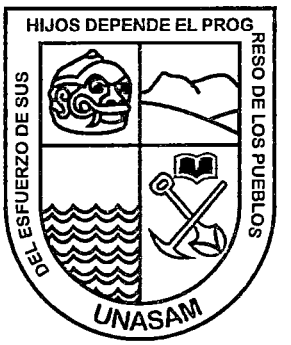
UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DEL RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO Y LA TÉCNICA CONVENCIONAL EN LA CONSERVACIÓN PERIÓDICA DE LA CARRETERA CONOCOCHA HUARAZ 2010-2011

TESIS

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL

Presentado por:
BACH. HILARIO ELI ABAD QUITO

HUARAZ– PERU

2016

A Dios por darme las fuerzas y guiarme
por un buen camino y a mi valiosa
familia, por entenderme y
comprenderme en momentos difíciles
de la vida

Hilario Abad

ÍNDICE

Pág.

RESUMEN V

LISTA DE CUADROS VI

LISTA DE FIGURAS IX

LISTA DE GRÁFICOS XII

LISTA DE TABLAS XIV

INTRODUCCIÓN XVI

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 5

1.3.1 Problema general 6

1.3.2 Problemas específicos 6

1.3 OBJETIVOS 6

1.3.1 Objetivo general 6

1.3.2 Objetivos específicos 7

1.4 JUSTIFICACIÓN 7

1.5 METODOLOGIA 8

1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLES 9

1.6.1 Hipótesis 9

1.6.2 Variables 10

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 12

2.1 GENERALIDADES DEL PAVIMENTO 12

2.1.1 Definición de pavimento flexible 12

2.1.2 Estructura del pavimento 12

2.1.3 Componentes del pavimento flexible 14

2.1.4 Factores que causan el deterioro del pavimento 15

2.1.5 Evaluación de pavimentos 16

2.1.6 Mantenimiento vial 36
2.2 LIGANTE ASFÁLTICO 41
2.2.1 Antecedentes 41
2.2.2 Definición del asfalto 42
2.2.3 Composición química del asfalto 42
2.2.4 Clasificación de asfaltos para pavimentación 44
2.2.5 Susceptibilidad térmica del asfalto 60
2.2.6 Fortalezas y debilidades del asfalto 66
2.2.7 Reología del asfalto 66
2.3 RECICLAJE DE PAVIMENTO ASFÁLTICO 67
2.3.1 Generalidades 67
2.3.2 Definición de RAP 70
2.3.3 Pavimentos indicados para el reciclado 70
2.3.4 Reciclado en frio de pavimentos asfalticos 71
2.4 TECNOLOGÍA DE ASFALTO ESPUMADO 84
2.4.1 Antecedentes 84
2.4.2 Definición de asfalto espumado 86
2.4.3 Características del asfalto espumado 88
2.4.4 Material adecuado para tratamiento con asfalto espumado 98
2.4.5 Propiedades de materiales estabilizados con asfalto espumado 102
2.4.6 Aplicaciones del asfalto espumado 105

CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLAS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO 109
3.1 GENERALIDADES 109
3.2 CONSIDERACIONES BASICAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS 111
3.2.1 Características de agregado 111

3.2.2 Exigencias del filler activo 112
3.2.3 Contenido óptimo de humedad de los materiales 113
3.2.4 Temperatura de los agregados 113
3.2.5 Contenido óptimo de asfalto 114
3.3 PROCEDIMIENTO PARA PREPARACIÓN DE MATERIALES ESTABILIZADOS CON ASFALTO ESPUMADO 114
3.3.1 Preparación de las muestras para el tratamiento con asfalto espumado 115
3.3.2 Fabricación de probetas de 100 mm de diámetro 118
3.4 ENSAYOS 121
3.4.1 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta (ITS) 121
3.4.2 Determinación de la densidad seca 122
3.4.3 Determinación del contenido de asfalto de diseño 123
3.5 DISEÑO DE MEZCLAS 123
3.5.1 Antecedentes 123
3.5.2 Diseño de la espuma óptima 126
3.6 DISEÑO ESTRUCTURAL 133
3.6.1 Parámetros generales de diseño 133
3.6.2 Diseño de espesor 138

CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE LA CARRETERA CONOCOCHA – HUARAZ 148
4.1 ANTECEDENTES 148
4.2 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA 150
4.2.1 Ubicación 150
4.2.2 Coordenadas y altitud 151
4.2.3 Condiciones climáticas 151
4.3 CLASIFICACIÓN DE LA VÍA 151

4.4 SITUACIÓN PREVIA A LA CONSERVACIÓN PERIODICA DE LA VÍA 152
4.4.1 Evaluación estructural 153
4.4.2 Evaluación funcional 158
4.4.3 Estudio de canteras y fuentes de agua 161
4.4.4 Estudio de trafico 162
4.5 ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS DEL RECICLADO DE PAVIMENTO CON LA TÉCNOLOGIA DEL ASFALTO ESPUMADO 164
4.5.1 Generalidades 164
4.5.2 Análisis de las ventajas técnicas 167
4.5.3 Análisis de las ventajas ambientales 186
4.5.4 Análisis de las ventajas económicas 187

CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 197
5.1 INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 197
5.1.1 Ventajas técnicas 199
5.1.2 Ventajas ambientales 201
5.1.3 Ventajas económicas 202
5.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS 208

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 211
6.1 CONCLUSIONES 211
6.2 RECOMENDACIONES 215

BIBLIOGRAFÍA 219
ANEXOS 226

RESUMEN

El uso de recursos naturales no renovables para la construcción y rehabilitación de carreteras, ha obligado a la ingeniería vial establecer sistemas de gestión y producción más eficientes, que permitan conseguir un proceso de evolución sostenible en base a técnicas de construcción convencionales o modernas que estén encaminadas a minimizar el impacto generado sobre el medio ambiente, tal es el caso de reciclado en frío de pavimentos asfálticos con la tecnología del asfalto espumado, tecnología ampliamente utilizada a nivel mundial debido a los importantes beneficios técnicos, económicos, ambientales, energéticos y operacionales que presenta. En este contexto, surge la investigación desarrollada en la presente tesis, cuyo objetivo es realizar el análisis comparativo entre la técnica de reciclado en In-situ con asfalto espumado y el sistema convencional con el empleo de material procedente del reciclado de pavimento y material propuesto de cantera para la técnica convencional.

En esta investigación se analizaron los reportes bibliográficos del proyecto de conservación vial Conococha – Huaraz, en donde los porcentajes obtenidos en el diseño de mezclas, de los agentes estabilizados como asfalto, agua, cemento optimizan las propiedades de los agregados en el asfalto espumado y que son utilizados para elaborar el análisis de precios unitarios por recursos de las partidas involucrados en esta técnica, luego los resultados obtenidos se compararon con el costo de insumos desarrollados para el sistema convencional de rehabilitación pavimentos. Previo a lo anterior se determinó los espesores de la estructura del pavimento utilizando la metodología de AASTHO 93, para calcular los metrados en cada tramo homogéneo de la vía.

Como resultado de este estudio se concluye que la técnica del reciclado con asfalto espumado se ha impuesto a los sistemas tradicionales de rehabilitación de pavimentos asfalticos, debido a los importantes beneficios técnicos, económicos, energéticos, ambientales y operacionales encontrados del análisis de insumos de materiales, equipos, mano de obra, del corredor vial estudiado.

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro N°1. 1. Operacionalización de variables 11

Cuadro N°2. 1. Manual para identificación de fallas LTPP 19

Cuadro N°2. 2. Rangos de calificación de la metodología VIZIR 22

Cuadro N°2. 3. Daños de los pavimentos flexibles 22

Cuadro N°2. 4. Escala de índice de serviciabilidad 35

Cuadro N°2. 5. Selección del tipo de cemento asfaltico 47

Cuadro N°2. 6. Asfalto definidos por el método Superpave 50

Cuadro N°2. 7. Grado de desempeño necesario para las diferentes regiones del Perú 51

Cuadro N°2. 8. Asfaltos diluidos más utilizados en el Mercado Nacional 52

Cuadro N°2. 9. Clasificación de las rocas 56

Cuadro N°2. 10. Nomenclatura según ASTM y AASHTO 58

Cuadro N°2. 11. Ventajas del tipo ecológico del reciclaje en frío 82

Cuadro N°2. 12. Recomendaciones para la incorporación de cemento o cal hidratada a la mezcla, mediante el índice de plasticidad 101

Cuadro N°3. 1. Ensayo para material granular 112

Cuadro N°3. 2. Facilidad del asfalto espumado para dispersarse (capacidad de mezclado) 114

Cuadro N°3. 3. Procedimientos propuestos para el curado de las mezclas con asfalto espumado 120

Cuadro N°3. 4. Resumen de condiciones óptimas de espumación para la carretera Conococha – Huaraz 129

Cuadro N°4. 1. Georreferenciación de los puntos notables del corredor vial 151

Cuadro N°4. 2. Sectorización deflectométrica 154

Cuadro N°4. 3. Sectorización radio de curvatura 154

Cuadro N°4. 4. Resultado de rugosidad (IRI) característico y serviciabilidad (PSI) 159
Cuadro N°4. 5. Canteras utilizadas en el mantenimiento periódico 161
Cuadro N°4. 6. Fuentes de agua usados en el mantenimiento periodico 162
Cuadro N°4. 7. Estaciones de conteo usados en todo el proyecto 163
Cuadro N°4. 8. Ejes equivalentes carretera Conococha - Huaraz 163
Cuadro N°4. 9. IMDA carretera Conococha - Huaraz 163
Cuadro N°4. 10. Alternativas de reconstrucción 166
Cuadro N°4. 11. Eficiencia Energetica 166
Cuadro N°4. 12. Parámetros obtenidos de diseño de mezclas y propiedades de los materiales 170
Cuadro N°4. 13. Avance porcentual de reciclado para el tramo Conococha – Huaraz 175
Cuadro N°4. 14. Avance porcentual de reciclado para el tramo Catac – Huaraz 175
Cuadro N°4. 15. Estadística de tracción indirecta en base reciclada tramo Conococha – Huaraz 177
Cuadro N°4. 16. Cantidad de material para base granular a utilizar 186
Cuadro N°4. 17. