambas medidas muestran las

degradaciones sufridas por la estructura como consecuencia de la fatiga que ha soportado por efectos del intenso tráfico.

La evaluación de la condición funcional mostró un valor de IRI (Índice de Rugosidad Internacional) promedio de 3.87 Km/m, el cual denota una superficie abierta, debido principalmente a las peladuras encontradas en la vía, por su parte la evaluación funcional que refiere al confort que percibe el usuario arrojó un Índice de Serviciabilidad (PSI) de 2.51.

Finalmente, luego de que se analizara el estado de la carretera se concluyó que se encontraba en regular estado de conservación y que era necesaria una intervención periódica, para así evitar que el deterioro se expanda de manera exponencial y en consecuencia, se pierda la inversión inicial.

La carretera en el año 2013 tiene un EAL según cargas actuantes de 5.13E+05 en su 1er Tramo Conococha-Dv. Huallanca y en su 2do tramo un EAL de 3.20E+05 Dv. Huallanca-Antamina. Ver ANEXO I7.

## **7.2 Descripción Geográfica**

### **7.2.1 Ubicación**

La carretera Conococha-Yanacancha se encuentra en el departamento de Ancash, provincias de Bolognesi y Huari. Esta vía tiene como punto de inicio (Km 0+000) el poblado ubicado en el Abra de Conococha, donde se ubica la laguna del mismo nombre (empalme con el Km 122+200 de la carretera Pativilca-Huaraz), provincia de Bolognesi; y finaliza (Km 120+000) en el campamento minero Yanacancha, en la provincia de Huari.

Figura 7.1 Mapa de Ubicación



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha - Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

## 7.2.2 Coordenadas y Altitud

Geográficamente el inicio de la vía se ubica en las coordenadas UTM WGS-84 248,917.235 Este y 8'880,575.410 Norte, y el final de la carretera tiene coordenadas 276,771.950 Este y 8'942,158.147 Norte.

Las altitudes que comprende el tramo de la carretera vienen desde los 4100 hasta 4700 m.s.n.m.

### **7.2.3 Condiciones Climáticas**

El clima es característico de la sierra, brillo solar todo el año, pero predominantemente frío y seco, con temperaturas que oscilan entre  $-8^{\circ}\text{C}$  y  $26^{\circ}\text{C}$  y presencias de copiosas lluvias, tormentas eléctricas e intensas granizadas entre los meses de Octubre y Mayo.

## **7.3 Ventajas Técnicas de la aplicación del RPAE en etapa post intervención**

Para poder entender mejor las ventajas técnicas de esta tecnología debemos decir que consiste en reutilizar los recursos que se encuentran en la vía (carpeta de rodadura, material granular) para restituir sus valores estructurales y funcionales.

### **7.3.1 Proceso Constructivo de muy Alto Rendimiento**

#### **7.3.1.1 Avance promedio diario en una jornada normal de trabajo**

El avance diario depende directamente de la logística empleada para optimizar el uso de los recursos con la maquinaria y personal necesario. Los valores especificados para el diseño de mezcla obtenidos en el laboratorio, son logrados con el uso de la Recicladora Wirtgen 2500-S. Figura 7.2, la cual simultáneamente al proceso de espumado del asfalto en su cámara de expansión, pulveriza y mezcla el pavimento existente (espesor promedio = 13.76 cm) con el asfalto espumado y el cemento portland tipo I previamente colocado en el pavimento según especificaciones de diseño, los cuales fueron 2.5% y 1% del peso de la masa del suelo respectivamente, logrando así una mezcla homogénea y trabajable.

Figura 7.2 Recicladora de Pavimento Wirtgen 2500-S



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Para que la proporción de cemento sea la misma que se indicó en el diseño, se hicieron los cálculos adecuados en los cuales ponderó los pesos unitarios de acuerdo al espesor de cada material a reciclar; tomando en consideración las dimensiones de la vía, se obtuvo el peso volumétrico para un kilómetro y en base a ello se designó un área aproximada de 15.00 m<sup>2</sup> por cada 42.5 kg de cemento, es decir 1 bolsa de cemento cada 6.00 m en cada faja. Ver Figura 7.3, Figura 7.4 y Figura 7.5.

Figura 7.3 Proceso de colocacion de cemento 1



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Figura 7.4 Proceso de colocacion de cemento 2



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

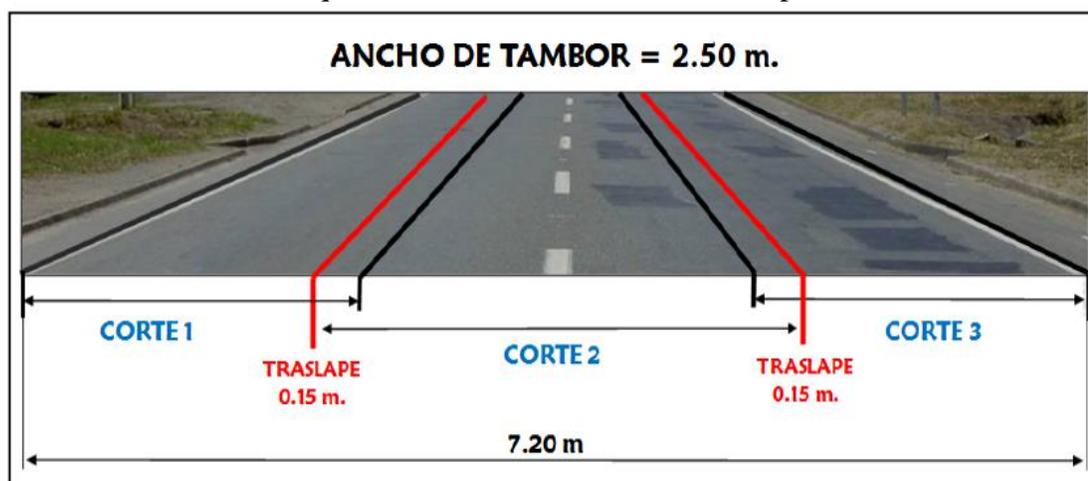
Figura 7.5 Esparcido de Cemento



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

En el Esquema 7.1 se muestra el trabajo tomando en cuenta el ancho de la vía y el ancho del tambor fresador de la recicladora. Considerando el ancho de la vía de 7.20m y que el ancho del tambor de la recicladora era de 2.5m, se decidió que el reciclado se haría en las tres fajas con traslapes de 0.15m a 0.20m en zonas tangentes; y de 0.35m a 0.50m en las zonas de curva, donde por el sobre-ancho inherente a las mismas, fueron necesarias cuatro e incluso hasta cinco pasadas (curvas de volteo).

Esquema 7.1 Delimitación de los traslapes



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

A continuación del procedimiento mencionado líneas arriba, se procede a ejecutar el reciclado del pavimento, actuando el Tren de Reciclado (TR), el cual se puede apreciar en la Figura 7.6

Figura 7.6 Tren de Reciclado



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

El TR para el caso de la carretera Conococha-Yanacancha estuvo compuesto por:

- Cisterna de Agua 5000 glns
- Cisterna de Asfalto entre 160°C y 180°C, 8000 glns
- Recicladora Wirtgen 2500-S

El TR tal y como se menciona al inicio del capítulo mediante el proceso de pulverización y mezclado del RPAE, se realizó una mezcla la cual es una base estabilizada aprovechando los recursos que brinda el pavimento antiguo, y así no tener que comprar ni transportar material granular nuevo. Inmediatamente después del TR

viene la compactación primaria que consta de un rodillo liso, seguido de un rodillo neumático, ya que la exigencia mínima de densidad era de 98%, esta compactación primaria ayudó a alcanzar el valor requerido.

Seguido de la compactación primaria, ingresa el Tren de Perfilado y Compactado (TPC); Ver figuras, 7.7; 7.8; 7.9; 7.10; que se encarga de perfilar y compactar la mezcla de RPAE, dándole así la densidad adecuada y humedad óptima para que su desempeño estructural sea el esperado.

Figura 7.7 Tren de Perfilado y Compactado



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Figura 7.8 Tren de Perfilado y Compactado



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Figura 7.9 Tren de Perfilado y Compactado



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Figura 7.10 Tren de Perfilado y Compactado



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha”  
por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

El Tren de Perfilado y Compactado (TPC) de la carretera Conococha-Yanacancha estuvo compuesto por:

- Cisterna de Agua 5000 gln
- Motoniveladora 125 HP
- Rodillo Liso 15 Ton
- Rodillo Liso 10 Ton
- Rodillo Neumático 15 Ton

El avance promedio diario haciendo uso de esta tecnología fue de 20 km por mes, lo que daría un estimado de 800 m por día.

### **7.3.2 Tiempo de apertura al tráfico**

Guillermo Thenoux Z, en “Tecnología del Asfalto Espumado y Diseño de Mezcla” (2002), indica que una de las ventajas del RPAE es que el tiempo de apertura al tráfico es menor a comparación de otras tecnologías.

En la documentación recopilada para el desarrollo de esta tesis, no se encontró ningún registro de control de tiempo de apertura al tráfico, sin embargo logramos contactarnos con el Ing. Martín Fernández Machado-Gerencia de Producción-Mota Engil Perú, quien trabajó en el mantenimiento de la carretera, y después de intercambiar algunos correos resumió que el material, al ser un reciclado “in situ”, es un proceso muy rápido donde el equipo reciclador, casi de manera simultánea, corta el pavimento antiguo, incorpora los agentes elegidos según diseño de mezcla y vuelve a dejarlo tendido para su conformación y compactación; además, por contener cemento, los tiempos de trabajabilidad son limitados antes de la fragua (máximo 2 horas después de estabilizado). Entonces, el reciclado puede y debe ser ejecutado de manera eficiente y sincronizada para conseguir óptimos resultados (en costo/tiempo y calidad), por lo que se convierte en un proceso sumamente ágil. La vía estuvo abierta todo el tiempo que duró la ejecución del mantenimiento, ya que al ser una vía de 7.20 m en promedio de ancho, había suficiente espacio para que trabaje los trenes (tren de reciclado y tren de perfilado y compactado) y pasen los vehículos simultáneamente. Un aspecto adicional es que la mezcla estuvo a temperatura ambiente lo cual permitió que después de su compactación la apertura al tráfico sea inmediata.

### **7.3.3 Características Estructurales**

#### **7.3.3.1 Deflectometría**

El control de calidad de la condición estructural del pavimento se hizo aplicando el método de la Deflectometría Estática con el equipo conocido como Viga Benkelman + Camión de 8.20 Ton (Figura 7.11), de acuerdo a la Norma MTC E 1002 – 2000; y conforme a lo indicado en las especificaciones técnicas.

Se hizo mediciones cada 50 ml, en cada carril de la vía; es decir, cada 25 m alternando los lados (zigzag), obteniendo resultados muy satisfactorios. Ver Cuadro 7.1.

Figura 7.11 Medición con Viga Benkelman



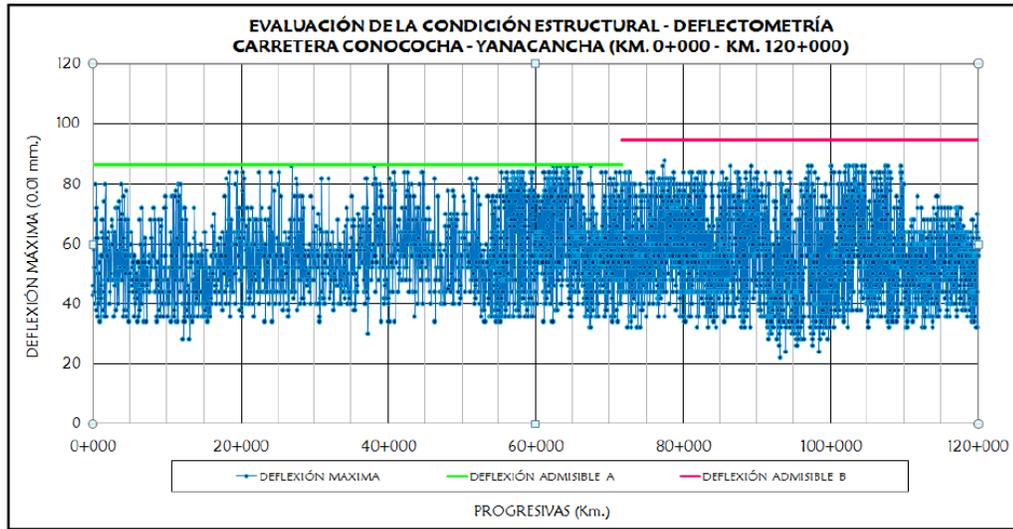
Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Cuadro 7.1 Resultados de Deflectometría

Deflexión Maxima (0.01 mm.)	SECTOR A	SECTOR B
Promedio	56.8	56.4
Valor máximo	86.0	88.0
Valor mínimo	28.0	22.0
Deflexion admisible	81.9	94.5

Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Gráfico 7. 1 Deflectometría



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

### 7.3.3.2 Tracción Indirecta (ITS-ITR)

En el control de resistencias del reciclado con Asfalto Espumado, se tomaron muestras del material al paso de la recicladora, con las cuales se moldearon 6 probetas Marshall ( $\varnothing=4''$  a 75 golpes/cara) por cada kilómetro de vía reciclada. Estas 6 probetas permanecieron en sus moldes a temperatura ambiente por 24 horas para posteriormente desmoldarlas y ser curadas en horno a  $40^{\circ}\text{C}$  por 72 horas.

Después de que las probetas fueran retiradas y recuperasen la temperatura de ambiente, 3 de ellas fueron sometidas a ensayos de Tracción Indirecta en condición seca, y las 3 probetas restantes se colocaron en baño maría a  $25^{\circ}\text{C}$  por 24 horas para posteriormente ser sometidas al mismo proceso en condición húmeda. Ver Figuras 7.12 y 7.13

Figura 7.12 Ensayo Traccion Indirecta



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Figura 7.13 Ensayo Traccion Indirecta

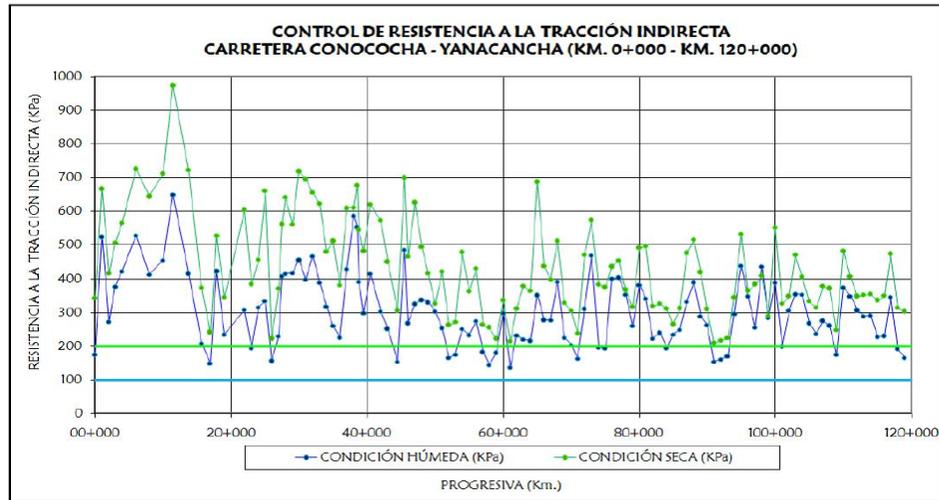


Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

La relación de la resistencia obtenida en condición húmeda (ITS húmedo) vs. la obtenida en condición seca (ITS seco) se conoce como Razón de Resistencia Retenida o Resistencia Conservada (ITR) y se expresa como porcentaje. Ver Gráfico 7.2.

Los resultados obtenidos a lo largo de toda la carretera dieron una resistencia en condición seca promedio (ITS seco) de 375.95 Kpa y una resistencia en condición húmeda promedio (ITS húmedo) de 303.82 Kpa superando los requerimientos de las especificaciones técnicas las cuales eran 200 Kpa y 100 Kpa respectivamente.

Gráfico 7. 2 Tracción Indirecta



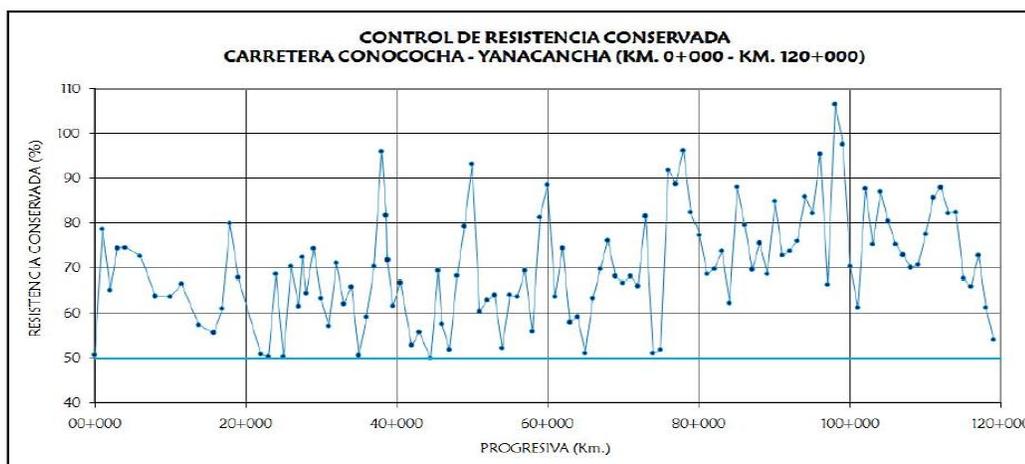
Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

A partir de las resistencias ITS en condición húmeda y seca se obtuvo un ITR promedio de 80.01%

Ecuación 7. 1 Resistencia Conservada

$$\text{ITR} = (\text{ITS húmedo} / \text{ITS seco}) \times 100$$

Gráfico 7.3 Resistencia Conservada



Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

## 7.4 Ventajas Ambientales de la aplicación del RPAE en etapa post intervención

### 7.4.1 Disminución de explotación de canteras de material para base granular y generación de residuos

Una de las principales ventajas que la tecnología del RPAE ofrece es la amabilidad con el medio ambiente; al tratarse de un proceso de reciclado se aprovecha el pavimento antiguo disminuyendo notablemente la necesidad de adquirir nuevo material granular nuevo y de generar botaderos para el material eliminado. A continuación se muestran unos cuadros (Cuadro 7.2 y Cuadro 7.3) que presentan los ratios obtenidos de la experiencia del mantenimiento de la carretera Conococha-Yanacancha con RPAE vs. un mantenimiento tradicional.

Cuadro 7.2 Cantidad de Material Base Granular a utilizar

Descripción	Tecnica Convencional	Reciclado de Pavimento con Asfalto Espumado
Material granular para base (m3)	259,200.00	4,368.31

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 7.3 Cantidad de Material Base Granular a Eliminar

Descripción	Tecnica Convencional	Reciclado de Pavimento con Asfalto Espumado
Material eliminado (m3)	336,960.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

## 7.4.2 Menor emisión de CO<sub>2</sub>

Como se sabe, esta tecnología disminuye la compra de material granular nuevo y la eliminación del material viejo, lo que quiere decir que hay una considerable disminución de uso de maquinaria pesada, los cuales al consumir combustible generan gases tóxicos entre los cuales se encuentra el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) uno de los más peligrosos e incidentes; al disminuir la cantidad de maquinaria pesada, se disminuye la cantidad de gases tóxicos causantes del efecto invernadero. A continuación se muestra un cuadro (Cuadro 7.4) que presenta resultados obtenidos en la obra por una empresa especializada sobre la emisión de CO<sub>2</sub> con RPAE y con la técnica convencional, en cuanto a emisión de CO<sub>2</sub>.

Cabe mencionar que con este proyecto se ganó el primer lugar en la categoría de protección al entorno (gestión ambiental) del “Premio Sumajg” que otorga Antamina.

Cuadro 7.4 Emisión de CO<sub>2</sub>

Descripción	Técnica Convencional	Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado
CO <sub>2</sub> (Kg.)	6'276,398.25	2'080,932.78

Fuente: Artículo-Capeco

file:///C:/Users/USER/Downloads/ARTICULO+CAPECO%20(2).pdf

## 7.5 Ventajas Económicas de la aplicación del RPAE en etapa post intervención

### 7.5.1 Ahorro en el costo de mantenimiento por Km

El mantenimiento con RPAE en esta obra se realizó in situ, por lo que no requirió el uso de plantas externas, el costo por Km fue de \$ 91,204.09.

#### 7.5.1.1 Disminución en el costo de obtención y transporte de material granular nuevo

Se analizó para este punto, cuánto se explotaría de material granular aplicando la técnica convencional, a comparación de cuanto se explotó al utilizar la técnica del RPAE, teniendo la cantera a una distancia de 55.56 km.

En el Cuadro 7.5 se muestra un análisis que indica que aplicando la técnica convencional se hubiesen explotado 259,200.00 m<sup>3</sup> de material granular teniendo un costo total de S/. 23,798,292.48 puesto en obra.

Cuadro 7.5 Costo del material granular y su transporte

Longitud de reciclado (Km)	120
Ancho de calzada (m)	7.2
Espesor promedio (m)	0.250
Factor de contraccion	1.20
Material Granular por utilizar (m3)	259,200.00
Costo de material zarandeado/m3	S/. 36.81
Costo de material granular	S/. 9,541,152.00
Costo por m3 por Km de tran	S/. 0.99
Distancia promedio de cantera (Km)	55.56
Costo por m3 por 55.56 Km	S/. 55.00
Costo de transporte	S/. 14,257,140.48
<b>RESUMEN DE COSTOS</b>	
Costo de material granular	S/. 9,541,152.00
Costo de transporte	S/. 14,257,140.48
<b>Costo Total</b>	<b>S/. 23,798,292.48</b>

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del RPAE, a lo largo de la carretera, hubieron zonas con mucho deterioro a las cuales se le denominaron como “Zonas Críticas”, estas zonas fueron examinadas con detenimiento para verificar si los materiales encontrados eran aptos para el reciclado, se realizó un cuadro comparativo de granulometría del material encontrado, con el “Huso” propuesto por el Manual Wirtgen, concluyéndose así que el material encontrado está dentro del rango que exige dicho Manual. Ver Cuadro 7.6.

Cuadro 7.6 Material encontrado en campo vs. Wirtgen

PORCENTAJE QUE PASA EN PESO		
TAMIZ	HUSO MANUAL WIRTGEN (%)	PROMEDIO OBTENIDO
2"	100	99.95 %
1"	75 – 100	89.90 %
¾"	70 – 92	78.73 %
½"	62 – 86	65.56 %
3/8"	57 – 80	57.32 %
Nº4	45 – 67	47.10 %
Nº10	32 – 53	35.43 %
Nº30	18 – 39	23.46 %
Nº40	16 – 35	20.93 %
Nº100	8 – 25	12.53 %
Nº200	4 – 20	9.36 %

Fuente: Tesina “Estudio Definitivo y Ejecución de la carretera Conococha -Yanacancha” por Martin Fernández, 2010, Universidad Ricardo Palma

Para las zonas críticas fue necesario comprar material granular y colocarlo como un encimado con un espesor de 0.13m y aumentar la profundidad del reciclado de 0.12m a 0.25m. Fue necesario obtener 4,368.31 m<sup>3</sup> de material granular, el cual puesto en obra tuvo un costo de S/. 401,073.95. Ver análisis en el Cuadro 7.7.

Cuadro 7.7 Costo del material de zonas críticas

Material Granular por utilizar (m3)	4368.31
Factor de contraccion	1.2
Costo de material zarandeado/m3	S/. 36.81
Costo de material granular	S/. 160,797.56
Costo por m3 por Km de tran	S/. 0.99
Distancia promedio de cantera (Km)	55.56
Costo por m3 por 55.56 Km	S/. 55.00
Costo de transporte	S/. 240,276.38
<b>RESUMEN DE COSTOS</b>	
Costo de material granular	S/. 160,797.56
Costo de transporte	S/. 240,276.38
<b>Costo Total</b>	<b>S/. 401,073.95</b>

Fuente: Elaboración propia

En resumen, se obtuvo que el costo de todo el material granular utilizado en la técnica del RPAE, debido a las zonas críticas, es mucho menor que en la Técnica Convencional, siendo equivalente únicamente al 2% del costo total del material granular utilizado en la Técnica Convencional. Ver Cuadro 7.8

Cuadro 7.8 Resumen de costo de material granular

Descripción	Técnica Convencional	Técnica RPAE
Costo de material granular puesto en obra	S/. 23,798,292.48	S/. 401,073.95
<b>Ahorro</b>	<b>S/.</b>	<b>23,397,218.53</b>

Fuente: Elaboración propia

### 7.5.1.2 Disminución en el costo de eliminación de material excedente

En el caso de la partida de eliminación de material excedente, en esta obra al utilizar la técnica RPAE no hubo eliminación, ya que se utilizó el 100% del material existente. En caso se hubiese utilizado una técnica convencional habría sido necesario eliminar el material deteriorado, el cual sería la carpeta asfáltica y parte de la base, siendo en su totalidad 336,960 m<sup>3</sup> de material lo cual tendría un costo de transporte de S/1,000,771.20 para un botadero ubicado a 3 km de distancia. Ver análisis en Cuadro 7.9.

Cuadro 7.9 Costo de eliminación de material

Longitud de reciclado (Km)		120
Ancho de calzada (m)		7.2
Espesor promedio (m)		0.300
Factor de expansion		1.3
Material Granular por ELIMINAR (m3)		336,960.00
Costo por m3 por Km de transporte	S/.	0.99
Distancia promedio del botadero (Km)		3.00
costo por m3 por 3 Km	S/.	2.97
Costo de transporte	S/.	1,000,771.20
<b>RESUMEN DE COSTOS</b>		
Costo de transporte	S/.	1,000,771.20
Costo Total	S/.	<b>1,000,771.20</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 7.5.2 Disminución en el costo de consumo de insumos

Para probar la hipótesis basada en la teoría, que indica que al aplicar la técnica del RPAE el costo de consumos de insumos es menor al de la Técnica Convencional, se presentan unos cuadros de análisis de los insumos de mano de obra, materiales y maquinaria utilizados en esa obra.

### 7.5.2.1 Insumos Mano de Obra

#### - Reciclado de Pavimento con Asfalto Espumado

La determinación del costo de consumo de insumos, para el caso insumo Mano de Obra de la partida BASE RECICLADA (RAP) E=120mm, resulta justificado a partir del Análisis de Precios Unitarios, cuyo Cuadro 7.10 se basa en la documentación proporcionada por Martín Fernández, quien fue parte del proyecto de mantenimiento periódico de la carretera en estudio como miembro del equipo de la empresa Mota Engil S.A.

#### 1) BASE RECICLADA (RAP) E=120 mm

Cuadro 7.10 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E=120mm

RENDIMIENTO:	5760	m <sup>2</sup> /d	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m <sup>2</sup> :		S/.	0.12
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
CAPATAZ A	hh	1.0000	0.0014	S/. 15.53	S/.	0.02
OFICIAL	hh	1.0000	0.0014	S/. 10.69	S/.	0.01
OPERARIO	hh	1.0000	0.0014	S/. 11.95	S/.	0.02
PEON	hh	5.0000	0.0069	S/. 9.66	S/.	0.07
					<b>S/.</b>	<b>0.12</b>

Cuadro 7.11 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra-Técnica RPAE

CONSUMO HORA HOMBRE Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m <sup>2</sup>	HH/m <sup>2</sup>	HH TOTAL	PRECIO/m <sup>2</sup>	COSTO TOTAL
CAPATAZ A	864000	0.0014	1200	S/. 0.02	S/. 18,636.00
OFICIAL	864000	0.0014	1200	S/. 0.01	S/. 12,828.00
OPERARIO	864000	0.0014	1200	S/. 0.02	S/. 14,340.00
PEON	864000	0.0069	6000	S/. 0.07	S/. 57,960.00
			<b>9600</b>		<b>S/. 103,764.00</b>
<b>HH TOTAL</b>	<b>9600</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 103,764.00</b>				

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha. Provías Nacional

**- Técnica Convencional**

La determinación del costo de consumo de insumos, para el caso Insumo Mano de Obra, comprende la denominación de dos partidas dentro del rubro de PAVIMENTOS de lo que normalmente refiere a la aplicación de una Técnica Convencional, esto son: 1) ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYE CARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 3 Km y 2) BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m. Esto resulta justificado a partir del Análisis de Precios Unitarios, cuyo Cuadro 7.12 se basa en la literatura del Libro "Costos y Tiempo en Carreteras" por Walter Ibañez. El uso del mencionado libro sirve como referencia bibliográfica de lo que establece la Técnica Convencional, como ocurre en nuestro país.

1) ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYE CARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 3 Km

Cuadro 7.12 A.P.U. Eliminación de Material Excedente (Incluye carguío y transporte) para 3Km - Técnica Convencional

RENDIMIENTO	414.09	m3/d	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m3:		S/.	0.41
<b>RECURSO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUADRILLA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PARCIAL</b>	
CONTROLADOR 1	hh	1.0000	0.0193	S/. 10.69	S/. 0.21	
CONTROLADOR 2	hh	1.0000	0.0193	S/. 10.69	S/. 0.21	
					<b>S/.</b>	<b>0.41</b>

Fuente: "Costos y Tiempo en Carreteras" - Walter Ibañez

El Rendimiento obedece al cálculo del tiempo que dura un ciclo de transporte para 3 Km. Se detalla en el ANEXO C7. Cabe mencionar, que el CONTROLADOR 1 aplica a 1 Volquete y CONTROLADOR 2 aplica a 1 Retroexcavadora. Además, el precio hora hombre se efectúa según la zona de la región a la que pertenece, para fines de comparación, el caso sería el mismo PRECIO aplicado en el RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO.

Cuadro 7.13 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica Convencional

CONSUMO HORA HOMBRE Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m3	HH/m3	HH TOTAL	PRECIO/m3	COSTO TOTAL
CONTROLADOR 1	336960	0.0193	6510	S/. 0.21	S/. 69,590.62
CONTROLADOR 2	336960	0.0193	6510	S/. 0.21	S/. 69,590.62
			<b>13020</b>		<b>S/. 139,181.23</b>
<b>HH TOTAL</b>	<b>13019.76</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 139,181.23</b>				

Fuente: “Costos y Tiempos en Carreteras” – Walter Ibañez

2) BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m

Cuadro 7.14 A.P.U. Base Granular: Extendido, Riego y Compactación E=0.25 m –  
Técnica Convencional

RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
OFICIAL	hh	1.0000	0.0045	S/. 10.69	S/. 0.05
PEON	hh	6.0000	0.0273	S/. 9.66	S/. 0.26
					<b>S/. 0.31</b>

RENDIMIENTO 1760 m2/d COSTO UNITARIO DIRECTO POR m3: S/. 0.31

Fuente: Costos y Tiempos en Carreteras – Walter Ibañez

El presente Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.) considera como fuente bibliográfica a la documentación del libro “Costos y tiempos en Carreteras”, Ver ANEXO G7.

Cuadro 7.15 Consumo de Insumos y Costo Total Mano de Obra - Técnica Convencional

CONSUMO HORA HOMBRE Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m2	HH/m2	HH TOTAL	PRECIO/m2	COSTO TOTAL
OFICIAL	864000	0.0045	3927	S/. 0.05	S/. 41,982.55
PEON	864000	0.0273	23564	S/. 0.26	S/. 227,624.73
			<b>27491</b>		<b>S/. 269,607.27</b>
<b>HH TOTAL</b>	<b>27491</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 269,607.27</b>				

Fuente: “Costos y Tiempos en Carreteras” – Walter Ibañez

### 7.5.2.2 Insumos de Materiales

En el caso de insumos de materiales, la técnica convencional muestra una menor cantidad de insumos y también de costo, como se muestra en los cuadros 7.13 y 7.14. El sustento de cada cantidad de los recursos se encuentra en el ANEXO A7.

#### - Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado

Cuadro 7.16 Consumo de Insumos y Costo Total Materiales – Técnica RPAE

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	PU	COSTO
LIGANTE	glns	1,626,106.68	5.63	S/. 9,154,980.63
BASE GRANULAR	m3	4,368.31	36.81	S/. 160,797.56
CEMENTO	bls	57,927.66	22.36	S/. 1,295,262.46
AGUA	m3	16,002.52	31.26	S/. 500,238.65
COMBUSTIBLE	glns	139,200.00	9.86	S/. 1,372,512.00
				S/. 12,483,791.31

Fuente: Elaboración propia

#### - Técnica Convencional

Cuadro 7.17 Consumo de Insumos y Costo Total Materiales –Técnica Convencional

RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	PU	COSTO
BASE GRANULAR	m3	233,280.00	36.81	S/. 8,587,036.80
AGUA	m3	32,392.00	31.26	S/. 1,012,573.92
COMBUSTIBLE	glns	474,196.34	9.86	S/. 4,675,575.93
				S/. 14,275,186.65

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en los Cuadros 7.16 y 7.17 la cantidad de insumos de material que se utiliza en el RPAE no es menor al de la técnica tradicional, sino todo lo contrario son más insumos materiales, pero el costo es menor en el caso del RPAE en S/. 1,791,395.34. Cabe resaltar que los dos insumos que generan mayor impacto ambiental, como son, el material granular y el agua, se usan en menor cantidad al aplicar la técnica de RPAE.

### **7.5.2.3 Insumos de Maquinaria**

#### **- Reciclado del Pavimento con Asfalto Espumado**

La determinación del costo de consumo de insumos, para el caso Insumo Maquinaria, de la partida BASE RECICLADA (RAP) E=120mm, resulta justificado a partir del Análisis de Precios Unitarios, cuyo Cuadro 7.18 se basa en la documentación proporcionada por Martin Fernández, quien fue parte del proyecto de mantenimiento periódico de la carretera en estudio.

1) BASE RECICLADA (RAP) E=120 mm

Cuadro 7.18 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E=120 mm

RENDIMIENTO :	5760	m2/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:			S/. 3.28
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5000 glns	hm	2.00	0.0028	S/. 109.28	S/. 0.30	
CAMION CISTERNA 4 x 2 (ASFALTO) 8000 glns	hm	2.00	0.0028	S/. 150.20	S/. 0.42	
CAMION BARANDA	hm	1.00	0.0014	S/. 116.29	S/. 0.16	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10 ton	hm	1.00	0.0014	S/. 161.63	S/. 0.22	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 136-170HP 15 ton	hm	1.00	0.0014	S/. 183.70	S/. 0.26	
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15 ton	hm	1.00	0.0014	S/. 141.09	S/. 0.20	
MAQUINA RECICLADORA	hm	1.00	0.0014	S/. 1,071.01	S/. 1.49	
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.00	0.0014	S/. 128.64	S/. 0.18	
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO DE CAP	hm	1.00	0.0014	S/. 43.74	S/. 0.06	
					<b>S/. 3.28</b>	

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha. Provías Nacional

Cuadro 7.19 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica RPAE

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m2	HM/m2	HM TOTAL	PRECIO/m2	COSTO TOTAL
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5000 glns	838152.000	0.0028	2328	S/. 0.30	S/. 254,425.70
CAMION CISTERNA 4 x 2 (ASFALTO) 8000 glns	838152.000	0.0028	2328	S/. 0.42	S/. 349,695.64
CAMION BARANDA	838152.000	0.0014	1164	S/. 0.16	S/. 135,373.19
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10 ton	838152.000	0.0014	1164	S/. 0.22	S/. 188,153.48
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 136-170HP 15 ton	838152.000	0.0014	1164	S/. 0.26	S/. 213,845.17
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15 ton	838152.000	0.0014	1164	S/. 0.20	S/. 164,242.87
MAQUINA RECICLADORA	838152.000	0.0014	1164	S/. 1.49	S/. 1,246,762.74
MOTONIVELADORA DE 125 HP	838152.000	0.0014	1164	S/. 0.18	S/. 149,749.82
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO DE CAP	838152.000	0.0014	1164	S/. 0.06	S/. 50,917.73
			<b>12805</b>		<b>S/. 2,753,166.35</b>
<b>HM TOTAL</b>	<b>12805</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 2,753,166.35</b>				

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha. Provías Nacional

2) BASE RECICLADA (RAP) E prom=250 mm (REPARACIONES EN ZONAS CRITICAS)

Se presenta el caso cuando surge la necesidad de reparar algunas zonas críticas por déficit estructural o por no llegar el material al nivel requerido, por tal, se debe realizar un encimado de material granular como una alternativa de solución para la técnica del reciclado. El siguiente Cuadro 7.20 muestra el Análisis para la partida BASE RECICLADA (RAP) E prom=250 mm (REPARACIONES EN ZONAS CRITICAS).

Cuadro 7.20 A.P.U. Base Reciclada (RAP) E prom=220 mm (Reparaciones en Zonas Críticas)

RENDIMIENTO :		5760	m2/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:		S/. 3.28
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5000 glns	hm	2.00	0.0028	S/. 109.28	S/. 0.30	
CAMION CISTERNA 4 x 2 (ASFALTO) 8000 glns	hm	2.00	0.0028	S/. 150.20	S/. 0.42	
CAMION BARANDA	hm	1.00	0.0014	S/. 116.29	S/. 0.16	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10 ton	hm	1.00	0.0014	S/. 161.63	S/. 0.22	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 136-170HP 15 ton	hm	1.00	0.0014	S/. 183.70	S/. 0.26	
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15 ton	hm	1.00	0.0014	S/. 141.09	S/. 0.20	
MAQUINA RECICLADORA	hm	1.00	0.0014	S/. 1,071.01	S/. 1.49	
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.00	0.0014	S/. 128.64	S/. 0.18	
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO DE CAP	hm	1.00	0.0014	S/. 43.74	S/. 0.06	
					<b>S/. 3.28</b>	

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha. Provías Nacional

2.1) TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR A OBRA PARA 55.56 Km

Para el encimado se debe incluir la partida de Transporte de Material traído desde Cantera, tal como muestra el siguiente Cuadro 7.21

Cuadro 7.21 A.P.U. Transporte de Material Granular a obra para 55.56 Km – Técnica RPAE

RENDIMIENTO :		36.98 m3/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m2:		S/. 41.14
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	hm	1.0000	0.2163	S/. 190.18	S/. 41.14
					<b>S/. 41.14</b>

Fuente: Costos y Tiempos en Carreteras – Walter Ibañez

El análisis para obtener el rendimiento del transporte para 55.56 km se encuentra en el ANEXO B7.

Cuadro 7.22 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria - Técnica RPAE

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m2	HM/m2	HM TOTAL	PRECIO/m2	COSTO TOTAL
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5000 glns	25848	0.0028	72	S/. 0.30	S/. 7,846.30
CAMION CISTERNA 4 x 2 (ASFALTO) 8000 glns	25848	0.0028	72	S/. 0.42	S/. 10,784.36
CAMION BARANDA	25848	0.0014	36	S/. 0.16	S/. 4,174.81
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10 ton	25848	0.0014	36	S/. 0.22	S/. 5,802.52
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 136-170HP 15 ton	25848	0.0014	36	S/. 0.26	S/. 6,594.83
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15 ton	25848	0.0014	36	S/. 0.20	S/. 5,065.13
MAQUINA RECICLADORA	25848	0.0014	36	S/. 1.49	S/. 38,449.26
MOTONIVELADORA DE 125 HP (RPAE)	25848	0.0014	36	S/. 0.18	S/. 4,618.18
VOLQUETE 6X4 DE 15	4368.3	0.2163	945	S/. 41.14	S/. 179,731.52
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO DE CAP	25848	0.0014	36	S/. 0.06	S/. 1,570.27
			<b>1340</b>		<b>S/. 264,637.17</b>
<b>HM TOTAL</b>			<b>1340</b>		
<b>COSTO TOTAL</b>					<b>S/. 264,637.17</b>

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococho-Yanacancha, Provias Nacional

- **Técnica Convencional**

La determinación del costo de consumo de insumos, para el caso Insumo Maquinaria, comprende la denominación de tres partidas dentro del rubro de PAVIMENTOS de lo que normalmente refiere a la aplicación de una Técnica Convencional, esto son: 1) ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYE CARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 3 Km, 2) TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR A OBRA PARA 55.56 Km y 3) BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m. Esto resulta justificado a partir del Análisis de Precios Unitarios, cuyo Cuadro 7.23 se basa en la literatura del Libro "Costos y Tiempo en Carreteras" por Walter Ibañez. El uso del mencionado libro sirve como referencia bibliográfica de lo que establece la Técnica Convencional, como ocurre en nuestro país.

1) ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYE CARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 3 Km

Cuadro 7.23 A.P.U. Eliminación de Material Excedente (Incluye carguío y transporte) para 3 Km –Técnica Convencional

RENDIMIENTO :	414.09	m3/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m3:		S/. 7.99
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	hm	1.0000	0.0193	S/. 190.18	S/. 3.67
RETROEXCAVADORA SOBRE ORUGAS CAT 320	hm	1.0000	0.0193	S/. 223.48	S/. 4.32
				<b>S/.</b>	<b>7.99</b>

El Rendimiento obedece al cálculo del tiempo que dura un ciclo de transporte para 3 Km. Se detalla en el ANEXO C7. Además, el precio hora máquina se efectúa según la zona de la región a la que pertenece, para fines de comparación, el caso sería el mismo PRECIO aplicado al Reciclado con Asfalto Espumado.

Cuadro 7.24 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica Convencional

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL						
RECURSO	METRADO m3	HM/m3	HM TOTAL	PRECIO/m3	COSTO TOTAL	
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	336960	0.0193	6510	S/. 3.67	S/. 1,238,048.98	
RETROEXCAVADORA SOBRE ORUGAS CAT 320	336960	0.0193	6510	S/. 4.32	S/. 1,454,827.98	
			13020		<b>S/. 2,692,876.96</b>	
<b>HM TOTAL</b>		<b>13020</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>S/. 2,692,876.96</b>				

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha, Provias Nacional

2) TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR A OBRA PARA 55.56 Km

Cuadro 7.25 A.P.U. Transporte de Material Granular a obra para 55.56 km – Técnica Convencional

RENDIMIENTO :	36.98	m3/DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m3:		S/. 41.14
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	hm	1	0.2163	S/. 190.18	<b>S/. 41.14</b>

Fuente: Costos y Tiempos en Carreteras – Walter Ibañez

El análisis para obtener el rendimiento del transporte para 55.56 km se encuentra en el ANEXO B7.

Cuadro 7.26 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria - Técnica Convencional

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m3	HM/m3	HM TOTAL	PRECIO/m3	COSTO TOTAL
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	280800	0.2163	60749.52	S/. 41.14	<b>S/. 11,553,343.71</b>
<b>HM TOTAL</b>		<b>60750</b>			
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>S/. 11,553,343.71</b>			

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha, Provias Nacional

### 3) BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m

El presente Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.) considera como fuente bibliográfica a la documentación del libro “Costos y Tiempo en Carreteras”, Ver ANEXO G7.

Cuadro 7.27 A.P.U. Base Granular: Extendido, Riego y Compactación E=0.25 m

RENDIMIENTO :		1760	m <sup>2</sup> /DIA	COSTO UNITARIO DIRECTO POR m3:		S/. 2.46
RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0045	S/. 128.64	S/. 0.58	
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10 ton	hm	1.0000	0.0045	S/. 161.63	S/. 0.73	
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15 ton	hm	1.0000	0.0045	S/. 141.09	S/. 0.64	
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5,000 gl	hm	1.0000	0.0045	S/. 109.28	S/. 0.50	
					<b>S/. 2.46</b>	

Fuente: Costos y Tiempos en Carreteras – Walter Ibañez

Cuadro 7.28 Consumo de Insumos y Costo Total Maquinaria – Técnica Convencional

CONSUMO HORA MAQUINA (HM) Y COSTO TOTAL					
RECURSO	METRADO m2	HM/m2	HM TOTAL	PRECIO/m2	COSTO TOTAL
MOTONIVELADORA DE 125 HP	864000	0.0045	3927	S/. 0.58	S/. 505,204.36
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10 ton	864000	0.0045	3927	S/. 0.73	S/. 634,765.09
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15 ton	864000	0.0045	3927	S/. 0.64	S/. 554,098.91
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5,000 gl	864000	0.0045	3927	S/. 0.50	S/. 429,172.36
			<b>15709</b>		<b>S/. 2,123,240.73</b>
<b>HM TOTAL</b>	<b>15709</b>				
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>S/. 2,123,240.73</b>				

Fuente: Costos y Tiempos en Carreteras – Walter Ibañez

Finalmente se presenta un cuadro resumen donde claramente se puede precisar que en la aplicación de la técnica del RPAE se obtiene un ahorro total de S/. 15´448,077.74 en el consumo de insumos, es decir el costo total de los insumos usados en la técnica del RPAE es el 50% del costo total si se hubiese aplicado la técnica convencional. Ver Cuadro 7.29.

Cuadro 7.29 Resumen de Costo Total de Insumos

DESCRIPCION	RPAE	TECNICA CONVENCIONAL
INSUMOS DE PERSONAL	S/. 103,764.00	S/. 408,788.51
INSUMOS DE MATERIAL	S/. 12,483,791.31	S/. 14,275,186.65
INSUMOS DE MAQUINARIA	S/. 3,017,803.52	S/. 16,369,461.40
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 15,605,358.82</b>	<b>S/. 31,053,436.56</b>

Fuente: Elaboracion Propia

### 7.5.3 Ahorro en gastos generales

Los Gastos Generales están directamente relacionados al tiempo de ejecución, el cual al emplear el RPAE requirió menor tiempo de ejecución que un método convencional. En el Cuadro 7.30 se menciona la diferencia que existe en tiempo de ejecución entre la técnica del Reciclado con Asfalto Espumado y una Técnica Tradicional, siendo la diferencia en 11 meses. Ver ANEXO H7.

Cuadro 7.30 Tiempo de trabajo en meses

Tiempo efectivo de trabajo	Construcción Tradicional	Reciclado de Pavimento con Asfalto Espumado
Numero de meses empleados para el Reciclado con Asfalto Espumado de 120 km.	19	8

Fuente: Elaboración propia

Los Gastos Generales, Ver Cuadro 7.31, se dividen en Gastos Fijos, gastos que no pueden ser modificados y Gastos Variables, gastos que están directamente relacionados a las necesidades de la obra, en el cuadro 7.32 se menciona el monto utilizado en los Gastos Fijos, y en el cuadro 7.33 se menciona el monto utilizado en los Gastos Variables.

Cuadro 7.31 Gastos Generales

Descripcion	Valor Total
Gastos Generales Fijos	S/. 597,607.51
Gastos Generales Variables	S/. 4,644,434.57
<b>Total</b>	<b>S/. 5,242,042.08</b>

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha. Provías Nacional

Cuadro 7.32 Gastos Fijos

Descripción	Und	Valor Total
Campamento	glb	S/. 483,198.00
Gastos Administrativos	glb	S/. 79,000.00
Impuestos	glb	S/. 35,409.61
<b>Total</b>		<b>S/. 597,607.61</b>

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha. Provías Nacional

Cuadro 7.33 Gastos Variables

Descripción	Unid	VALOR TOTAL
Personal Técnico Administrativo	glb	S/. 2,314,459.26
Movilización y Desmovilización	glb	S/. 115,200.00
Alimentación	glb	S/. 383,400.00
Equipos no incluidos en los costos directos	glb	S/. 910,960.00
Materiales de asistencia médica y oficina	glb	S/. 211,120.70
Comunicaciones, servicios de oficina principal y materiales	glb	S/. 103,500.00
Gastos de oficina principal	glb	S/. 220,980.24
Gastos financieros	glb	S/. 180,383.11
Seguros	glb	S/. 204,431.26
<b>Total</b>		<b>S/. 4,644,434.57</b>

Fuente: Expediente Técnico Carretera Conococha-Yanacancha. Provías Nacional

Tomando únicamente en consideración los 11 meses de ahorro en tiempo al usar la técnica del RPAE, obtenemos un ahorro total de S/.7,207,807.86, Ver Cuadro 7.34

Cuadro 7.34 Ahorro en Gastos Generales

Descripción	Valor Total
GG Total para 8 meses	S/. 5,242,042.08
GG por mes	S/. 655,255.26
<b>GG para 11 meses (Ahorro)</b>	<b>S/. 7,207,807.86</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 7.5.4 Ahorro de energía promedio en más del 80%

El ahorro de energía está relacionado directamente con los insumos de maquinaria, ya que al tener menor cantidad de horas máquina efectuada se presenta un ahorro energético. Ver cuadro 7.35.

Cuadro 7.35 Horas máquina

Descripción	Tecnica Convencional	Reciclado de Pavimento con Asfalto Espumado
Horas Máquina	89,478	14,145

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar un ahorro del 80% en horas máquina por aplicar la técnica del RPAE.

Otro aspecto que deriva de las horas máquina, en cuanto al ahorro de energía, es el consumo de combustible, el cual fue menor en la obra en estudio por aplicar la técnica del RPAE. Ver Cuadro 7.36.

Cuadro 7.36 Ahorro en Combustible

Descripción	Construcción Tradicional	Reciclado con Asfalto Espumado
Consumo de combustible (gln)	474,196	143,925.30

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar un ahorro del 70% en consumo de combustible por aplicar la técnica del RPAE respecto a la técnica convencional.

## **7.6 Índice de Condición del Pavimento (PCI) en la actualidad**

El relevamiento de fallas y cálculo del PCI fue hecho por la empresa EPCM CONSULTING S.A.C. en el año 2013 para poder plantear soluciones para conservar la infraestructura vial de esta carretera.

Para este caso, se tiene como instrumento de investigación la fuente documental dada por EPCM CONSULTING S.A.C.

### **7.6.1 Procedimiento de evaluación de la Condición del Pavimento**

El relevamiento de fallas se efectuó cada 50 metros de longitud de calzada. Y el área evaluada comprendió todo el ancho de la calzada por 50m de longitud, a partir del inicio de la estaca.

El formato que se utilizó para evaluar la condición del pavimento está basado en el Manual de fallas LTPP, se muestra en la Figura 7.14, en el cual están indicados los tipos de fallas.

Figura 7.14 Formato de Relevamiento de Fallas

CARRETERA: TRAMO: CAPA DE RODAMIENTO		SECTOR: FECHA:	ANCHO CALZADA: ANCHO BÉRMA: DER: IZQ:	REVISADO: REALIZADO:	P. Sakina								
MANIFESTACIÓN DEL DETERIORO		UNIDAD DE MEDIDA	MANTENIMIENTO (REVERTEO/FALLA)		FRECUENCIA	EXTENSIÓN	LOCALIZACIÓN				ESTADO		
			LEVE (L)	MODERADO (M)			SEVERO (S)	ESCALA 0-100%	PREVALENCIA 0-100%	EXTENSIÓN 0-100%	SEVERIDAD 0-100%	ESTADO 0-100%	ESTADO 0-100%
A	ADHESIVIDAD	1) ROTURA DE FATIGA	m <sup>2</sup>										
		2) EN BLOQUE	m <sup>2</sup>										
		3) DE BORDE	m										
		4a) LONGITUDINAL DENTRO DE LA VEHICULAR	m										
		4b) LONGITUDINAL FUERA DE LA VEHICULAR	m										
		5) REFLEJO EN LAS JUNTAS TRANSVERSALES	m										
B	PARCHES	7) PARCHES / DETERIORO DE PARCHES	m <sup>2</sup>										
		8) BACHOS	m <sup>2</sup>										
C	DEFORMACIONES SUPERFICIALES	9) ANIVELAMIENTO (HH)	mm										
		10) ESCORRIENTO	m <sup>2</sup>										
D	DEFECTOS SUPERFICIALES	11) ESCURRIONES	m <sup>2</sup>										
		12) ADEBADO PULIDO	m <sup>2</sup>										
		13) PELAJURAS	m <sup>2</sup>										
E	FALLAS EN BÉRMAS	14) DESNIVEL DISTA BÉRMA	mm										
		15) E RECOGIDA DE AGUA Y BOMBEO	m										
		16) DEFICIENCIA DE DRENAJE	m <sup>2</sup>										
		17) BRIDA DE BÉRMA	m <sup>2</sup>										
		18) ONDULACIÓN Y HUNDIMIENTO EN CALZADA	m <sup>2</sup>										
OPERADOR													

Fuente: Manual LTPP

En el presente estudio no se tomaron en cuenta ciertos intervalos puesto que no presentaban ninguna superficie a relevar los cuales son:

- Del Km. 115+250 al Km. 116+300

- Del Km. 119+800 al Km. 120+000

Figura 7.15 Levantamiento de fallas en la carpeta de rodadura



Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

Figura 7.16 Levantamiento de fallas en la carpeta de rodadura



Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

El espacio muestral hallado equivale al 7 % de la superficie total.

### **7.6.2 Información de daños encontrados**

En el relevamiento de daños se encontraron diversas fallas en el pavimento las cuales afectan a la vida útil del mismo y al servicio que presta.

En el Cuadro 7.37 se muestra el resumen de las fallas encontradas.

Cuadro 7.37 Resumen de Evaluación Superficial del Pavimento Resumen

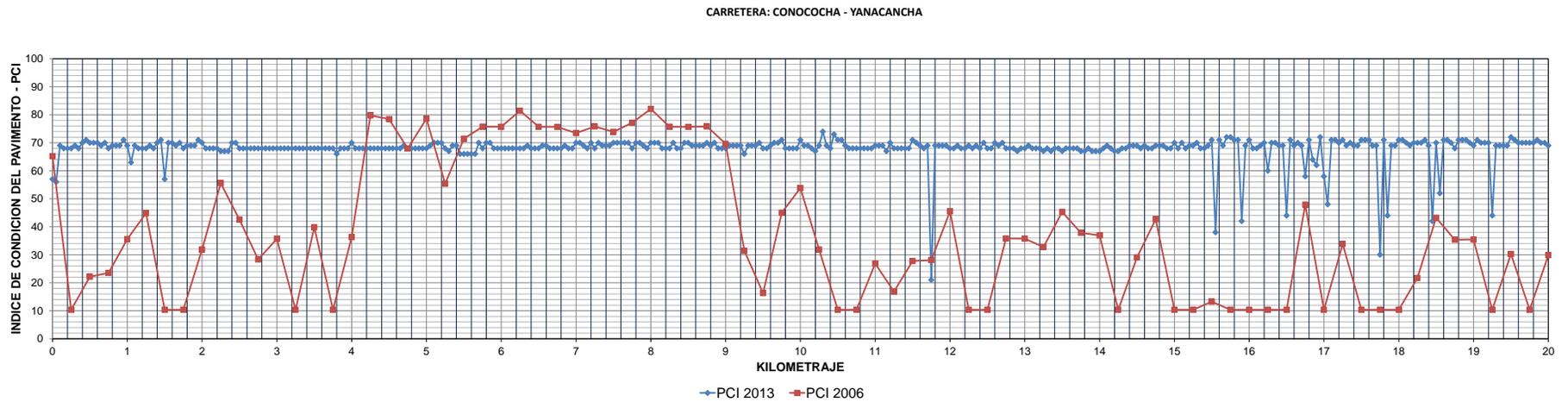
		METRADOS				
MANIFESTACION DEL DETERIORO		UNIDAD	LEVE	MODERADO	SEYERO	
A	AGRIETAMIENTO	1) ROTURA DE FATIGA	m2	57.48	22.19	5.46
		2) EN BLOQUE	m2	34.44	0.00	0.00
		3) DE BORDE	m	0.00	0.00	0.00
		4a) LONGITUDINAL FUERA DE HUELLA VEHICULAR	m	0.00	0.00	0.00
		4b) LONGITUDINAL DENTRO DE HUELLA VEHICULAR	m	0.00	0.00	0.00
		6) TRANSVERSALES	m	0.00	0.00	0.00
B	PARCHES	7) PARCHES/DETERIORO DE PARCHES	m2	1,689.75	144.12	59.49
		8) BACHES	m2	21.21	22.97	3,131.98
C	DEFORMACIONES SUPERFICIALES	9) AHUELLAMIENTO	m2	14,325.00	44,950.00	150.00
		10) CORRIMIENTO	m2	0.00	0.00	0.00
D	DEFECTOS SUPERFICIALES	11) EXUDACIONES	m2	0.00	0.00	0.00
		12) AGREGADO PULIDO	m2	60.00	0.00	0.00
		13) PELADURAS	m2	882,440.60	0.00	0.00
E	FALLAS DIVERSAS	14) DESNIVEL PISTA BERMA	m	0.00	0.00	0.00
		15) EROSION DE BERMAS	m	0.00	0.00	0.00
		16) ONDULACIÓN Y HUNDIMIENTO EN CALZADA	m2	0.00	0.00	0.00

Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

### 7.6.3 Clasificación de la Condición del Pavimento

En los Gráficos 7.4; 7.5; 7.6, 7.7, 7.8 mostrados a continuación, el valor del PCI a lo largo de toda la vía entre las progresivas 0+000 y 111+500 es en promedio 69, dicho valor clasifica al pavimento como Muy Bueno.

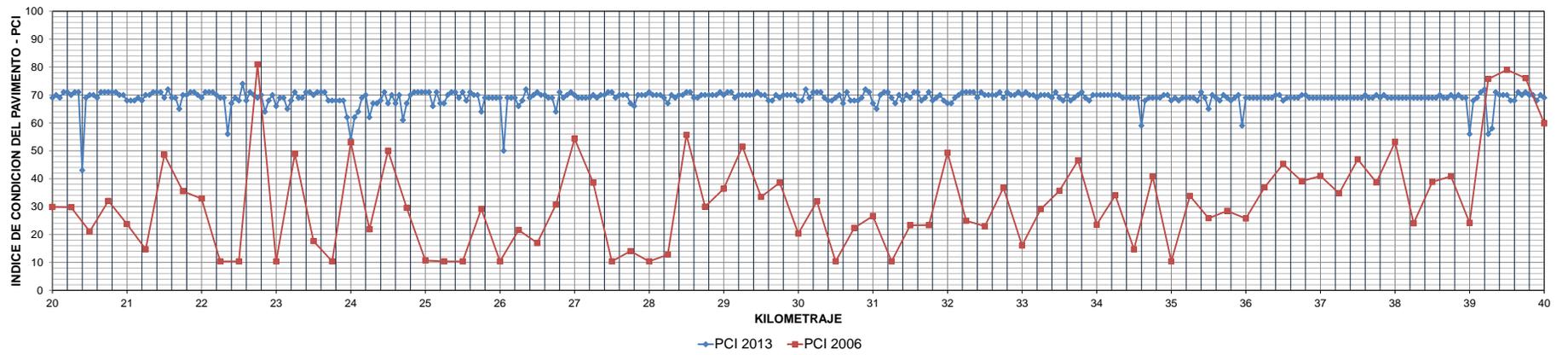
Gráfico 7. 4 0+000 – 20+000



Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

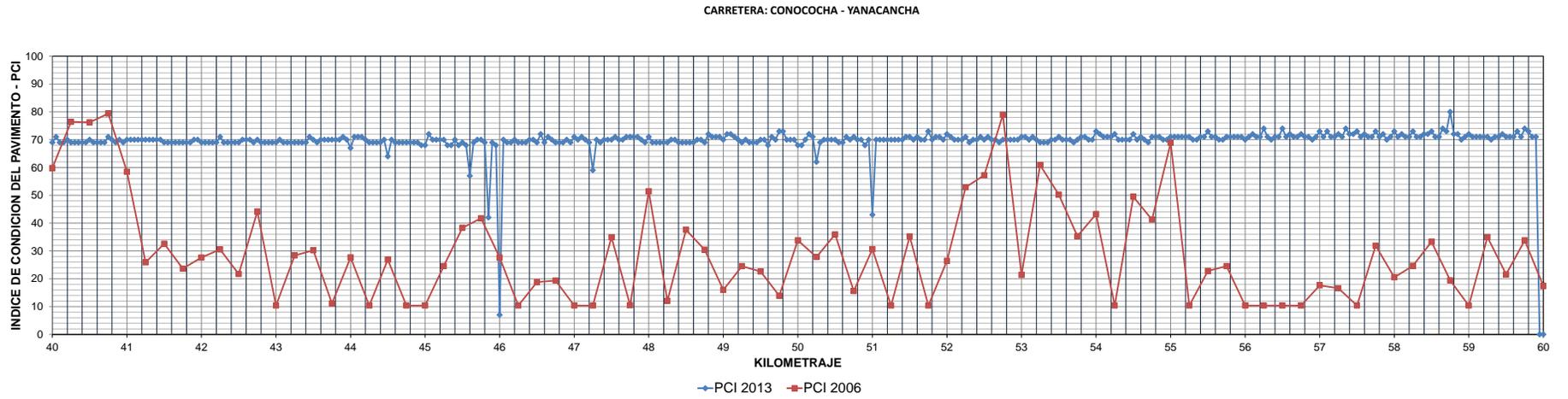
Gráfico 7. 5 20+000-40+000

CARRETERA: CONOCOCHA - YANACANCHA



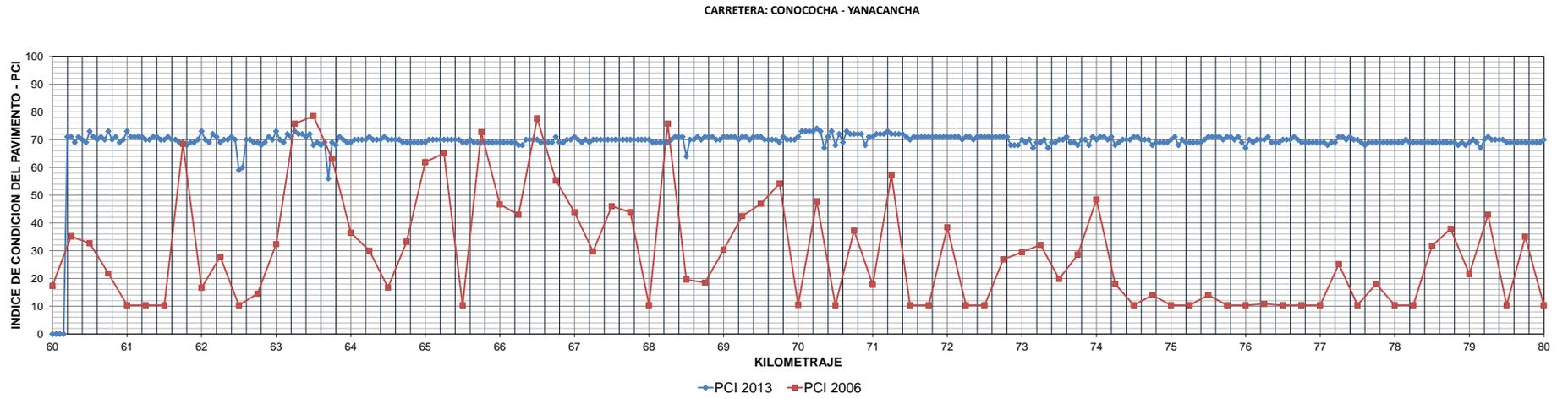
Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

Gráfico 7. 6 40+000-60+000



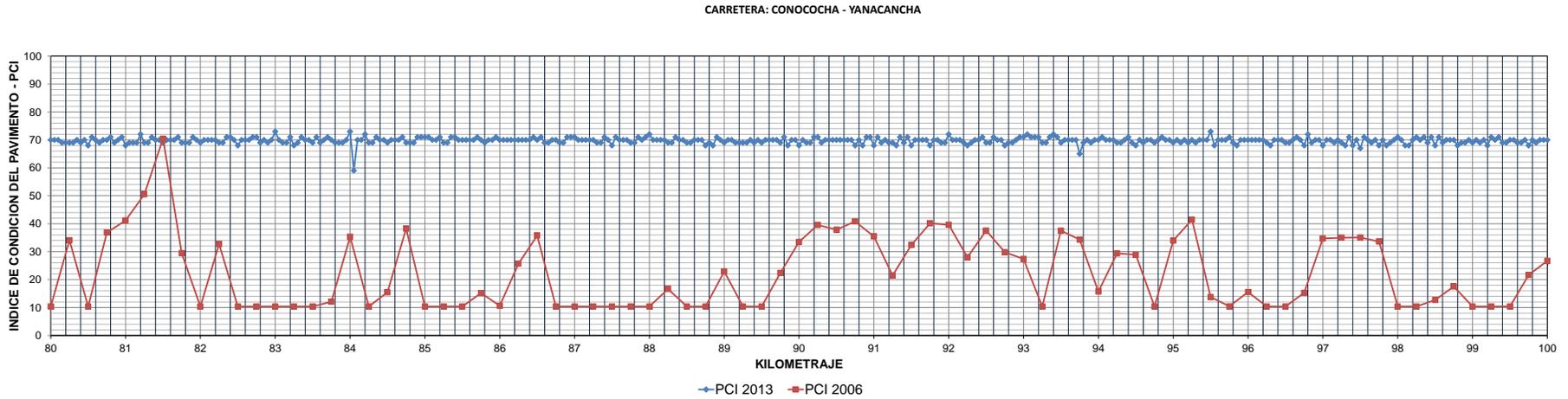
Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

Gráfico 7. 7 60+000-80+000



Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

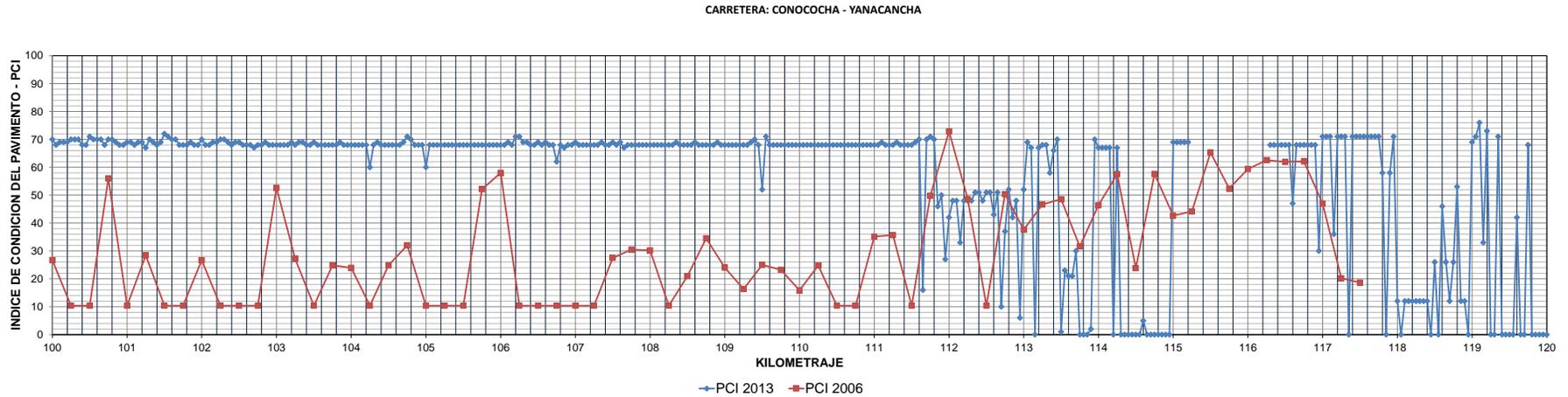
Gráfico 7. 8 80+000-100+000



Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

En el siguiente gráfico (Gráfico 7.9) podemos ver que a partir del Km 111+500 el valor de PCI baja considerablemente llegando a un valor promedio de 34, el cual clasifica al pavimento como “Pobre”; esto es causa de que en ese sector el clima es más severo, ya que se encuentra a una altura aproximada de 4700 m.s.n.m., teniendo épocas de caída de granizo, y a la congestión de vehículos mineros de gran peso, que aplican una carga puntual siendo esta la más perjudicial para el pavimento, dicho sector es la entrada para el campamento minero.

Gráfico 7. 9 100+000-120+000



Fuente: EPCM CONSULTING S.A.C.

Se concluye que el pavimento tuvo un buen comportamiento para estar sometido a carga pesada y un clima adverso, ya que la zona llega hasta los 4700 m.s.n.m., en promedio el valor del PCI de toda la carretera sería de 67 superando el valor mínimo establecido de 55 en nuestra hipótesis.

## 7.7 Resultados de análisis de ventajas técnicas, ambientales y económicas de la aplicación del reciclado con asfalto espumado en la etapa de post intervención de las carreteras en estudio

Cuadro 7.38 La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache vs Conococha-Yanacancha

CARACTERÍSTICA	LA OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA – DV. TOCACHE	CONOCOCHA – YANACANCHA	COMENTARIO
<b>TÉCNICO</b>			
1.- Proceso Constructivo de Alto Rendimiento			
1.1.- Registro de avance promedio en kilómetros por jornada normal de trabajo	1 Km/día	0.8 km/día	La diferencia se da que la geografía de la carretera Conococha-Yanacancha tiene una geografía más accidentada y está a mayor altura (4700 msnm), por lo tanto el rendimiento fue menor.
1.2.- Tipo de configuración de Tren de Reciclado	Cisterna de Agua, Cisterna de Asfalto, Recicladora - Compactación primaria	Cisterna de Agua, Cisterna de Asfalto, Recicladora - Compactación Primaria	La configuración de tren de reciclado es la misma para ambas carreteras
1.3.- Tipo de configuración de Tren de Compactado	Cisterna de Agua, Motoniveladora, Rodillo Liso, Rodillo Liso, Rodillo Neumático	Cisterna de Agua, Motoniveladora, Rodillo Liso, Rodillo Liso, Rodillo Neumático	La diferencia esta en las capacidades de las cisternas de agua, en la potencia de las motoniveladoras, y en el tonelaje de los rodillos, esto varía según los recursos con los que cuenta cada empresa.
2.- Tiempo de apertura al tráfico	Inmediatamente después del compactado	Inmediatamente después del compactado	Al ser una técnica aplicada a temperatura de ambiente no hay que esperar a que enfíe, lo mejor es cubrirla lo antes posible evitando así que merme sus propiedades por disturbación, segregamiento, contaminación, pérdida de finos, etc.
3.- Características Estructurales			
3.1.- Deflectometría	No se hizo	Sector A(promedio) : 56.80, Sector B(promedio): 56.41	En el caso de la carretera LA OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA – DV. TOCACHE no se realizó el ensayo de deflectometría en la etapa de post-intervención porque no estuvo contemplado dentro de las especificaciones del trabajo dadas por la entidad. En el caso de la carretera CONOCOCHA-YANACANCHA la deflectometría estuvo 30% por debajo de lo admisible, por lo cual se concluye que estructuralmente cumplió.
3.2.- Resistencia a la Tracción Indirecta	Tramo 5 : ITS seco=345 Kpa, ITS húmedo=286.2 Kpa, ITR=83.1%	ITSprom seco=375.95 Kpa, ITSprom húmedo=303.82 Kpa, ITRprom =80.01%	En ambas carreteras los valores de ITSseco, ITS húmedo e ITR superan los valores límites indicados en los expedientes, los cuales fueron de 200 Kpa en condición seca, 100 Kpa en condición húmeda, e ITR 50%.

<b>AMBIENTAL</b>			
4.- Explotación de Canteras de Material Granular	13,927.22 m3	4,368.31 m3	En el caso de la carretera La OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA – DV. TOCACHE se tuvo 7.105 kilómetros de zonas críticas las cuales fue necesario agregar material granular como encimado para recuperar el déficit estructural que se tenía. En el caso de la carretera CONOCOCHA-YANACANCHA se tuvo 3.590 kilómetros de zonas críticas en las cuales fue también necesario agregar material granular para llegar al nivel de reciclado solicitado.
5.- Generación de Residuos	0 m3	0 m3	Por haber empleado la técnica del reciclado, se usó el 100% del RAP, por lo que no hubo necesidad de eliminar.
6.- Menor emisión de Dióxido de Carbono (C02)	No se hizo evaluación.	2 080 932.78 Kg	En el caso de la carretera La OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA – DV. TOCACHE debido a razones presupuestales no se realizó ningún monitoreo ambiental. En el caso de la carretera Conococha-Yanacancha sí se realizó un monitoreo ambiental el cual conllevó a que se le otorgue el premio "Sumajg" a la empresa contratista por Protección al Entorno.
<b>ECONÓMICO</b>			
7.- Costo de Mantenimiento por Kilómetro	\$60,000.00	\$91,204.09	El precio por Km en la carretera Conococha-Yanacancha fue mayor debido a que el ancho de la calzada era mayor, lo que implicó mayor cantidad de pasadas en las curvas (hasta 5 veces), la geografía era más accidentada, por lo cual el rendimiento fue menor.
8.- Costo del consumo de insumos			
8.1.- Insumo de Mano de Obra por m2	S/. 0.12	S/. 0.12	A pesar que el precio hora hombre sea distinto debido a que las obras se ejecutaron en años diferentes, el costo por m2 es el mismo.
8.2.- Insumo de Materiales por Km			
8.2.1.- Ligante	S/. 148,750.00	S/. 77,026.67	Las diferencias más saltantes están en el ligante y en el agua, en el caso del ligante el precio del galón fue mayor para la carretera La OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA – DV. TOCACHE, lo cual no sucedió con el agua ya que el agua fue casi gratis en la carretera mencionada, debido a que fue extraída del río, para el caso de la carretera CONOCOCHA-YANACANCHA se tuvo que comprar.
8.2.2.- Base Granular	S/. 1,799.49	S/. 1,339.98	
8.2.3.- Cemento	S/. 11,000.00	S/. 10,732.80	
8.2.4.- Agua	S/. 17.40	S/. 4,037.79	
8.2.5.- Combustible	S/. 10,441.17	S/. 12,259.27	
8.3 Insumos de Maquinaria por m2	S/. 3.30	S/. 3.28	Debido a que se empleó la misma técnica, la maquinaria usada fue la misma, habiendo solo variaciones en los precios de horas maquina, por eso el costo por m2 es casi igual.
9.- Gastos Generales mensual	S/. 500,126.50	S/. 655,255.26	En la carretera CONOCOCHA-YANACANCHA hubo un mayor % de gastos generales debido a que su ejecución fue mas minuciosa y holgada en cuanto a personal y ensayos a comparación de la carretera La OROYA – CHICRÍN – HUÁNUCO – TINGO MARÍA – DV. TOCACHE.

Fuente: Elaboración Propia

# CAPITULO VIII: COMPARACIÓN DEL RECICLADO DE PAVIMENTO CON ASFALTO ESPUMADO Y EMULSIÓN ASFÁLTICA

## **8.1 Introducción de Estabilización con Emulsión**

### **8.1.1 General**

Las emulsiones asfálticas fueron originalmente desarrolladas para resolver dificultades constructivas asociadas a la construcción con asfalto caliente, y también fueron ideadas como aplicaciones para eliminar la emisión de polvo.

Una emulsión consiste en dos líquidos inmiscibles, uno en la fase dispersa (pequeños glóbulos de asfalto de 0,001 a 0,01 mm) y otro en la fase continua. Los líquidos son mecánicamente dispersados, en un molino coloidal. Las emulsiones asfálticas estándar consisten en una fase de asfalto (en glóbulos) disperso en una fase continua de agua. El empleo de un emulsificante impide, a través de un agente activo que forma un campo electrostático alrededor de los glóbulos de asfalto, que la fase dispersa pueda unirse y le otorga estabilidad a la emulsión.

La mayoría de las emulsiones utilizadas como agentes estabilizadores tienen una componente de “asfalto residual” de 60%, que significa que el 60% de volumen de la emulsión está compuesto de asfalto disperso en un 40% del volumen que es agua, los porcentajes de asfalto mayores a 60% no son recomendables para el reciclado debido a que la emulsión se torna viscosa, más difícil de bombear y por lo tanto es más difícil cubrir el agregado.

Después de mezclar la emulsión con el suelo a estabilizar se produce el proceso de “quiebre”, que es la separación del asfalto de la fase de agua y la unión de las gotitas de

asfalto con el agregado para producir una película continua de asfalto sobre la superficie de agregado.

El proceso de quiebre es seguido por el curado, que es la pérdida del agua de la mezcla (principalmente a través de la evaporación) y el incremento de la rigidez y la resistencia a la tracción de la capa estabilizada de asfalto. Esto es importante debido a que una mezcla requiere adquirir rigidez y cohesión entre las partículas antes de permitir el tránsito sobre la nueva capa.

El cemento se utiliza normalmente en conjunto con la emulsión asfáltica, el cemento actúa como una forma de catalizador al controlar el quiebre, incrementando las propiedades resistentes iniciales, ayudando así al acomodo del tráfico. Las investigaciones realizadas acerca de los efectos de combinar cemento con emulsión asfáltica han mostrado que hasta un 1,5 % en masa de cemento puede ser añadido sin reducir significativamente las características de fatiga de la capa estabilizada.

### **8.1.2 Tipos de Emulsión**

Existen tres tipos de emulsión, a saber:

- Emulsión aniónica producida utilizando emulsificadores cargados negativamente tales como ácidos grasos.
- Emulsión catiónica producida utilizando emulsificadores cargados positivamente como las aminas.
- Emulsión no-iónica, que es fabricada con emulsificadores no cargados. Estas emulsiones no son utilizadas en el reciclado en frío.

Tanto en las emulsiones aniónicas como catiónicas, los emulsificantes son químicamente controlados para estabilizar o aumentar la rapidez de quiebre. Las emulsiones con tiempos de quiebre extendidos de entre 30 minutos y 1,5 horas o más, son denominadas de “quiebre lento” mientras aquellas que quiebran rápidamente se denominan de “quiebre rápido”.

La Tabla 8.1, muestra que la emulsión catiónica es casi siempre adecuada para el uso en el reciclado profundo. Cuando se reciclan capas profundas es imperativo el asegurar que la emulsión quiebre lo antes posible sin comprometer el mezclado y la compactación. Esto se logra de mejor manera utilizando una emulsión catiónica.

Tabla 8. 1 Tipo de emulsión asfáltica/compatibilidad del tipo de agregados

Tipo de emulsion	Tipo de agregado	Apariencia	
		Quiebre	Adhesion
Anionica	Acido	Lento	Mala
Anionica	Alcalino	Medio	Buena
Cationica	Acido	Rapido	Excelente
Cationica	Alcalino	Rapido	Buena

Fuente: Manual Wirtgen – Manual de reciclado en frio

### **8.1.3 Aspectos Importantes a considerar al trabajar con una Emulsión**

#### **8.1.3.1 Diseño de mezcla**

Como con cualquier forma de estabilización, un procedimiento de diseño apropiado debe ser seguido para determinar la tasa de aplicación correcta requerida para alcanzar la resistencia de diseño. Cada material requiere de su propia tasa de aplicación de emulsión asfáltica para alcanzar la resistencia óptima o deseada.

#### **8.1.3.2 Formulación**

Diferentes emulsificadores y aditivos son utilizados para variar las dosificaciones de manera de ajustar una emulsión a una aplicación específica. Además de determinar la cantidad de asfalto residual suspendido en agua, tal ajuste apunta a controlar las condiciones bajo las cuales el asfalto quiebra. Dado que el tipo de material que se mezcla con la emulsión tiene una gran influencia en la estabilidad (tiempo de quiebre), es importante que al fabricante de la emulsión le sea entregada una muestra representativa del material que debe ser reciclado.

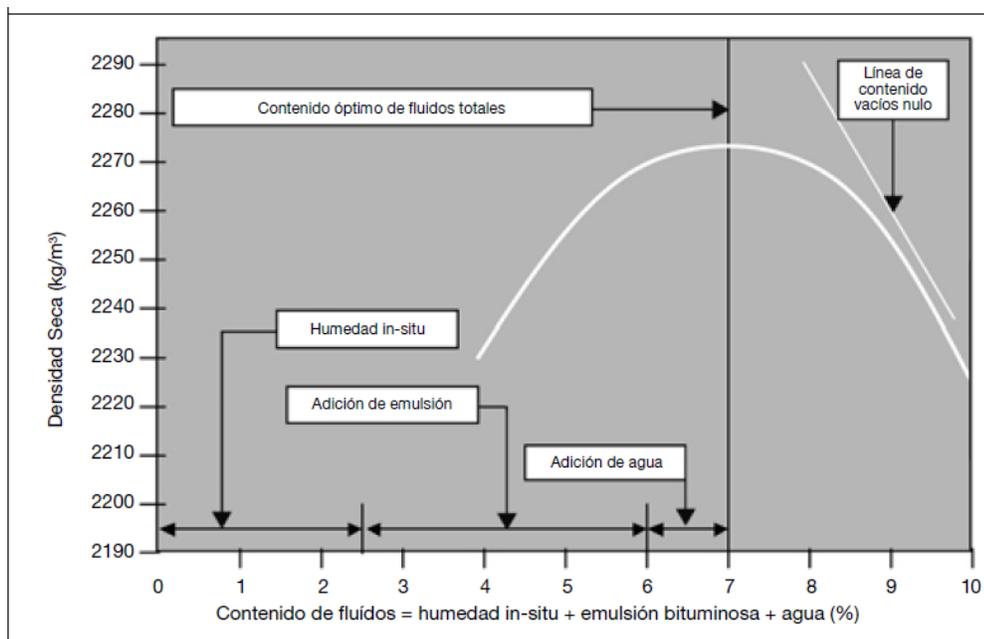
### 8.1.3.3 Manejo

Las emulsiones asfálticas son susceptibles a la temperatura y presión. Las condiciones que van a hacer que el asfalto se separe de la suspensión (lentamente como “floculación”, o instantáneamente como “quiebre instantáneo”) deben ser claramente entendidas para evitar de que esto ocurra en terreno. De igual manera, el fabricante debe conocer las condiciones predominantes en terreno para permitir una formulación correcta, incluyendo los detalles de todas las bombas que serán utilizadas para transferir la emulsión entre los estanques y para suministrar la barra con aspersores en la recicladora.

### 8.1.3.4 Contenido Total de Fluido

Cuando se trabaja con emulsiones asfálticas, el “Contenido Total de Fluido” es utilizado en vez del Contenido de Humedad al momento de definir la relación humedad/densidad. La densidad máxima se alcanza con el Contenido Óptimo de Fluido Total (Optimum Total Fluid Content, OTFC), que es la combinación del agua de compactación y emulsión asfáltica en la mezcla. Ver Gráfico 9.1.

Gráfico 8. 1 Ejemplo para la consideración de fluidos totales en la estabilización de materiales con emulsión



Fuente: Manual Wirtgen – Manual de reciclado en frío

El ejemplo de la Gráfico 8.1 muestra el contenido de humedad in-situ de 2,5%, con un 3,5% de emulsión asfáltica aplicada. El material tiene un OTFC de un 7% bajo una compactación estándar. Un porcentaje adicional de 1,0 % de agua se puede agregar durante el reciclado para llevar el contenido total de fluido al óptimo. Si el contenido total de fluido del material se acerca al nivel de saturación (como se indica por la línea de porcentaje de vacíos cero), se desarrollarán presiones hidráulicas bajo el rodillo causando que el material se hinche o descompacte. Cuando suceden tales condiciones es imposible compactar el material.

#### **8.1.3.5 Tiempo de Compactación**

Cuando una emulsión quiebra, el asfalto se separa de la suspensión y la viscosidad del fluido aumenta significativamente. Las partículas individuales del material reciclado pueden ser cubiertas o semi-cubiertas con una delgada lámina de asfalto frío y viscoso, haciendo más difícil la compactación. La compactación debiera, por lo tanto, ser completada antes o durante el proceso de quiebre de la emulsión.

#### **8.1.3.6 Control de calidad**

Las probetas (para los ensayos de resistencia) son normalmente fabricadas de muestras obtenidas inmediatamente detrás de la recicladora. Estas probetas deben ser preparadas antes de que la emulsión quiebre, obteniendo así especímenes que reflejan al material compactado en el camino. Muchas veces, la única forma de que esto se logre es teniendo un equipo de compactación móvil para fabricar las probetas.

Alternativamente, se pueden extraer testigos en una fecha posterior una vez que la capa haya curado completamente.

#### **8.1.3.7 Curado**

De manera de ganar resistencia, una mezcla de emulsión debe expulsar el exceso de agua, o curar. A pesar de que algunos materiales estabilizados con emulsión asfáltica pueden alcanzar su resistencia total en un período corto de tiempo (un mes), el curado puede tardar más de un año para algunos materiales. La longitud de este período está afectada por el contenido de humedad de terreno, la interacción emulsión/agregado,

clima local (temperatura, precipitación y humedad) y el contenido de vacíos de la mezcla.

La adición de cemento tiene un impacto significativo en la tasa de ganancia de resistencia. Sin embargo, la investigación ha demostrado que añadir más de 2% en masa afecta negativamente las propiedades de fatiga de la capa estabilizada.

#### **8.1.4 Propiedades típicas de materiales estabilizados con emulsión asfáltica**

Estas propiedades que se mencionaran más adelante, pueden ser alcanzadas cuando la tasa de aplicación de la emulsión asfáltica sea la óptima, y determinada a partir de un procedimiento de diseño de mezclas.

El asfalto residual usualmente se encuentra en los rangos mostrados en la Tabla 8.2.

Tabla 8. 2 Emulsión típica/contenido de asfalto residual (por peso)

<i>Tipo de material</i>	<i>Emulsión asfáltica (%)</i>	<i>Asfalto residual (%)</i>
RAP/piedra chancada (mezcla 50/50)	2,5 a 5,0	1,5 a 3,0
Piedra chancada graduada	4,0 a 6,5	2,5 a 4,0
Grava natural (IP<10, CBR<30)	5,0 a 7,5	3,0 a 4,5

Fuente: Manual Wirtgen – Manual de reciclado en frío

##### **8.1.4.1 Resistencia y rigidez**

Recientes investigaciones en Sudáfrica han demostrado que un material estabilizado con emulsión asfáltica tiene características de rigidez y resistencia similares que aquellas para tratamiento con asfalto espumado.

##### **8.1.4.2 Tiempo de procesamiento**

Aparte de los requerimientos para completar el mezclado, la compactación, y terminación antes de que quiebre la emulsión, no es necesario especificar ningún otro límite de tiempo para trabajar con emulsiones asfálticas.

### **8.1.4.3 Densidad**

La compactación siempre debiera lograr alcanzar la máxima densidad posible bajo las condiciones de terreno. Usualmente se especifica la densidad mínima como un porcentaje de la densidad AASHTO modificada, entre 98% y 102% para bases estabilizadas con asfalto. A veces se permite aceptar un gradiente de densidad a través del espesor de compactación. Esto significa que la densidad en la parte superior de la capa puede ser mayor que la de la parte inferior, cuando se especifica de este modo, es normal incluir una desviación máxima de 2% para la densidad medida en el tercio inferior de la capa. Así, si la densidad promedio especificada es un 100%, la densidad en la parte inferior de la capa debe ser mayor que 98%. Para agregados de mejor calidad (por ejemplo, CBR > 80%), es recomendable especificar una densidad absoluta.

## 8.2 Cuadro comparativo entre Emulsión Asfáltica y Asfalto Espumado

Cuadro 8.1 Comparación entre Emulsión Asfáltica y Asfalto Espumado

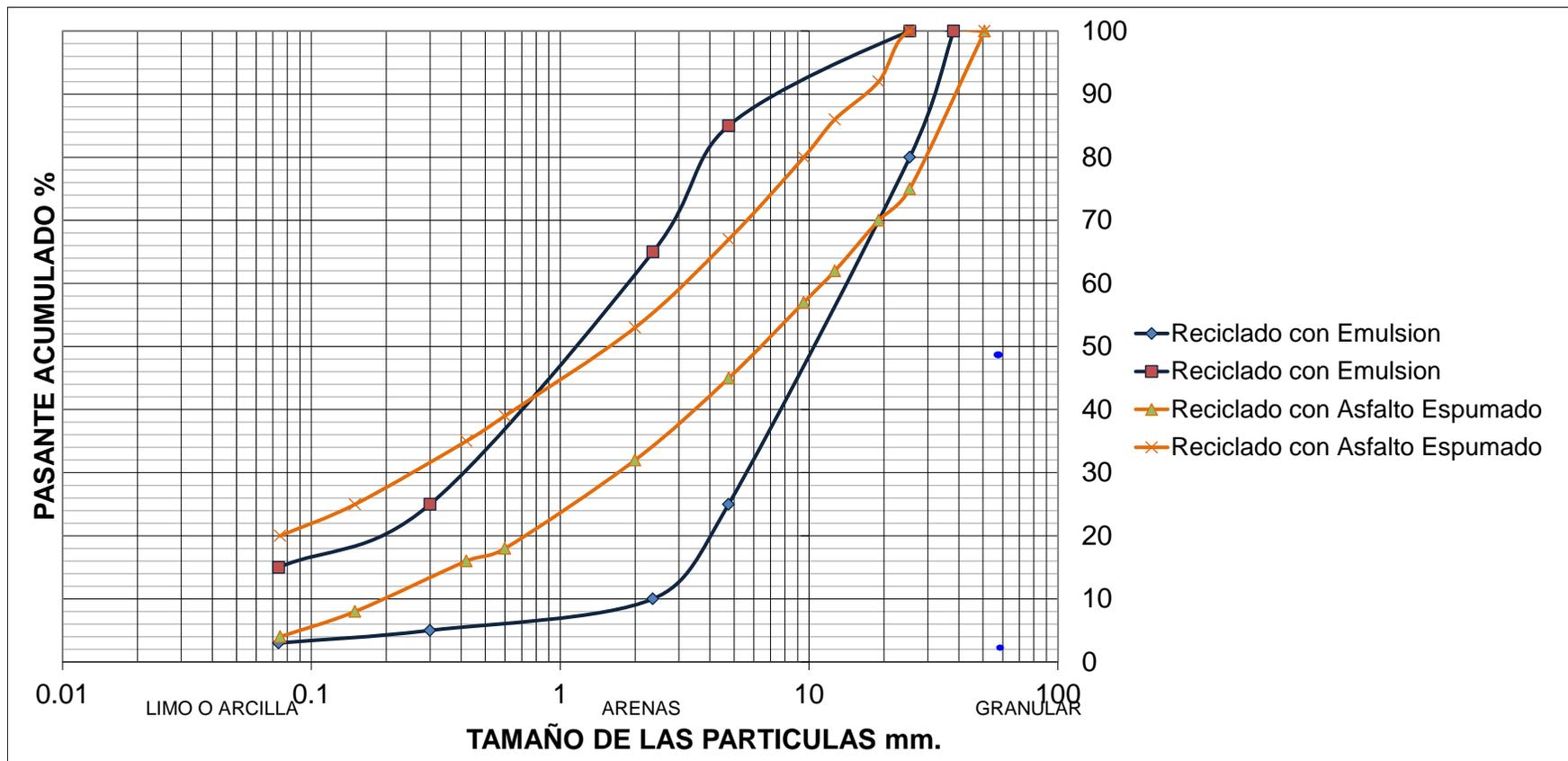
Descripción	Emulsión Asfáltica	Asfalto Espumado
<b>Técnica</b>		
1.- Aditivos	SI	NO
2.- Contenido de humedad durante la mezcla	90% del Óptimo menos el 50% del contenido de la Emulsión Asfáltica	Bajo el Óptimo, por ejemplo 65% a 95%
3.- Temperatura de colocación y compactación	Ambiental	Ambiental
4.- Velocidad para adquirir resistencia	LENTO (dependiendo del material estabilizado, puede alcanzar en un mes y hasta un año para algunos materiales)	Rápido
5.- Parámetros importantes	Tipo de Emulsión (aniónica o catiónica), Asfalto Residual, Tiempo de quiebre, Curado, Tiempo de Compactación.	Vida Media y Razón de expansión.
6.- Tiempo de apertura al tráfico	Por proceso de quiebre, debe esperarse a que se rompa la emulsión, por lo que se puede abrirse al tránsito apenas culminen los trabajos de colocación y compactación.	Puede ser abierto al tránsito inmediatamente después de su compactado final.
7.- Condiciones climáticas adversas	El material estabilizado con emulsión puede ser almacenado siempre y cuando esté cubierto con mantas y este no pierda la humedad.	El material tratado con asfalto espumado se mantiene trabajable por extensos períodos de tiempo y puede ser acopiado en condiciones climáticas adversas sin que el asfalto sea lavado del agregado.
8.- Trabajable con materiales in-situ con alto contenido de humedad	En condiciones de climas extremos se puede controlar la humedad de los agregados.	El proceso de asfalto espumado puede ser usado para tratar materiales in-situ con contenidos de humedad de terreno relativamente altos, debido a que el ligante puede ser agregado sin usar agua adicional.

9.- Condiciones de Compactación	<p>a) Inmediatamente o mientras que la emulsión comienza a romper.</p> <p>b) La mezcla no podrá permanecer más de 1/2 hora sin que se proceda a su compactación y terminación.</p>	Inmediatamente después del extendido de la mezcla.														
10.- Tiempo de rotura	Tres horas mínimo para la rotura de la emulsión dentro de la mezcla asfáltica reciclada	No hay rotura														
11.- Granulometría del agregado reciclado (Ver Gráfico 8.2)	<p>a) Producto del IP del material recuperado por su porcentaje pasante del tamiz # 200, debe ser menor de 72. verificar este valor</p> <p>b) El equivalente de arena del material recuperado debe ser igual o mayor del 30%</p> <table border="1" data-bbox="751 760 1314 837"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>38.1 mm (1.5")</th> <th>25.4 mm (1")</th> <th>4.75 mm (#4)</th> <th>2.36 mm (# 8)</th> <th>0.30 mm (# 50)</th> <th>0.075 mm (#200)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% pasante</td> <td>100</td> <td>80/100</td> <td>25/85</td> <td>10-65</td> <td>5-25</td> <td>3/15</td> </tr> </tbody> </table>	Tamiz	38.1 mm (1.5")	25.4 mm (1")	4.75 mm (#4)	2.36 mm (# 8)	0.30 mm (# 50)	0.075 mm (#200)	% pasante	100	80/100	25/85	10-65	5-25	3/15	<p>Fig. 4.11 Características de los materiales adecuados para tratamiento con asfalto espumado</p> 
Tamiz	38.1 mm (1.5")	25.4 mm (1")	4.75 mm (#4)	2.36 mm (# 8)	0.30 mm (# 50)	0.075 mm (#200)										
% pasante	100	80/100	25/85	10-65	5-25	3/15										
12.- Restricción sobre el material a reciclar	No reciclar el material procedente de pavimentos con deformaciones plásticas.	Material con Agregado Fino no menor al 5%.														
13.- No se permitirá el reciclado, cuando:	La temperatura ambiente a la sombra sea menor a los 5 °C y cuando se produzcan precipitaciones.	La temperatura ambiente a la sombra sea menor a los 10 °C. No puede haber precipitaciones														
14.- Cantidad de cemento	1.5% máximo	1% máximo														
15.- Tren de Reciclado	Recicladora-Tanque de Emulsión.	Recicladora-Tanque de Asfalto-Tanque de Agua.														

<b>Ambiental</b>		
16.- Temperatura del asfalto	20°C - 70°C. Por tanto, menor emisión de gases tóxicos por evaporación de maltenos	160°C - 180°C (antes de espumar), mayor emisión de gases tóxicos por evaporación de maltenos
<b>Económica</b>		
17.- Costo (gln)	Las emulsiones de asfalto generalmente no se producen en terreno, y si es el caso, se incrementa la utilización de insumos. Esto requiere su preparación en planta y de un estricto control, y los emulsificadores son caros. Costo Emulsión Asfáltica STD Catiónica de Rotura Rápida BP-CRR S/.7.25 por galón. No se calienta el material, por lo que no se necesita infraestructura importante.	El asfalto espumado utiliza Cemento Asfáltico de Penetración Estándar. No existen costos adicionales de producción del mismo. Costo CAP S/.5.96 por galón. Debe calentarse el asfalto y tener una infraestructura importante para este proceso (Punto de Calentamiento en Campo).
18.- Reducción en costo de transporte	Para una misma proporción de asfalto residual, una emulsión contiene 40% de agua la cual debe ser transportada junto con el asfalto.	Se transporta solo el CAP.

En el Grafico 8.2 podemos observar una intersección de curvas granulométricas, que comprenden los parámetros indicados para el Reciclado con Asfalto Espumado y con Emulsión Asfáltica.

Gráfico 8. 2 Intersección de Curvas Granulométricas adecuadas para la Técnica del Asfalto Espumado y la Técnica de la Emulsión Asfáltica



- La Técnica del Reciclado con Emulsión Asfáltica permite mayor rango de tolerancia en cuanto al tamaño del agregado reciclado.
- Las dos técnicas de estabilización restringen el uso de material fino que contenga aproximadamente menos del 5%.
- El rango de material adecuado para el reciclado con asfalto espumado presenta una pendiente ligera del cual se interpreta el requerimiento de un material adecuadamente graduado. Sin embargo, el material que utiliza la emulsión asfáltica tolera mayor diversificación.
- El Asfalto Espumado permite entre 5% y casi 20% de material fino, mientras que la Emulsión Asfáltica demanda entre 3% y 15%, lo cual se interpreta que el material filler adicional que exigen se encuentren siendo aproximadamente una cantidad similar.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las ventajas técnicas reportadas y analizadas demostraron que la técnica del RPAE es una alternativa válida ante una técnica convencional, las cuales fueron las siguientes:

- 1) El rendimiento diario que se obtuvo al aplicar la Técnica del RPAE, en las carreteras de estudio, fue alto y favorable en comparación a la aplicación de una Técnica Convencional, ya que se empleó aproximadamente la mitad del tiempo.
- 2) La demora en aperturar el tránsito no fue un obstáculo durante la ejecución del mantenimiento en la carretera Conococha-Yanacancha, ya que su proceso constructivo no interfirió con el paso de los vehículos por media calzada debido al mayor ancho de la vía, por otro lado, la carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco-Tingo María - Dv.Tocache permitió la apertura todas las tardes después de la jornada sin inconvenientes para el reciclado recién trabajado, ya que la vía era de menor ancho. De esta manera, fue posible reducir la interrupción del tráfico.
- 3) 3) La resistencia estructural superó los límites mínimos indicados en los expedientes de cada carretera, mediante los ensayos de Deflectometría y Tracción Indirecta, demostrando así la resistencia de la base estabilizada.
- 4) El estado actual en el cual se encuentra la carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – DV. Tocache fue evaluado en el año 2013. Según la escala PCI se clasifica como “MALO”, alcanzando un valor de 32, lo cual es resultado de haber utilizado un Slurry Seal de 9mm como carpeta de rodamiento siendo la carretera parte de la vía central del Perú que recibe frecuentemente tráfico pesado. De esa manera, no alcanza el valor mínimo de 55 como indicador del buen comportamiento funcional del pavimento. Se recomienda que sobre la base estabilizada se coloque un Tratamiento Superficial o una Carpeta Asfáltica, que brinde mejor desempeño estructural.
- 5) La evaluación del estado de la carretera Conococha – Yanacancha fue en el año 2013, está clasificado según la escala del PCI como “BUENO”, resultado de una base estabilizada y una superficie de rodamiento a nivel TSB (Tratamiento Superficial Bicapa), que garantizaron seguridad y confort para el tráfico pesado al cual estuvo sometida, encontrándose además en un clima adverso. Por consiguiente, supera el valor mínimo de 55 como indicador del buen comportamiento funcional del pavimento.

Las ventajas ambientales reportadas y analizadas indicaron que la técnica del RPAE es amable con el medio ambiente, tales como:

- 6) Ambas carreteras evaluadas presentaron 0.00 m<sup>3</sup> de material eliminado de base granular y de la superficie de rodadura existente en la vía, lo cual no generó residuos contaminantes.

- 7) La técnica del reciclado no necesita obtener material granular nuevo para base, ya que reutiliza material existente, por consiguiente, para el caso de la carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – DV. Tocache se consiguió ahorrar, en relación a lo que hubiese requerido una Técnica Convencional, 430,169.45 m<sup>3</sup> y para la carretera Conococha-Yanacancha 259,200 m<sup>3</sup> de material nuevo.
- 8) La emisión de polvo fue mucho menor aplicando la técnica del RPAE, ya que la recicladora Wirtgen, que se usó en ambas carreteras, realizó el mezclado en su cámara interna o bóveda de mezcla, lo cual generó un proceso menos nocivo.
- 9) La emisión de CO<sub>2</sub> fue medida durante la ejecución del mantenimiento de la carretera Conococha – Yanacancha, llegando a emitir el 33% de lo que una Técnica Convencional habría emitido, por lo cual el contratista obtuvo el premio “Sumajg” entregado por Antamina.

Las ventajas económicas, por usar la técnica del RPAE, fueron de gran influencia para catalogar estos proyectos de mantenimiento en proyectos sostenibles, las cuales son:

- 10) Hubo un ahorro económico importante por utilizar el RPAE al no eliminar material excedente ni comprar material nuevo para base.
- 11) Se establece un ahorro económico en cuanto al costo de consumo de insumos (mano de obra, materiales y maquinaria) al aplicar el RPAE con respecto a la Técnica Convencional. En la carretera La Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – DV. Tocache se consigue una disminución del 18% respecto a la Técnica Convencional y en la carretera Conococha-Yanacancha se logra una disminución del 50%.
- 12) Debido al alto rendimiento de la Técnica RPAE, el tiempo de ejecución para las dos obras en estudio fue mucho menor con respecto a la Técnica Convencional, lo cual generó un ahorro notable en gastos generales. La carretera La Oroya–Chicrín–Huánuco–Tingo María–DV. Tocache consiguió un ahorro de aproximadamente S/.4,001,012.00 en gastos generales y la carretera Conococha-Yanacancha alcanzó un ahorro de S/.7, 207,807.86.
- 13) Se trata de valores importantes en cuanto refiere al ahorro energético en el consumo de combustible y horas máquinas. En la carretera La Oroya–Chicrín–Huánuco–Tingo María–DV. Tocache se utilizó el 20% de horas máquina en relación a una técnica convencional y en la carretera Conococha-Yanacancha se ahorró el 85%. En combustible, se consumió 65% y 70% menos, respectivamente.

El RPAE resultó ser una buena alternativa para una Técnica similar tal y como es el Reciclado del Pavimento con Emulsión Asfáltica.

- 14) El material reciclado con asfalto espumado puede ser abierto al tráfico inmediatamente, en cambio, con emulsión se debe esperar que la mezcla quiebre para obtener su máxima resistencia.

- 15) El asfalto espumado puede tratar materiales de porcentajes de humedad relativamente altos, ya que no es necesario agregar agua adicional, la emulsión asfáltica lleva un % de agua por lo cual el control del contenido de humedad debe ser más estricto.
- 16) El rango de calidad de material necesario para aplicar el reciclado con emulsión es menos estricto que el necesario para aplicar el reciclado con asfalto espumado.
- 17) La emisión de gases contaminantes es menor al emplear emulsión asfáltica, ya que su temperatura de aplicación es mucho menor que la del asfalto espumado.
- 18) El Asfalto Espumado utiliza como ligante asfáltico solo el CAP, el cual es más económico que la Emulsión Asfáltica, debido a que éste tiene que transportar, además del asfalto residual, un 40% de agua. Y si la preparación es in-situ, se incrementaría la utilización de insumos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Consultora Néstor Huamán & Asociados (2013), *Revista Construyendo Caminos* (8a. ed.), Lima, Perú.
2. Faúnde, R. A. (2011). *Estimación del Coeficiente Estructural del Asfalto Espumado mediante el análisis de Deflectometría FWD*. Tesis para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
3. Fernández, J.M. (2007). *Estudio Definitivo y Ejecución de la Carretera Conococha-Yanacancha*, Tesina para optar por el título de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
4. Galvis, W. M. (2013). *Reciclado de Pavimentos, Tecnología Moderna para el Mantenimiento de las Carreteras "Proyecto Perú - Gestión y Consevación Vial por Niveles de Servicio Aplicación de Nuevas Tecnologías" Carretera La Oroya - Huánuco - Tingo María - EMP. 5N (Dv. Tocache)*. Conalvías S.A. Sucursal Perú, Lima, Perú.
5. Huamán, N. (2011). *Manual de Pavimentos*, Universidad Ricardo Palma, Lima. Perú.
6. Huamán, N., Nosetti, A., Chang, C., Eguiluz, G., Zecenarro, M. (2013), *Aplicación de Tecnologías en Uso a Nivel Mundial*, II Simposio Internacional de Pavimentos, Colegio de Ingenieros, Lima, Perú.
7. Ibáñez, W. (2011). *Costos y Tiempos en Carreteras (2a. ed.)*, Lima, Perú: Macro.
8. Orellana, R. (2002). Asfalto Espumado. Tecnología y Aplicaciones. *Infraestructura Vial Revista del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad de Costa Rica*, 5 (3), 26-29.
9. Manual de Reciclado en Frio- WirtgenGmbH (2004), Windhagen, Alemania.
10. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013*, (pp. 747–771). Lima, Perú.
11. *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en caliente del Asphalt Institute*. Serie de Manuales N° 22 (MS-22).

12. Ramírez, V. *Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas y los Asfaltos Diluidos en mezclas Asfálticas en frío Utilizando agregados del Río Aguaytía-Ucayali*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, UNI, Lima, Perú.
13. Robles, R. A. (2009). *Guía para Diseñar la Rehabilitación de una Ruta mediante el uso de Asfalto Espumado; Reciclando el Pavimento Asfáltico existente*. Tesis para optar el título de Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
14. Vásquez, R. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras*, Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
15. Wulf, F. A. (2008). *Análisis de Pavimento Asfáltico Modificado con Polímero*. Tesis para optar el título de Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

## PÁGINAS WEB

1. Aberasturi, B. (2007). *El Transporte de Carga en el Perú*. Recuperado de [http://www.mtc.gob.pe/portal/consultas/cid/Boletines\\_CID/25\\_Agosto/ARCHIVO/transporte/descargar.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/consultas/cid/Boletines_CID/25_Agosto/ARCHIVO/transporte/descargar.pdf)
2. Álvarez, M. (2005). *Origen de Asfalto*. Recuperado de [http://www.e-asfalto.com/orig\\_asf/origenasf.htm](http://www.e-asfalto.com/orig_asf/origenasf.htm)
3. AlvaroGonzalez, MiskoCubrinovski, Bryan Pidwerbesky, David Alabaster. (2012). *Desempeño de pavimentos estabilizado con asfalto espumado en una prueba de pavimentos a escala real y carga acelerada*. Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732012000200001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732012000200001&script=sci_arttext)
4. Botasso, H.G. (1); Cuattrocchio, A.C. (2); Rebollo, O.R. (3); Soengas C. J. (4). (2011). *Reciclado de pavimentos asfálticos en frío. Una forma de utilizar totalmente el RAP para el mantenimiento y rehabilitación de la red caminera*. Recuperado de [http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2008\\_Reciclado-de-Pavimentos-Asf%C3%A1lticos-en-Fr%C3%ADo-6%C2%BAPROCQMA.pdf](http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2008_Reciclado-de-Pavimentos-Asf%C3%A1lticos-en-Fr%C3%ADo-6%C2%BAPROCQMA.pdf)
5. Chávez, I. (2013). *Las Emulsiones Asfálticas*. Recuperado de [http://www.camohesa.com/las\\_emulsiones\\_asfalticas.html](http://www.camohesa.com/las_emulsiones_asfalticas.html)

6. Chávez, I. (2013). *Estudios Definitivos de Ingeniería para la Evaluación de Pavimentos Economicos de Carreteras de Bajo Trafico de la Red Vial Nacional – Proyecto Piloto Carretera Patahuasi – Yauri– Sicuani. Tramo: YAURI – SAN GENARO L = 11.36 KM*. Recuperado de [http://www.camohesa.com/pavimentos\\_economicos.html](http://www.camohesa.com/pavimentos_economicos.html)
7. *El Asfalto*. Recuperado de [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_130\\_181\\_83\\_1178.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_130_181_83_1178.pdf)
8. Gómez, A. (2011). *Fabricando y Colocando de Asfalto*. Recuperado de <http://www.revistaconstruir.com/maquinaria-en-accion/562-fabricando-y-colocando-de-asfalto>
9. Ingeniería DICTUC, Centro de Ingeniería e Investigación Vial. (2013). *VIII Seminario Internacional: Reciclado de Pavimentos Asfálticos Utilizando Tecnología de Asfalto Espumado*. Recuperado de <http://www.ciiiv.cl/noticias/viii-seminario-internacional-reciclado-de-pavimentos-asfalticos-utilizando-tecnologia-de-asfalto-espumado>
10. *La Química de los Asfaltos*. Recuperado de [https://docs.google.com/document/d/100lhnzjIEkOpQi5\\_1YXpthBb9zSOnDM6cP1gepuTHM8/preview?pli=1](https://docs.google.com/document/d/100lhnzjIEkOpQi5_1YXpthBb9zSOnDM6cP1gepuTHM8/preview?pli=1)
11. *Materiales Asfálticos*. Recuperado de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3271/Capitulo3.pdf>
12. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). *Obras en ejecución*. Recuperado de [http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Planes%20y%20Presupuesto/Intervencion\\_Red\\_Vial\\_2011/2011/CONTRATOSOBRAZYCONSER\\_30\\_Abr\\_11.pdf](http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Planes%20y%20Presupuesto/Intervencion_Red_Vial_2011/2011/CONTRATOSOBRAZYCONSER_30_Abr_11.pdf)
13. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2009). *La Oroya ChicrínHuanuco Tingo María Emp PE-5N*. Recuperado de [http://gis.proviasnac.gob.pe/proyectos/ProyPeru/proy\\_peru.asp?s\\_id\\_proyecto=00948&s\\_st\\_estado=2&s\\_id\\_areagerencia=0334](http://gis.proviasnac.gob.pe/proyectos/ProyPeru/proy_peru.asp?s_id_proyecto=00948&s_st_estado=2&s_id_areagerencia=0334)
14. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2012). *Intervenciones en la Red Vial Nacional*. Recuperado de [http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Documentos\\_de\\_Interes/2012/DO](http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Documentos_de_Interes/2012/DO)

[CUMENTO INTERNO/Red Vial Nacional PERU RTT junio2012 20120820.pdf](#)

15. Petroperú. (2008). *Asfaltos*. Recuperado de <http://www.petroperu.com.pe/portalweb/Main.asp?Seccion=68>
16. Petroperú. *Asfaltos Líquidos*. Recuperado de [http://asfaltos.petroperu.com.pe/descrip\\_03b.html](http://asfaltos.petroperu.com.pe/descrip_03b.html)
17. Pajuelo, C. F. (2008). *Importancia de la Imprimación Asfáltica en Carreteras*. Recuperado de <http://www.slideshare.net/CarlosPajuelo/imprimacionasfalticaencarreteras>
18. Repsol. (2000). *Emulsiones Asfálticas*. Recuperado de [http://www.repsol.com.pe\\_es/productos\\_y\\_servicios/productos/peasfaltos/productos/easfalticas/](http://www.repsol.com.pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/easfalticas/)
19. Rodriguez, R. y Castaño, V.M. (2001). *Emulsiones Asfálticas*. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>
20. Rolando, F.E. (2002). *Estudio Comparativo entre Mezclas Asálticas con Dilúido RC-250 y Emulsión*. Recuperado de [http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1334/ICI\\_076.pdf](http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1334/ICI_076.pdf)
21. Pontificia Universidad Católica de Chile. (2013). *Seminario analizó las técnicas para el reciclaje de los pavimentos*. Recuperado de <http://www.uc.cl/es/la-universidad/noticias/10358-seminario-analizo-las-tecnicas-para-el-reciclaje-de-los-pavimentos>

## ANEXOS

### ANEXO A6: Partida: Material Base (preparación y explotación)

Por: Ingeniero William Mauricio Galvis Castillo

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Partida MATERIAL BASE (PREPARACION Y EXPLOTACION)</b>						
Rendimiento	<b>m3/DIA</b>	<b>448</b>	<b>EQ.</b>	<b>448</b>	Costo unitario directo por : m3	<b>25.77</b>
<b>Rento. Cantera Carmen o Chinchavito &lt; 3" : 65%</b>						
<b>Mano de Obra</b>						
147010001	OPERARIO JEFE DE CRUPO	hh	1	0.0179	14.98	0.27
147010002	OPERARIO	hh	1	0.0179	14.98	0.27
147010004	PEON	hh	2	0.0357	11.9	0.42
						<b>0.96</b>
<b>Equipos</b>						
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.03	0.96	0.03
	EXCAVADORA SOBRE ORUGA 170-250 HP	hm	1	0.0179	286.55	5.13
	ZARANDA VIBRATORIA	hm	1.1	0.0196	253.98	4.98
	GRUPO ELECTROGENO 100 kw	hm	1.63	0.0291	129.58	3.77
	VOLQUETE 15M3	hm	2	0.0357	203.36	7.26
	CARGADOR FRONTAL 160-195 HP	hm	1	0.0179	203.36	3.64
						<b>24.81</b>

## ANEXO B6: Cálculo del ciclo de tiempo de transporte para 10 km

CÁLCULO DEL CICLO DE TIEMPO DE TRANSPORTE PARA UN VOLQUETE DE 15 M3		
DISTANCIA	10	Km
VELOC. C/CARGA	40	Km/hora
VELOC. S/CARGA	50	Km/hora
Tcarga	0.0833	horas
Tdescarga	0.0333	horas
Tida	0.2000	horas
Tretorno	0.2500	horas
T ciclo	0.5667	horas
Eficiencia 80% Jornada	6.4000	horas
Nº de viajes	11	1 Volquete
Nº Volquetes nec	1	unidades

Rendimiento	169.41	/DÍA
-------------	--------	------

## ANEXO C6: A.P.U. de Base: extendido, Riego y Compactación

Sustento que apoya la obtención de la cuadrilla en cada recurso. Sin embargo, el Rendimiento corresponde a una motoniveladora de 140HP para una altura de trabajo de 2550 msnm promedio, por ende, el rendimiento es 2090 m2/día.

<b>BASE: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m</b>						
<b>m2/DIA</b>	<b>1,872.0000</b>	<b>EQ.</b>	<b>1,872.0000</b>	<b>Costo unitario directo por : m2</b>	<b>19.18</b>	
<b>Descripción Recurso</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>						
OFICIAL		hh	1.0000	0.0043	14.56	0.06
PEON		hh	6.0000	0.0256	13.11	0.34
						<b>0.40</b>
<b>Materiales</b>						
MATERIAL CLASIFICADO PARA BASE 80% + 20% DE PIEDRA CHANCADA		m3		0.2400	70.00	16.80
						<b>16.80</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	0.40	0.01
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl		hm	1.0000	0.0043	140.00	0.60

RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton	hm	1.0000	0.0043	140.00	0.60
MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0043	180.00	0.77
					<b>1.98</b>

## ANEXO D6: Cálculo de cantidades de materiales

### A PARTIR DEL CONSUMO DIARIO:

<b>Asfalto PEN 85/100</b>	17 000 galones
<b>Cemento</b>	550 bolsas
<b>Agua para espumado</b>	16 000 galones
<b>Agua para compactado</b>	
<b>Combustible Diesel</b>	750 galones

SE TIENE:

### CANTIDAD DE ASFALTO

	<b>Asfalto</b>
Cantidad de Insumo/día	17000
Rendimiento promedio (m)	1000
Ancho calzada (m)	6.6
Longitud carretera (m)	199370
Cantidad total	<b>3,389,290.00</b>
Ratio gal/m <sup>2</sup>	2.58
Precio S/.	8.75
Costo total	<b>S/. 29,656,287.50</b>

### CANTIDAD DE CEMENTO

	<b>Cemento</b>
Cantidad de Insumo/día	550
Rendimiento promedio (m)	1000
Ancho calzada (m)	6.6
Longitud carretera (m)	199370
Cantidad total	<b>109,653.50</b>
Ratio bls/m <sup>2</sup>	0.0833
Precio S/.	20
Costo total	<b>S/. 109,653.50</b>

CANTIDA DE AGUA (DE COMPACTACIÓN Y DE ESPUMADO)

	<b>Agua (M3)</b>
Cantidad de Insumo/día	-
Rendimiento promedio (m)	1000
Ancho calzada (m)	6.6
Longitud carretera (m)	199370
Cantidad total	<b>19,273.80</b>
Ratio lt/m2	14.6475
Precio S/.	0.18
Costo total	<b>S/. 3,469.28</b>

La cantidad total de agua es el resultado de la aplicación del siguiente formato en excel, a continuación se muestra, el cual da a conocer el procedimiento del cálculo de la cantidad de recursos que intervienen en la Técnica del Reciclado con Asfalto Espumado.

FORMATO EN EXCEL PARA EL CÁLCULO DE CANTIDADES DE RECURSOS

<b>Opción : Base Reciclada estabilizada con asfalto espumado</b>		
<b>Espesor de reciclado</b>	<b>150</b>	<b>mm</b>
<b>Porcentaje de cemento</b>	<b>1.00</b>	<b>%</b>
<b>Porcentaje de asfalto</b>	<b>2.50</b>	<b>%</b>

Ingresando el PU del material, de 2170 kg/m<sup>3</sup> y los porcentajes de dosificación del agua para espumado (2%) y para compactado (2.5%), se logra una cantidad total por m<sup>2</sup> de 14.6475.

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>		
<b>1</b>	<b>Reciclado a 150 mm de profundidad</b>	<b>m2</b>	<b>1.0000</b>	<b>ESPUMADO</b>	<b>COMPACTADO</b>
<b>4</b>	<b>Agua</b>	<b>l</b>	<b>14.6475</b>	<b>6.5100</b>	<b>8.1375</b>
4a	Para Espumado	%	2.0000		
4b	Para Compactación	%	2.5000		
Total	Cantidad total de agua	%	4.5000		
	Peso de material por m <sup>3</sup>	kg	325.5000		
	<b>Cantidad total de agua</b>	<b>m3</b>	<b>0.0146</b>		

Agua total para una superficie de 1km de longitud x 6.6 m de ancho de calzada:  $6,600.00 * 14.6475 = 96,673.50$  lt/km <> **96.67 m<sup>3</sup>/km**

Agua total para 199.37km, longitud real de reciclado:  $96.67\text{m}^3/\text{km} * 199.37\text{km} = \mathbf{19,273.80\text{ m}^3}$

En cuanto al precio del agua, se registra como fuente de abastecimiento el río, para esto, la empresa tuvo que pagar anualmente S/. 5,000.00, resultando de esta manera un precio por m<sup>3</sup> de S/. 0.18.

PRECIO ANUAL: S/. 5,000.00

PRECIO MENSUAL: S/. 416.67

PRECIO SEMANAL (4 SEMANAS POR MES): S/. 104.17

PRECIO DIARIO (6 DÍAS POR SEMANA): S/. 17.36

El avance es 1000m o 1km y el consumo de agua en m<sup>3</sup>/km es 96.67, por lo tanto,  $S/. 17.36 / 96.67m^3 = S/. 0.18 /m^3$

#### CANTIDAD DE COMBUSTIBLE

- Técnica del Reciclado con Asfalto Espumado

El siguiente cuadro muestra la lista de maquinaria con relación a las Horas Máquina Total que se consume a partir del análisis de precios unitarios para el metradocorrespondiente de 1, 268,949.00 m<sup>2</sup>. El consumo glns/hora son datos aproximados considerados por el Ing. William Mauricio Galvis Castillo.

**RPAE**

BASE RECICLADA (RAP) E=150 mm

RECURSO	HM TOTAL	CONSUMO glns/h	CONSUMO TOTAL (glns)
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	3,045	5.00	15,227.39
CAMION CISTERNA (ASFALTO) 8000 glns	3,045	10.00	30,454.78
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton y 14 Ton	3,045	6.25	19,034.24
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	1,523	7.50	11,420.54
MAQUINA RECICLADORA WIRTGEN 2500 S	1,523	31.25	47,585.59
BARREDORA MECÁNICA 10-20 HP	3,045	5.00	15,227.39
MOTONIVELADORA DE 140 HP	3,045	10.00	30,454.78
CAMIÓN PARA CEMENTO 12 Ton	1,523	5.00	7,613.69
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO PEN	1,523	25.00	38,068.47
			<b>215,086.86</b>

El área para Reparaciones en Zonas Críticas es 46, 893.00 m2.

BASE RECICLADA (RAP) Eprom=220 mm (REPARACIONES EN ZONAS CRITICAS)

RECURSO	HM TOTAL	CONSUMO glns/h	CONSUMO TOTAL (glns)
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	113	5.00	562.72
CAMION CISTERNA (ASFALTO) 8000 glns	113	10.00	1,125.43
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton y 14 Ton	113	6.25	703.40
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	56	7.50	422.04
MAQUINA RECICLADORA WIRTGEN 2500 S	56	31.25	1,758.49
BARREDORA MACÁNICA 10-20 HP	113	5.00	562.72
MOTONIVELADORA DE 140 HP	113	10.00	1,125.43
VOLQUETE 15 m3 - 330 HP	5,909	4.00	23,634.07
CARGADOR FRONTAL 160-195 HP	1,182	4.00	4,726.81
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO PEN	56	25.00	1,406.79
			<b>36,027.89</b>

Total (glns)	251,114.75
--------------	------------

- Técnica Convencional

Los cuadros muestran, también, la lista de maquinaria empleada para la aplicación de la Técnica Convencional. El consumo total en galones resulta de la relación directa de las Horas Máquina Total de cada insumo y el Consumo de galones/hora.

ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE (INCLUYE CARGUÍO Y TRANSPORTE) PARA 10Km			
RECURSO	HM Total	CONSUMO glns/h	CONSUMO TOTAL (glns)
RETROEXCAVADORA SOBRE ORUGAS CAT 320	25154	5.00	125,768.20
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	25154	4.00	100,614.56
			<b>226,382.76</b>
TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR A OBRA PARA 31 Km			
RECURSO	HM Total	CONSUMO glns/h	CONSUMO TOTAL (glns)
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	55956	4.00	223,824.72
CARGADOR FRONTAL 160-195 HP	11191	5.00	55,956.18
			<b>279,780.91</b>
BASE GRANULAR: EXTENDIDO, RIEGO Y COMPACTACIÓN E=0.25 m			
RECURSO	HM Total	Consumo glns/h	Consumo glns/h
MOTONIVELADORA DE 140 HP	5623	10.00	56,232.56
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 11 Ton y 14 Ton	5623	6.25	35,145.35
RODILLO NEUMATICO 28 Ton	5623	7.50	42,174.42
CAMION CISTERNA (AGUA) 4000 glns	5623	5.00	28,116.28
BARREDORA MECÁNICA	11247	5.00	56,232.56
			<b>217,901.19</b>
		<b>Total (glns)</b>	<b>724,064.85</b>

ANEXO E6: A.P.U. de la partida reciclado con asfalto espumado e=150mm

Partida		RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO E=150MM				
Rendimiento	m2/DIA	6,600.00	EQ.	6,600.00	Costo unitario directo por : m2	15.74
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
147010001	OPERARIO JEFE DE CRUPO	hh	1	0.0016	14.98	0.02
147010002	OPERARIO	hh	1	0.0063	14.98	0.09
147010003	OFICIAL	hh	1	0.0127	11.90	0.15
147010004	PEON	hh	6	0.0389	9.66	0.38
<b>Materiales</b>						
	CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100	gl		1.47	5.23	7.68
	FILLER	kg		1.12	0.48	0.54
	PETROLEO	gl		0.1	8.84	0.88
	EMULSION ASF. MODIFICADA CSE-1HP	gl		0.1	11.96	1.2
<b>Equipos</b>						
	HERRAMIENTAS	hm	%	0.05	0.64	0.03

MANUALES					
RECICLADORA	hm	1	0.0016	513.1	0.82
CISTERNA TERMICAS PEN 8,000 gal	hm	2	0.0032	155.45	0.5
CISTERNAS AGUA					
4000 GAL	hm	2	0.0032	155.45	0.5
CALDERO CALENTAMIENTO Y					
CISTERNAS 8000 GAL	hm	1	0.0016	43.74	0.07
GRUPO					
ELECTROGENO	hm	2	0.0032	129.58	0.41
BARREDORA					
MECANICA	hm	2	0.0032	82.58	0.26
MOTONIVELADORA					
140H	hm	2	0.0032	269.5	0.86
RODILLO LISO AUTOPROPULSADO 11					
y 14TON	hm	2	0.0032	238.39	0.76
RODILLO					
NEUMATICO 28TON	hm	1	0.0016	222.85	0.36
CAMION P/CEMENTO					
12 TON	hm	1	0.0016	68.75	0.11
COMPRESORA					
NEUMATICA	hm	1	0.0016	74.8	0.12
					<b>4.80</b>

## ANEXO F6: Cálculo del ciclo de tiempo de transporte para 31 km

### CALCULO DEL CICLO DE TIEMPO DE TRANSPORTE PARA UN VOLQUETE DE 15 M3

DISTANCIA	31	Km
VELOC. C/CARGA	40	Km/hora
VELOC. S/CARGA	50	Km/hora
Tcarga	0.0833	horas
Tdescarga	0.0333	horas
Tretorno	0.6200	horas
Tida	0.7750	horas
<hr/>		
T ciclo	1.5117	horas
<hr/>		
Eficiencia 80% Jornada	6.4000	horas
N° de viajes	4.2337	1 Volquete
N° Volquetes nec	1	unidades

RENDIMIENTO

63.51

/DÍA

ANEXO G6: Monto Total en Gastos Generales por el Ingeniero William Mauricio Galvis  
Castillo

**CRONOGRAMA VALORIZADO PROYECTO 835 CONSIDERANDO PLAZO DE VIGENCIA DE CONTRATO**

N°	Tramo	Partida	Unidad	Long.	P.U. (Km)	Presupuesto Anual	Presupuesto Mensual	Periodo	Periodo	Total
				Reales	S/.	S/.	S/.	años	meses	S/.
19	La Oroya-Chicrín-Huánuco-Tingo María-Dv. Tocache	Relevamiento Informacion	km	371.100	4,861.59	1,804,135.39	150,344.62	2.86	34.33	5,161,388.91
20	La Oroya-Chicrín-Huánuco-Tingo María-Dv. Tocache	Emergencias	Global	1.00	1,520,630.25	1,520,630.25	126,719.19	2.66	31.89	4,041,119.26
		Emergencia vial Refuerzo estructural y mayor espesor reciclado Tramo 5			2,760,642.69					
21	La Oroya-Chicrín-Huánuco-Tingo María-Dv. Tocache	Gastos Generales	Mes	12.00	500,126.50	6,001,518.05	500,126.50	2.86	34.27	17,137,123.98
		<b>Total sin IGV</b>								<b>102,179,741.25</b>
		<b>IGV</b>				<b>Considera el 19% hasta ene-11 y 18% a apartir de Feb-11</b>				<b>19,414,150.84</b>
		<b>Total con IGV</b>								<b>121,593,892.09</b>
		Porcentajes								100.00%
		Porcentajes Acumulados								
						<b>MONTO CONTRATADO</b>				<b>121,593,892.09</b>
										<b>VERIFICAC.</b>

## ANEXO H6: Formato de cálculo realizado en el Software

COD	DATE	ABS I	ABS F	UNIT	AREA	FL1	FM1	FH1	FL2	FM2	FH2	FL3	FM3	FH3	FL4	FM4	FH4	FL5	FM5	FH5	FL6
1	12/11/2013	10150	10200	1	297	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10200	10250	2	297	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10250	10300	3	297	0	0	0	0	0	0	13.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10300	10350	4	297	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10350	10400	5	297	0	0	0	0	0	0	4.2	18.45	11.88	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10400	10450	6	297	21.6	81	0	0	0	0	5.4	16.2	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10450	10500	7	297	0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10500	10550	8	297	3.24	113.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10550	10600	9	297	38.1	16.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10600	10650	10	297	0	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10650	10700	11	297	47.3	29.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10700	10750	12	297	0	43.2	0	0	0	0	21.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10750	10800	13	297	0	0	0	0	0	0	25.3	62.1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10800	10850	14	297	0	43.2	0	0	0	0	0	1.95	0	0	0	0	0	0	0	0
1	12/11/2013	10850	10900	15	297	0	99.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



## Resultados Software

### Sección 1

```
PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :    12/11/2013
Abscisa inicial :    K10+150.00
Abscisa final  :    K10+200.00
Unidad       :      001
Área unidad -m² :    297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
13.Huecos (L)      - un:      015.00      005.05      0044.2
Número de deducidos: 1
=====
Daño      valor deducido
=====
13.Huecos (L)      044.2
valor deducido más alto      : 044.2
Sólo un valor deducido (o ninguno) es mayor que 2.
valor deducido corregido CDV:      044.23
=====
PCI Sección      : 056 Bueno
```

Sección 2

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_v1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :    12/11/2013
Abscisa inicial :    K10+200.00
Abscisa final  :    K10+250.00
Unidad       :      002
Área unidad -m² :    297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
11.Parcheo-acometida (M) - m²:    000.31      000.11      0003.8
13.Huecos (L) - un:    013.00      004.38      0042.0
15.Ahuelamiento (L) - m²:    005.13      001.73      0012.7
Número de deducidos: 3
=====
Daño          valor deducido
=====
13.Huecos (L)      042.0
15.Ahuelamiento (L) 012.7
11.Parcheo-acometida (M) 003.8

Valor deducido más alto      : 042.0
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 06.33
=====
PCI Sección          : 054 Regular

```

### Sección 3

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+250.00
Abscisa final  :      K10+300.00
Unidad       :      003
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
03.Agriet. en bloque (L) - m²:      013.86      004.67      0004.7
11.Parcheo-acometida (L) - m²:      009.51      003.20      0007.0
11.Parcheo-acometida (M) - m²:      004.95      001.67      0013.0
13.Huecos (L) - un:      031.00      010.44      0054.9
19.Desprendimiento (L) - m²:      019.00      006.40      0003.8
Número de deducidos: 5
=====
Daño      valor deducido
=====
13.Huecos (L)      054.9
11.Parcheo-acometida (M)      013.0
11.Parcheo-acometida (L)      007.0
03.Agriet. en bloque (L)      004.7
19.Desprendimiento (L)      003.8
Valor deducido más alto      : 054.9
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 05.14
=====
PCI sección      : 037 Malo

```

Sección 4

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección : 12/11/2013
Abscisa inicial : K10+300.00
Abscisa final  : K10+350.00
Unidad       :      004
Área unidad -m² : 297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      003.20      001.08      0021.6
07.Grieta de borde (M)   - m :      031.50      010.61      0014.2
10.Griet lon. y tran.(M) - m :      003.00      001.01      0002.4
10.Griet lon. y tran.(H) - m :      002.00      000.67      0006.0
11.Parqueo-acometida (M) - m²:      000.60      000.20      0004.5
13.Huecos (L)            - un:      031.00      010.44      0054.9
13.Huecos (H)           - un:      005.00      001.68      0063.0
=====
Número de deducidos: 7
=====
Daño          valor deducido
=====
13.Huecos (H)      063.0
13.Huecos (L)      054.9
01.Piel de cocodrilo (M) 021.6
07.Grieta de borde (M)  014.2
10.Griet lon. y tran.(H) 006.0
11.Parqueo-acometida (M) 004.5
10.Griet lon. y tran.(M) 002.4

valor deducido más alto      : 063.0
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 04.40
=====
PCI sección      : 014 Muy malo

```

Sección 5

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía  :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+350.00
Abscisa final  :      K10+400.00
Unidad      :      005
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
03.Agriet. en bloque (L) - m²: ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 1.41%
03.Agriet. en bloque (M) - m²:      018.45      006.21      0012.7
03.Agriet. en bloque (H) - m²:      011.88      004.00      0017.0
11.Parcheo-acometida (L) - m²:      004.50      001.52      0003.4
13.Huecos (L)      - un:      001.00      000.34      0007.9
Número de deducidos: 4
=====
Daño      valor deducido
=====
03.Agriet. en bloque (H)  017.0
03.Agriet. en bloque (M)  012.7
13.Huecos (L)      007.9
11.Parcheo-acometida (L)  003.4
valor deducido más alto      : 017.0
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 08.62
=====
PCI Sección      : 076 Muy bueno

```

Sección 6

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+400.00
Abscisa final  :      K10+450.00
Unidad       :      006
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (L) - m²:      021.60      007.27      0029.5
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      081.00      027.27      0059.6
03.Agriet. en bloque (L) - m²: ERROR! Densidad fuera de (2%-100%) 1.82%
03.Agriet. en bloque (M) - m²:      016.20      005.45      0011.9
07.Grieta de borde (H) - m :      002.05      000.69      0008.6
11.Parcheo-acometida (M) - m²:      000.42      000.14      0004.0
13.Huecos (L) - un:      007.00      002.36      0032.3

Número de deducidos: 6

=====
Daño      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M)  059.6
13.Huecos (L)            032.3
01.Piel de cocodrilo (L)  029.5
03.Agriet. en bloque (M)  011.9
07.Grieta de borde (H)   008.6
11.Parcheo-acometida (M)  004.0

Valor deducido más alto      : 059.6
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 04.71
=====

PCI Sección      : 023 Muy malo
  
```

Sección 7

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+450.00
Abscisa final  :      K10+500.00
Unidad       :      007
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      135.00      045.45      0066.5
11.Parcheo-acometida (M) - m²:      000.60      000.20      0004.5
=====
Número de deducidos: 2
=====
Daño      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M)  066.5
11.Parcheo-acometida (M)  004.5

valor deducido más alto      : 066.5
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 04.08
=====
PCI sección      : 032 Malo
    
```

## Sección 8

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+500.00
Abscisa final  :      K10+550.00
Unidad       :      008
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (L) - m²:      003.24      001.09      0010.7
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      113.40      038.18      0064.1
11.Parcheo-acometida (M) - m²:      002.55      000.86      0009.4
13.Huecos (L) - un:      020.00      006.73      0048.7
13.Huecos (M) - un:      001.00      000.34      0014.8
13.Huecos (H) - un:      001.00      000.34      0033.3
Número de deducidos: 6
=====
Daño      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M) 064.1
13.Huecos (L) 048.7
13.Huecos (H) 033.3
13.Huecos (M) 014.8
01.Piel de cocodrilo (L) 010.7
11.Parcheo-acometida (M) 009.4
valor deducido más alto : 064.1
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 04.29
=====
PCI sección : 011 Muy malo

```

Sección 9

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

```

=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+550.00
Abscisa final  :      K10+600.00
Unidad       :      009
Área unidad -m² :      297.00
    
```

```

=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (L) - m²:      038.07      012.82      0035.1
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      016.83      005.67      0039.3
13.Huecos (L) - un:      016.00      005.39      0045.2
    
```

Número de deducidos: 3

```

=====
Daño      valor deducido
=====
13.Huecos (L)      045.2
01.Piel de cocodrilo (M)      039.3
01.Piel de cocodrilo (L)      035.1
    
```

valor deducido más alto : 045.2

Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 06.03

```

=====
PCI Sección      : 026 Malo
    
```

Sección 10

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+600.00
Abscisa final  :      K10+650.00
Unidad       :      010
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      005.50      001.85      0027.4
13.Huecos (M) - un:      001.00      000.34      0014.8
17.Grieta parabólica (M) - m²:      009.00      003.03      0025.4
Número de deducidos: 3
=====
Daño      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M)      027.4
17.Grieta parabólica (M)      025.4
13.Huecos (M)      014.8

valor deducido más alto      : 027.4
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 07.67
=====
PCI Sección      : 057 Bueno

```

Sección 11

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+650.00
Abscisa final  :      K10+700.00
Unidad       :      011
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      Valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (L) - m²:      047.25      015.91      0037.9
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      029.70      010.00      0046.1
08.Grieta ref. junta (M) - m :      006.00      002.02      0004.3
13.Huecos (L) - un:      009.00      003.03      0036.2
13.Huecos (M) - un:      001.00      000.34      0014.8
13.Huecos (H) - un:      005.00      001.68      0063.0
=====
Número de deducidos: 6
=====
Daño      valor deducido
=====
13.Huecos (H)      063.0
01.Piel de cocodrilo (M)      046.1
01.Piel de cocodrilo (L)      037.9
13.Huecos (L)      036.2
13.Huecos (M)      014.8
08.Grieta ref. junta (M)      004.3
=====
Valor deducido más alto      : 063.0
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 04.40
=====
PCI sección      : 005 Fallado

```

Sección 12

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección : 12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+700.00
Abscisa final  :      K10+750.00
Unidad       :      012
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      043.20      014.55      0051.1
03.Agriet. en bloque (L) - m²:      021.60      007.27      0006.5
13.Huecos (L) - un:      003.00      001.01      0019.0
13.Huecos (H) - un:      002.00      000.67      0044.7
Número de deducidos: 4
=====
Daño      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M) 051.1
13.Huecos (H) 044.7
13.Huecos (L) 019.0
03.Agriet. en bloque (L) 006.5
valor deducido más alto : 051.1
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 05.49
=====
PCI Sección : 027 Malo

```

## Sección 13

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+750.00
Abscisa final  :      K10+800.00
Unidad       :      013
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
03.Agriet. en bloque (L) - m²:      025.25      008.50      0007.1
03.Agriet. en bloque (M) - m²:      062.10      020.91      0023.5
13.Huecos (L) - un:      025.00      008.42      0052.3
13.Huecos (M) - un:      001.00      000.34      0014.8
13.Huecos (H) - un:      005.00      001.68      0063.0
Número de deducidos: 5
=====
Daño      valor deducido
=====
13.Huecos (H)      063.0
13.Huecos (L)      052.3
03.Agriet. en bloque (M)      023.5
13.Huecos (M)      014.8
03.Agriet. en bloque (L)      007.1
valor deducido más alto      : 063.0
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 04.40
=====
PCI sección      : 015 Muy malo

```

Sección 14

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX
Por: Luis Ricardo Vásquez Varela
Pavimentos asfálticos
=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+800.00
Abscisa final  :      K10+850.00
Unidad       :      014
Área unidad -m² :      297.00
=====
Daño (severidad) - unidad      Cantidad      Densidad(%)      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:      043.20      014.55      0051.1
03.Agriet. en bloque (M) - m²:      001.95      000.66      0000.6
13.Huecos (L)      - un:      021.00      007.07      0049.5
13.Huecos (H)      - un:      002.00      000.67      0044.7
Número de deducidos: 4
=====
Daño      valor deducido
=====
01.Piel de cocodrilo (M)      051.1
13.Huecos (L)      049.5
13.Huecos (H)      044.7
03.Agriet. en bloque (M)      000.6
valor deducido más alto      : 051.1
Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 05.49
=====
PCI sección      : 012 Muy malo

```

PROCESADOR AUTOMÁTICO DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX

Por: Luis Ricardo Vásquez Varela

Pavimentos asfálticos

```

=====
Archivo      :      C:\Documents and Settings\PERSONAL\Escritorio\PCI\PCI_HUANUCO_V1.csv
Código vía   :      1
Fecha inspección :      12/11/2013
Abscisa inicial :      K10+850.00
Abscisa final  :      K10+900.00
Unidad       :      015
Área unidad -m² :      297.00
=====
    
```

Daño (severidad) - unidad	Cantidad	Densidad(%)	valor deducido
01.Piel de cocodrilo (M) - m²:	099.90	033.64	0062.4
11.Parqueo-acometida (L) - m²:	001.95	000.66	0001.5
11.Parqueo-acometida (M) - m²:	001.56	000.53	0006.9
13.Huecos (L) - un:	010.00	003.37	0037.9

Número de deducidos: 4

Daño	valor deducido
01.Piel de cocodrilo (M)	062.4
13.Huecos (L)	037.9
11.Parqueo-acometida (M)	006.9
11.Parqueo-acometida (L)	001.5

valor deducido más alto : 062.4

Número admisible de deducidos (asfalto - carreteras): 04.45

PCI Sección : 027 Malo

# ANEXOS I6: Formato de cálculo realizado manualmente

## Sección 1

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFÁLTICO							
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO: III Chicrín-Huánuco 79.45 Km		3. FECHA: 12/11/2013			
4. ÁREA DE MUESTRA (m2) 2000*6.6 m = 13 200 m2		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m2		6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro			
7. CROQUIS				TIPOS DE FALLA			
				1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV. 11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA							
TIPO		9	13				
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L		1				
			1				
			1				
			1				
			1				
			1				
			1				
			1				
			1				
			1				
			1				
			1				
			1				
		M					
	H						
TOTAL SEVERID.	BAJO	0	15	0	0	0	0
	MEDIO	0	0	0.00	0	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)							
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES			
13	5.05	L	40				
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			40				
q=	1	PCI=	60	CLASIFICACION:	Bueno		
			$m = 1 + 9/98*(100 - HDV)$				
			m	6.51			
		40	80				
		0	2				
	TOTAL	40	82				
	q	1	0				
	CDV	40	0				
	PCI	60					
Unidad de Muestra:		Bueno					

Sección 2

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO							
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO: III Chicrín-Huánuco 79.45 Km		3. FECHA: 12/11/2013			
4. ÁREA DE MUESTRA 2000m*6.6 m = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m <sup>2</sup>		6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro			
7. CROQUIS			TIPOS DE FALLA				
			1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.		11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS		
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA							
TIPO		9	13	15	11		
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L		13	5.13			
	M				0.25		
	H				0.0625		
TOTAL SEVERID.	BAJO	0	13	5.13	0	0	0
	MEDIO	0	0	0.00	0.3125	0	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)							
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD AD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES			
13	4.38	L	41				
15	1.73	L	12				
11	0.11	M	4				
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			57				
q =	3	PCI =	55	CLASIFICACION:		Regular	
			$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$ $m = 6.42$				
		41	41	41			
		12	12	2			
		4	2	2			
TOTAL		57	55	45			
q		3	2	1			
CDV		37	41	45			
PCI		55					
Unidad de Muestra:			Regular				

### Sección 3

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO																																																							
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO: III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013																																																		
4. UNIDAD DE MUESTRA/ 2 000*6.6 = 13 200 m2		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro																																																		
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA																																																					
		1. PIEL DE COCODRILO		11. PARCHES																																																			
		2. EXUDACION		12. PULIMENTO DE AGREGADOS																																																			
		3. FISURA EN BLOQUE		13. HUECOS																																																			
		4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO		14. CRUCE DE LINEA FERREA																																																			
		5. CORRUGACIONES		15. AHUELLAMIENTO																																																			
		6. DEPRESIONES		16. DESPLAZAMIENTO																																																			
		7. GRIETA DE BORDE		17. GRIETA PARABOLICA																																																			
		8. FLEXION DE JUNTA		18. HINCHAMIENTO																																																			
		9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA		19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS																																																			
		10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.																																																					
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA																																																							
TIPO		13	15	3	18	10	19	11																																															
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	20		13.86			19.2	5.2																																															
		11						0.21																																															
	M							4.1																																															
	H							4.95																																															
TOTAL SEVERID.	BAJO	31	0	13.86	0	0	19.2	9.51																																															
	MEDIO	0	0	0.00	0	0	0	4.95																																															
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0																																															
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)																																																							
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES																																																			
13	10.44	L	61																																																				
3	4.67	L	5																																																				
11	3.20	L	8																																																				
	1.67	M	11																																																				
19	6.46	L	3																																																				
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			88																																																				
q=	5		PCI=	34		CLASIFICACION:	Malo																																																
$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$																																																							
				m	4.58																																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td>61</td> <td>61</td> <td>61</td> <td>61</td> <td>61</td> </tr> <tr> <td></td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>11</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL</b></td> <td>88</td> <td>87</td> <td>84</td> <td>78</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td><b>q</b></td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><b>CDV</b></td> <td>46</td> <td>49</td> <td>54</td> <td>56</td> <td>66</td> </tr> </table>									61	61	61	61	61		11	11	11	11	2		8	8	8	2	2		5	5	2	2	2		3	2	2	2	2	<b>TOTAL</b>	88	87	84	78	69	<b>q</b>	5	4	3	2	1	<b>CDV</b>	46	49	54	56	66
	61	61	61	61	61																																																		
	11	11	11	11	2																																																		
	8	8	8	2	2																																																		
	5	5	2	2	2																																																		
	3	2	2	2	2																																																		
<b>TOTAL</b>	88	87	84	78	69																																																		
<b>q</b>	5	4	3	2	1																																																		
<b>CDV</b>	46	49	54	56	66																																																		
<b>PCI</b>		34																																																					
Unidad de Muestra:		<b>Malo</b>																																																					

Sección 4

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO									
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013				
4. UNIDAD DE MUESTRA 2 000*6.6 = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297   297			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro				
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA							
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.		11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS					
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA									
TIPO		13	1	3	7	10	1	11	
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	11							
		13							
		7							
	M		3.20			31.5	3.00		0.6
		2					2		
		1							
H	1								
	1								
TOTAL SEVERID.	BAJO	31	0	0	0	0	0	0	
	MEDIO	0	3.2	0.00	31.5	3	0	0.6	
	ALTO	5	0	0	0	2	0	0	
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)									
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES					
13	10.44	L	60						
	1.68	H	61						
1	1.08	M	22						
7	10.61	M	16						
10	1.01	M	2						
	0.67	H	6						
11	0.20	M	4						
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			171						
q=	6	PCI=	10	CLASIFICACION:	Muy Malo				
$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$ m = 4.58									
	61	61	61	61	61	61			
	60	60	60	60	60	2			
	22	22	22	22	2	2			
	16	16	16	2	2	2			
	6	6	2	2	2	2			
	4	2	2	2	2	2			
	2	2	2	2	2	2			
TOTAL	171	169	165	151	131	73			
q	6	5	4	3	2	1			
CDV	82	85	89	90	87	73			
PCI	10								
Unidad de Muestra:	Muy Malo								

Sección 5

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFÁLTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA: 2 000*6.6 = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	18	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	1		4.2				4.5
	M			10.53				
	H			7.92				
TOTAL SEVERID.	BAJO	1	0	4.2	0	0	0	4.5
	MEDIO	0	0	18.45	0	0	0	0
	ALTO	0	0	11.88	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
13	0.34	L	8					
3	1.41	L	0.5					
	6.21	M	11					
	4.00	H	19					
11	1.52	L	3					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			41.5					
q=	4		PCI=	73		CLASIFICACION:	Muy Bueno	
			$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$ m = 8.44					
	19	19	19	19				
	11	11	11	2				
	8	8	2	2				
	3	2	2	2				
	0.5	0.5	0.5	0.5				
TOTAL	41.5	40.5	34.5	25.5				
q	4	3	2	1				
CDV	20	25	27	25				
PCI	73							
Unidad de Muestra:		Muy Bueno						

Sección 6

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFÁLTICO									
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013				
4. UNIDAD DE MUESTRA 2 000*6.6 = 13 200 m		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro				
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA							
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.		11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS					
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA									
TIPO		7	13	3	18	10	1	11	
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L		1	5.4			21.6		
			1						
			1						
			1						
			1						
			1						
			1						
			1						
			1						
			1						
			1						
			1						
			1						
	M			16.20			81.00	0.21	
								0.21	
	H	1.25							
		0.8							
TOTAL SEVERIDAD.	BAJO	0	7	5.4	0	0	21.6	0	
	MEDIO	0	0	16.20	0	0	81	0.42	
	ALTO	2.05	0	0	0	0	0	0	
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)									
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES					
13	2.36	L	30						
7	0.69	H	9						
3	1.82	L	2						
	5.45	M	12						
1	7.27	L	30						
	27.27	M	58						
11	0.14	M	4						
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			145						
q=	6	PCI=	23	CLASIFICACION:	Muy Malo				
$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$									
m				4.86					
	58	58	58	58	58	58			
	30	30	30	30	30	2			
	30	30	30	30	2	2			
	12	12	12	2	2	2			
	9	9	2	2	2	2			
	4	2	2	2	2	2			
	2	2	2	2	2	2			
TOTAL	145	143	136	126	98	70			
q	6	5	4	3	2	1			
CDV	71	75	77	77	69	70			
PCI	23								
Unidad de Muestra:	Muy Malo								

Sección 7

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA: 2 000*6.6 = 13 200 m		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGA			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	18	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L							
	M						135.00	0.6
	H							
TOTAL SEVERID.	BAJO	0	0	0	0	0	0	0
	MEDIO	0	0	0.00	0	0	135	0.6
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
1	45.45	M	66					
11	0.20	M	5					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			71					
q=	2		PCI=	32		CLASIFICACION:	Malo	
			$m = 1 + 9/98*(100 - HDV)$ m = 4.12					
		66	66					
		5	2					
TOTAL		71	68					
q		2	1					
CDV		52	68					
PCI		32						
Unidad de Muestra:			Malo					

Sección 8

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA 2 000*6.6 = 13 200 m		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 r			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	18	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	13					3.24	
		2						
		5						
	M	1					113.40	0.3
								2.1
								0.15
H	1							
TOTAL SEVERID.	BAJO	20	0	0	0	0	3.24	0
	MEDIO	1	0	0.00	0	0	113.4	2.55
	ALTO	1	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
13	6.73	L	49					
	0.34	M	15					
	0.34	H	33					
1	1.09	L	11					
	38.18	M	62					
11	0.86	M	8					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			178					
q=	6	PCI=	11	CLASIFICACION:		Muy Malo		
			$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$					
			m		4.49			
	62	62	62	62	62	62		
	49	49	49	49	49	2		
	33	33	33	33	2	2		
	15	15	15	2	2	2		
	11	11	2	2	2	2		
	8	2	2	2	2	2		
TOTAL	178	172	163	150	119	72		
q	6	5	4	3	2	1		
CDV	84	86	89	88	80	70		
PCI	11							
Unidad de Muestra:		Muy Malo						

Sección 9

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrin-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA 2 000*6.6 = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	18	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	16					38.07	
	M						16.83	
	H							
TOTAL SEVERID.	BAJO	16	0	0	0	0	38.07	0
	MEDIO	0	0	0.00	0	0	16.83	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
13	5.39	L	45					
1	12.82	L	35					
	5.67	M	40					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			120					
q=	3	PCI=	26	CLASIFICACION:	Malo			
$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$ m = 6.05								
	45	45	45					
	40	40	2					
	35	2	2					
TOTAL	120	87	49					
q	3	2	1					
CDV	74	63	49					
PCI	26							
Unidad de Muestra:		Malo						

Sección 10

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA 2 000*6.6 = 13 200 m		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGAD			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	17	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L							
	M	1			9		5.50	
	H							
TOTAL SEVERID.	BAJO	0	0	0	0	0	0	0
	MEDIO	1	0	0.00	9	0	5.5	0
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
13	0.34	M	15					
1	1.85	M	28					
17	3.03	M	12					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			55					
q=	3		PCI=	65		CLASIFICACION:	Bueno	
			$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$ m 7.61					
		28	28	28				
		15	15	2				
		12	2	2				
TOTAL		55	45	32				
q		3	2	1				
CDV		35	33	32				
PCI		65						
Unidad de Muestra:		Bueno						

Sección 11

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA/ 2 000*6.6 = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m <sup>2</sup>			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV. 11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADO						
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	8	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	7					29.7	
		2					17.55	
	M	1			6		29.70	
		3						
	H	1						
		1						
TOTAL SEVERID.	BAJO	9	0	0	0	0	47.25	0
	MEDIO	1	0	0.00	6	0	29.7	0
	ALTO	5	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
13	3.03	L	36					
	0.34	M	15					
	1.68	H	59					
1	15.91	L	38					
	10.00	M	47					
8	2.02	M	5					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			200					
q=	6		PCI=	6		CLASIFICACION:	Fallado	
$m = 1 + 9/98*(100 - HDV)$ $m = 4.77$								
	59	59	59	59	59	59		
	47	47	47	47	47	2		
	38	38	38	38	2	2		
	36	36	36	2	2	2		
	15	15	2	2	2	2		
	5	2	2	2	2	2		
TOTAL	200	197	184	150	114	69		
q	6	5	4	3	2	1		
CDV	90	93	94	88	79	69		
PCI	6							
Unidad de Muestra:		Fallado						

Sección 12

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA 2 000*6.6 = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	18	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	3		21.6				
	M						43.20	
	H	1						
TOTAL SEVERID.	BAJO	3	0	21.6	0	0	0	0
	MEDIO	0	0	0.00	0	0	43.2	0
	ALTO	2	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
13	1.01	L	21					
	0.67	H	45					
3	7.27	L	7					
1	14.55	M	51					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			124					
q=	4	PCI=	27	CLASIFICACION:		Bueno		
$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$								
m				5.50				
		51	51	51	51			
		45	45	45	45	2		
		21	21	2	2	2		
		7	2	2	2	2		
TOTAL		124	119	100	57			
q		4	3	2	1			
CDV		70	73	70	57			
PCI		27						
Unidad de Muestra:		Bueno						

Sección 13

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFALTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA 2 000*6.6 = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m <sup>2</sup>			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGIT UD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	18	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	6		25.25				
		12						
		6						
		1						
	M	1		62.10				
		3						
1								
H	1							
	1							
TOTAL SEVERID.	BAJO	25	0	25.25	0	0	0	0
	MEDIO	1	0	62.10	0	0	0	0
	ALTO	5	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
13	8.42	L	52					
	0.34	M	15					
	1.68	H	59					
3	8.50	L	18					
	20.91	M	26					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			170					
q=	5	PCI=	14	CLASIFICACION:	Muy Malo			
		$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$ m = 4.77						
		59	59	59	59	59		
		52	52	52	52	2		
		26	26	26	2	2		
		18	18	2	2	2		
		15	2	2	2	2		
	TOTAL	170	157	141	117	67		
	q	5	4	3	2	1		
	CDV	85	86	84	80	67		
	PCI	14						
Unidad de Muestra:		Muy Malo						

Sección 14

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFÁLTICO								
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013			
4. UNIDAD DE MUESTRA 2 000*6.6 = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m <sup>2</sup>			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro			
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA						
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS			
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA								
TIPO		13	15	3	18	10	1	11
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	4						
		17						
	M			1.95				43.20
H	1							
	1							
TOTAL SEVERID.	BAJO	21	0	0	0	0	0	0
	MEDIO	0	0	1.95	0	0	43.2	0
	ALTO	2	0	0	0	0	0	0
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)								
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES				
13	7.07	L	50					
	0.67	H	44					
3	0.66	M	1					
1	14.55	M	50					
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			145					
q=	3	PCI=	15	CLASIFICACION:	Muy Malo			
		$m = 1 + 9/98*(100 - HDV)$ m = 5.59						
		50	50	50				
		50	50	2				
		44	2	2				
		1	1	1				
	TOTAL	145	103	55				
	q	3	2	1				
	CDV	85	73	55				
	PCI	15						
Unidad de Muestra:		Muy Malo						

Sección 15

HOJA DE INSPECCIÓN DE CARRETERA PAVIMENTO ASFÁLTICO																																			
1. RUTA: Nacional PE-3N Y PE-18A		2. TRAMO III Chicrín-Huánuco 79.45 Km			3. FECHA: 12/11/2013																														
4. UNIDAD DE MUESTRA/ 2 000*6.6 = 13 200 m <sup>2</sup>		5. UNIDAD DE MUESTRA: 45 m*6.6 m = 297 m			6. INSPECCIONADO POR: Julio E. Vildoso Flores / Paola K. Espinoza Juro																														
7. CROQUIS		TIPOS DE FALLA																																	
		1. PIEL DE COCODRILO 2. EXUDACION 3. FISURA EN BLOQUE 4. ABULTAMIENTO Y HUNDIMIENTO 5. CORRUGACIONES 6. DEPRESIONES 7. GRIETA DE BORDE 8. FLEXION DE JUNTA 9. DESNIVEL DE CARRIL-BERMA 10. FISURA LONGITUD. Y TRANSV.			11. PARCHES 12. PULIMENTO DE AGREGADOS 13. HUECOS 14. CRUCE DE LINEA FERREA 15. AHUELLAMIENTO 16. DESPLAZAMIENTO 17. GRIETA PARABOLICA 18. HINCHAMIENTO 19. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS																														
8. CANTIDAD Y SEVERIDAD DE FALLA																																			
TIPO		13	15	3	18	10	1	11																											
CANTIDAD Y SEVERIDAD	L	10						0.4																											
								0.25																											
								0.25																											
								0.8																											
M						94.50		1.56																											
						5.4																													
H																																			
TOTAL SEVERID.	BAJO	10	0	0	0	0	0	1.95																											
	MEDIO	0	0	0.00	0	0	99.9	1.56																											
	ALTO	0	0	0	0	0	0	0																											
9. CALCULO DEL PCI (INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)																																			
TOTAL DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIBLE	OBSERVACIONES																															
13	3.37	L	38																																
1	33.64	M	62																																
11	0.66	L	1																																
	0.53	M	7																																
VALOR TOTAL DEDUCIBLE			108																																
q=	3		PCI=	28		CLASIFICACION:	Malo																												
$m = 1 + 9/98 * (100 - HDV)$																																			
<table border="1"> <tr> <td>m</td> <td colspan="7">4.49</td> </tr> </table>								m	4.49																										
m	4.49																																		
<table border="1"> <tr> <td></td> <td>62</td> <td>62</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td></td> <td>38</td> <td>38</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL</b></td> <td>108</td> <td>103</td> <td>67</td> </tr> <tr> <td><b>q</b></td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><b>CDV</b></td> <td>68</td> <td>72</td> <td>67</td> </tr> </table>									62	62	62		38	38	2		7	2	2		1	1	1	<b>TOTAL</b>	108	103	67	<b>q</b>	3	2	1	<b>CDV</b>	68	72	67
	62	62	62																																
	38	38	2																																
	7	2	2																																
	1	1	1																																
<b>TOTAL</b>	108	103	67																																
<b>q</b>	3	2	1																																
<b>CDV</b>	68	72	67																																
<table border="1"> <tr> <td><b>PCI</b></td> <td colspan="7">28</td> </tr> </table>								<b>PCI</b>	28																										
<b>PCI</b>	28																																		
Unidad de Muestra:		<b>Malo</b>																																	

ANEXO J6: Panel Fotográfico de daños encontrados en la carretera La oroya – Chicrín –  
Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache



Entrada de la ciudad de Huánuco Km 230+000  
Inicio de la auscultación de daños.



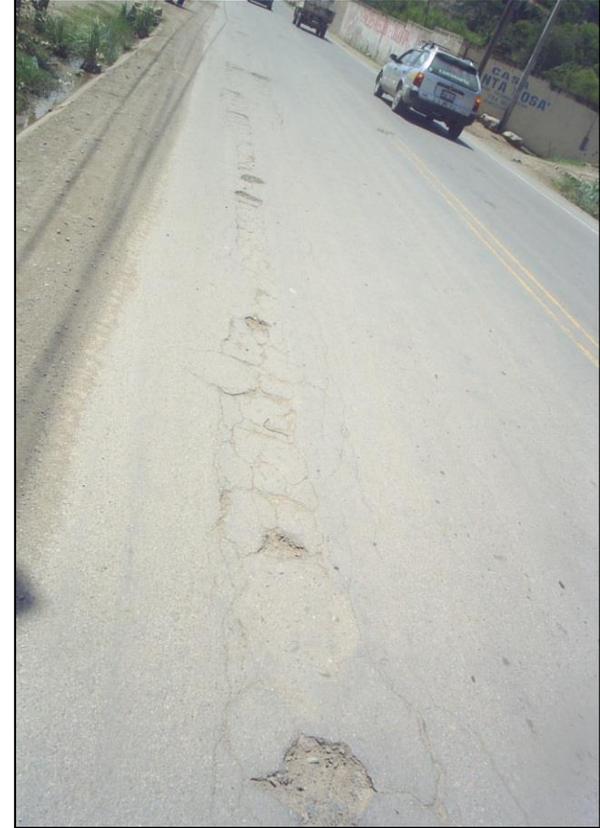
Superficie de rodamiento de notable deterioro.



Falla Superficial de la rodadura.



Superficie dañada con "Huecos".



Presencia de "Piel de Cocodrilo".



Presencia de “Parches y Piel de Cocodrilo”. Vista del entorno de la carretera dañada. Superficie dañada con “Huecos” y “Grietas”.



Medición del daño encontrado en la vía.



Tráfico existente al cual está sometida la vía.





Km 228+000 Vista del entorno paisajístico de la carretera.

## ANEXO A7: Cálculo de cantidades de insumos materiales

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

<i>Descripción</i>	<i>120 mm</i>	<i>250 mm</i>
<i>Asfalto (gln/m2)</i>	<i>1.8230</i>	<i>3.7979</i>
<i>Cemento (bls/m2)</i>	<i>0.0649</i>	<i>0.1353</i>
<i>Agua (m3/m2)</i>	<i>0.0179</i>	<i>0.0374</i>
<i>Material Granular (m3/m2)</i>	<i>-</i>	<i>0.1300</i>

### - CANTIDAD DE ASFALTO

Esesor de reciclado (mm)	12.00
Metrado (m2)	838,152.00
Asfalto (gln/m2)	1.8230
Asfalto (gln)	1,527,938.92
Esesor de reciclado (mm)	25.00
Metrado (m2)	25,848.00
Asfalto (gln/m2)	3.7979
Asfalto (gln)	98,167.77
<b>Cantidad Total de Asfalto (gln)</b>	<b>1,626,106.68</b>

### - CANTIDAD DE CEMENTO

Esesor de reciclado (mm)	12.00
Metrado (m2)	838,152.00
Cemento (bls/m2)	0.0649
Cemento (bls)	54,430.58
Esesor de reciclado (mm)	25.00
Metrado (m2)	25,848.00
Cemento (bls/m2)	0.1353
Cemento (bls)	3,497.08
<b>Cantidad Total de Cemento (bls)</b>	<b>57,927.66</b>

- CANTIDAD DE AGUA

Espesor de reciclado (mm)	12.00
Metrado (m2)	838,152.00
Agua (m3/m2)	0.0179
Agua (m3)	15,036.45
Espesor de reciclado (mm)	25.00
Metrado (m2)	25,848.00
Agua (m3/m2)	0.0374
Agua (m3)	966.07
<b>Cantidad Total de Agua (m3)</b>	<b>16,002.52</b>

- COMBUSTIBLE

- Técnica del Reciclado con Asfalto Espumado

El siguiente cuadro muestra la lista de maquinaria con relación a las Horas Máquina Total que se consume a partir del análisis de precios unitarios para el metrado correspondiente de 838,152 m2. El consumo glns/hora son datos aproximados considerados por el Ing. William Mauricio Galvis Castillo.

BASE RECICLADA (RAP) E=120 mm			
RECURSO	HM Total	Consumo glns/h	Consumo total (glns)
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5000 glns	2,328	5.00	11,641.00
CAMION CISTERNA 4 x 2 (ASFALTO) 8000 glns	2,328	10.00	23,282.00
CAMION BARANDA	1,164	5.00	5,820.50
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 ton	1,164	6.25	7,275.63
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 136-170HP 15-17 ton	1,164	6.25	7,275.63
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15-20 ton	1,164	6.25	7,275.63
MAQUINA RECICLADORA	1,164	31.25	36,378.13
MOTONIVELADORA DE 125 HP	1,164	6.00	6,984.60
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO DE CAP	1,164	25.00	29,102.50
			<b>135,035.60</b>

El área considerada para Reparaciones en Zonas Críticas es 25,848 m<sup>2</sup>.

BASE RECICLADA (RAP) E=250 mm (REPARACIONES EN ZONAS CRITICAS)			
RECURSO	HM Total	Consumo glns/h	Consumo total (glns)
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5000 glns	72	5.00	359.00
CAMION CISTERNA 4 x 2 (ASFALTO) 8000 gl ns	72	10.00	718.00
CAMION BARANDA	36	5.00	179.50
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 ton	36	6.25	224.38
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 136-170HP 15-17 ton	36	6.25	224.38
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15-20 ton	36	6.25	224.38
MAQUINA RECICLADORA	36	31.25	1,121.88
MOTONIVELADORA DE 125 HP	36	6.00	215.40
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y CALENTAMIENTO DE CAP	36	25.00	897.50
			<b>4,164.40</b>
<b>Total (glns)</b>			<b>139,200.00</b>

- Técnica Convencional

Los cuadros muestran, también, la lista de maquinaria empleada para la aplicación de la Técnica Convencional. El consumo total en galones resulta de la relación directa de las Horas Máquina Total de cada insumo y el Consumo de galones/hora.

Eliminacion de Material Excedente (Incluye carguio y transporte) para 3Km			
RECURSO	HM Total	Consumo glns/h	Consumo total (glns)
Retroexcavadora sobre orugas CAT 320	6510	7.00	45,569.16
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	6510	5.00	32,549.40
			<b>78,118.56</b>
Transporte de material granular a obra para 56.55km			
RECURSO	HM Total	Consumo glns/h	Consumo total (glns)
VOLQUETE 6X4 DE 15 m3	60750	5	<b>303,747.60</b>
Base Granular			
RECURSO	HM Total	Consumo glns/h	Consumo glns/h
MOTONIVELADORA DE 125 HP	3927	6.00	23,563.64
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 ton	3927	6.25	24,545.45
RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 15-20 ton	3927	6.26	24,584.73
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 5,000 gl	3927	5.00	19,636.36
			<b>92,330.18</b>
<b>Total (glns)</b>			<b>474,196.34</b>

ANEXO B7: Cálculo del ciclo de tiempo de transporte para  
56.55 km

CONOCOCHA-YANACANCHA		
CALCULO DEL CICLO DE TIEMPO DE TRANSPORTE PARA UN VOLQUETE DE 15 M3		
DISTANCIA	56.55	Km
VELOC. C/CARGA	40	Km/hora
VELOC. S/CARGA	50	Km/hora
Tcarga	0.0635	horas
Tdescarga	0.0333	horas
Tida	1.1108	horas
Tretorno	1.3885	horas
<b>T ciclo</b>	<b>2.5961</b>	<b>horas</b>
Eficiencia 80% Jornada	6.4000	horas
Nº de viajes	2	1 Volquete
Nº Volquetes nec	1	unidades
RENDIMIENTO	36.98	/DÍA
<b>Rendimiento</b>	<b>36.98</b>	<b>1 Volquete</b>

ANEXO C7: Cálculo del ciclo de tiempo de transporte para 3  
km

CONOCOCHA-YANACANCHA		
CALCULO DEL CICLO DE TIEMPO DE TRANSPORTE PARA UN VOLQUETE DE 15 M3		
DISTANCIA	3	Km
VELOC. C/CARGA	40	Km/hora
VELOC. S/CARGA	50	Km/hora
Tcarga	0.0635	horas
Tdescarga	0.0333	horas
Tida	0.0600	horas
Tretorno	0.0750	horas
T ciclo	0.2318	horas
Eficiencia 80% Jornada	6.4000	horas
Nº de viajes	28	1 Volquete
Nº Volquetes nec	1	unidades
RENDIMIENTO	414.09	/DÍA
<b>Rendimiento</b>	<b>414.09</b>	<b>1 Volquete</b>

## ANEXO D7: A.P.U. de base reciclada e=120mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Análisis de precios unitarios							
Presupuesto	0404034	ESTUDIO DEFINITIVO PARA EL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA CARRTERA CONOCOCHA - YANACANCHA - DEFINITIVO					
Subpresupuesto	001	ESTUDIO DEFINITIVO PARA EL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA CARRTERA CONOCOCHA - YANACANCHA CON INSUMOS FUERA				Fecha presupuesto	01/02/2007
Partida	408.C	BASE REICLADA (RAP) E=120 mm					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 3,500.0000	EQ. 3,500.0000	Costo unitario directo por : m2			7.11
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0023	11.95	0.03	
0147010004	PEON	hh	5.0000	0.0114	9.66	0.11	
0147010031	CAPATAZ "A"	hh	1.0000	0.0023	15.53	0.04	
						<b>0.18</b>	
<b>Materiales</b>							
0253000002	PETROLEO DIESEL #2	gl		0.0422	9.86	0.42	
						<b>0.42</b>	
<b>Equipos</b>							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.18	0.01	
0348040003	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0023	109.28	0.25	
0348120098	CAMION CISTERNA 4 x 2 (ASFALTO) 2,000 gl	hm	4.0000	0.0091	150.20	1.37	
0348130082	CAMION BARANDA	hm	1.0000	0.0023	116.29	0.27	
0349030007	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 ton	hm	1.0000	0.0023	161.63	0.37	
0349030009	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 136-170HP 15-17 ton	hm	1.0000	0.0023	183.70	0.42	
0349030025	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 5.5-20 ton	hm	1.0000	0.0023	141.09	0.32	
0349050099	MAQUINA REICLADORA	hm	1.0000	0.0023	1,071.01	2.46	
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0023	128.64	0.30	
						<b>5.77</b>	
<b>Subpartidas</b>							
909001020112	MATERIAL DE BASE GRANULAR	m3		0.0060	36.81	0.22	
930101910201	AGUA PARA LA OBRA	m3		0.0166	31.26	0.52	
						<b>0.74</b>	

En la etapa de pre-intervención se estimó que el reciclado se haría en 10 meses, lo cual en la realidad se realizó en 8 meses.

## ANEXO E7: A.P.U. de base reciclada (zonas críticas) e=250mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Partida	408.D BASE REICLADA (RAP) E=250 mm (REPARACIONES EN ZONAS CRITICAS)					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 3,500.0000	EQ. 3,500.0000	Costo unitario directo por : m2		12.24
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>						
0147010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0023	11.95	0.03
0147010004	PEON	hh	5.0000	0.0114	9.66	0.11
0147010031	CAPATAZ "A"	hh	1.0000	0.0023	15.53	0.04
<b>0.18</b>						
<b>Materiales</b>						
0253000002	PETROLEO DIESSEL #2	gl		0.0422	9.86	0.42
<b>0.42</b>						
<b>Equipos</b>						
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.18	0.01
0348040003	CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 2,000 gl	hm	1.0000	0.0023	109.28	0.25
0348120098	CAMION CISTERNA 4 x 2 (ASFALTO) 2,000 gl	hm	4.0000	0.0091	150.20	1.37
0348130082	CAMION BARANDA	hm	1.0000	0.0023	116.29	0.27
0349030007	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135HP 10-12 ton	hm	1.0000	0.0023	161.63	0.37
0349030009	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 136-170HP 15-17 ton	hm	1.0000	0.0023	183.70	0.42
0349030025	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81-100HP 5.5-20 ton	hm	1.0000	0.0023	141.09	0.32
0349050099	MAQUINA REICLADORA	hm	1.0000	0.0023	1,071.01	2.46
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	1.0000	0.0023	128.64	0.30
<b>5.77</b>						
<b>Subpartidas</b>						
909001020112	MATERIAL DE BASE GRANULAR	m3		0.1300	36.81	4.79
930101910201	AGUA PARA LA OBRA	m3		0.0345	31.26	1.08
<b>5.87</b>						

## ANEXO F7: Precio de materiales utilizados en el reciclado

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Presupuesto	0404034	ESTUDIO DEFINITIVO PARA EL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA CARRTERA CONOCOCHA - YANACANCHA - DEFINITIVO				
Subpresupuesto	001	ESTUDIO DEFINITIVO PARA EL MANTENIMIENTO PERIODICO DE LA CARRTERA CONOCOCHA - YANACANCHA CON INSUMOS FUERA			Fecha presupuesto	01/02/2007
Partida	420.C	CEMENTO ASFALTICO				
Rendimiento	gl/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por :	gl	5.63

Partida	440.A	CEMENTO PORTLAND				
Rendimiento	bol/DIA	MO.	EQ.	Costo unitario directo por :	bol	22.36

## ANEXO G7: Rendimiento de motoniveladora de 125 HP para zona de una altura de mas de 3800 m.s.n.m

Fuente: Libro “Costos y Tiempos en Carreteras”, Ing. Walter Ibañez

Equipo	Tipo de Trabajo	Und.	Área Cubierta (m <sup>2</sup> )	Factor de Corrección Final	Rendimiento Real (p/hora)	Rendimiento Real Standard (p/día)
			(1)	(2)	(1) x (2) = (3)	8h x (3)
Motoniveladora CAT - 120G - 125 HP - Anch. Cuch = 3.66 m.	Acab. Sub-Rasante en corte	m <sup>2</sup>	458	0.66	302	2,420
	Conformación Terraplen 30 m	m <sup>3</sup>	458	0.72	330	790
	Sub-Base Selec. C = 0.15 m.	m <sup>2</sup>	458	0.59	270	2,160
	Sub-Base Selec. C = 0.20 m.	m <sup>2</sup>	458	0.53	243	1,940
	Base Granular C = 0.15 m.	m <sup>2</sup>	458	0.51	234	1,870
	Base Granular C = 0.20 m.	m <sup>2</sup>	458	0.48	220	1,760
	Escarificado Pavimento	m <sup>2</sup>	458	0.71	325	2,600

## ANEXO H7: Programación para la Técnica RPAE y para la Técnica Convencional

# ANEXO I7: Calculo del EAL según las cargas actuantes en el pavimento, Conococha-Yanacancha

Fuente: EPCM Consulting S.A.C.

AÑO	Factor de crecimiento de bus	Factor de crecimiento de camiones	BUS 2E	BUS 3E	BUS 4E	C2E	C3E	C4E	3S2	3S3	TOTAL	TOTAL
Traf Total 2012			10	28	10	43	42	1	11	103	248	
Veh. Año 2012			3650	10220	3650	15695	15330	365	4015	37595		
FC*FP			2.31663	3.33639	2.18775	1.94242	13.4793	8.66502	2.11263	5.68014		
2013	1	1	8455.7	34097.9	7985.29	30486.28	206637	3162.73	8482.209	213545	512852.3422	5.13E+05
2014	2.01	2.0521	16995.96	68536.8	16050.4	62560.9	424041	6490.24	17406.34	438215	1050296.604	1.05E+06
2015	3.0301	3.15901	25621.62	103320	24196.2	96306.6	652770	9991.12	26795.42	674591	1613592.748	1.61E+06
2016	4.0604	4.3236	34333.53	138451	32423.5	131810.5	893417	13674.4	36673.67	923282	2204066.166	2.20E+06
2017	5.10101	5.54886	43132.57	173934	40733	169164.1	1146601	17549.6	47066.58	1184930	2823111.092	2.82E+06
2018	6.15202	6.83795	52019.59	209771	49125.6	208463.8	1412977	21626.6	58000.96	1460210	3472194.178	3.47E+06
2019	7.21354	8.19421	60995.49	245966	57602.2	249811	1693230	25916.1	69505.02	1749832	4152858.272	4.15E+06
2020	8.28567	9.62113	70061.14	282524	66163.5	293312.5	1988085	30429.1	81608.44	2054543	4866726.382	4.87E+06
2021	9.36853	11.1224	79217.45	319447	74810.4	339080.3	2298301	35177.1	94342.45	2375129	5615505.852	5.62E+06
2022	10.4622	12.7019	88465.33	356740	83543.8	387232.7	2624680	40172.6	107739.9	2712419	6400992.751	6.40E+06
2023	11.5668	14.3636	97805.68	394405	92364.5	437893.8	2968064	45428.3	121835.4	3067280	7225076.498	7.23E+06
2024	12.6825	16.112	107239.4	432447	101273	491194.4	3329337	50957.9	136665.2	3440631	8089744.718	8.09E+06
2025	13.8093	17.9514	116767.5	470869	110271	547271.9	3709433	56775.5	152267.7	3833432	8997088.358	9.00E+06
2026	14.9474	19.8867	126390.9	509676	119359	606271	4109332	62896.3	168683	4246699	9949307.071	9.95E+06
2027	16.0969	21.9228	136110.5	548870	128538	668344	4530065	69335.9	185953.6	4681497	10948714.87	1.09E+07
2028	17.2579	24.065	145927.3	588457	137809	733651	4972719	76111	204124	5138948	11997746.1	1.20E+07
2029	18.4304	26.3187	155842.3	628440	147172	802360.5	5438435	83239.1	223241.1	5620232	13098961.67	1.31E+07
2030	19.6147	28.6899	165856.4	668822	156629	874649.8	5928415	90738.6	243354.1	6126591	14255055.69	1.43E+07
2031	20.8109	31.1847	175970.7	709608	166181	950705.3	6443923	98628.8	264515.1	6659331	15468862.39	1.55E+07
2032	22.019	33.8094	186186.1	750802	175828	1030723	6986288	106930	286778.5	7219827	16743363.38	1.67E+07

AÑO	Factor de crecimiento de bus	Factor de crecimiento de camiones	BUS 2E	BUS 3E	BUS 4E	C2E	C3E	C4E	2S3	3S2	3S3	2T2	TOTAL	TOTAL
Traf Total 2012			4	17	8	14	20	3	1	9	75	4	155	
Veh. Año 2012			1460	6205	2920	5110	7300	1095	365	3285	27375	1460		
FC*FP			2.31663	3.33639	2.18775	1.9424	13.47928	2.6857	5.988	2.1126	5.68014	11.1721		
2013	1	1	3382.28	20702.3	6388.23	9925.8	98398.744	2940.842	2185.62	6940	155494	16311.3	322668.8987	3.20E+05
2014	2.01	2.0521	6798.382	41611.6	12840.3	20369	201924.063	6034.901	4485.11	14242	319089	33472.4	660865.9417	6.55E+05
2015	3.0301	3.15901	10248.65	62730	19357	31356	310843.05	9290.161	6904.41	21924	491207	51527.6	1015387.316	1.01E+06
2016	4.0604	4.3236	13733.41	84059.6	25938.8	42915	425436.717	12715.02	9449.74	30006	672293	70523.5	1387070.563	1.37E+06
2017	5.10101	5.54886	17253.03	105603	32586.4	55077	546000.714	16318.31	12127.7	38509	862813	90509.1	1776796.728	1.76E+06
2018	6.15202	6.83795	20807.84	127361	39300.5	67872	672846.095	20109.34	14945.2	47455	1063260	111536	2185492.63	2.17E+06
2019	7.21354	8.19421	24398.19	149337	46081.7	81334	806300.121	24097.88	17909.4	56868	1274149	133658	2614133.242	2.59E+06
2020	8.28567	9.62113	28024.46	171532	52930.8	95497	946707.101	28294.22	21028.1	66771	1496026	156933	3063744.2	3.04E+06
2021	9.36853	11.1224	31686.98	193950	59848.3	110398	1094429.29	32709.19	24309.3	77189	1729463	181421	3535404.441	3.50E+06
2022	10.4622	12.7019	35386.13	216592	66835	126076	1249847.79	37354.18	27761.5	88151	1975062	207184	4030248.978	3.99E+06
2023	11.5668	14.3636	39122.27	239460	73891.6	142570	1413363.61	42241.17	31393.4	99683	2233457	234289	4549471.821	4.51E+06
2024	12.6825	16.112	42895.77	262557	81018.7	159924	1585398.6	47382.78	35214.7	111817	2505314	262807	5094329.048	5.05E+06
2025	13.8093	17.9514	46707.01	285885	88217.2	178182	1766396.61	52792.26	39235	124583	2791334	292811	5666142.04	5.61E+06
2026	14.9474	19.8867	50556.36	309446	95487.6	197391	1956824.62	58483.58	43464.7	138013	3092257	324378	6266300.879	6.21E+06
2027	16.0969	21.9228	54444.2	333243	102831	217600	2157173.92	64471.42	47914.9	152144	3408857	357589	6896267.927	6.83E+06
2028	17.2579	24.065	58370.93	357277	110247	238863	2367961.43	70771.22	52596.8	167011	3741952	392531	7557581.592	7.49E+06
2029	18.4304	26.3187	62336.92	381553	117738	261234	2589730.96	77399.24	57522.8	182652	4092402	429293	8251860.286	8.17E+06
2030	19.6147	28.6899	66342.56	406070	125304	284770	2823054.69	84372.58	62705.3	199108	4461110	467970	8980806.593	8.90E+06
2031	20.8109	31.1847	70388.27	430833	132945	309532	3068534.58	91709.24	68157.9	216421	4849027	508663	9746211.652	9.65E+06
2032	22.019	33.8094	74474.43	455844	140662	335584	3326803.98	99428.13	73894.5	234637	5257156	551475	10549959.77	1.05E+07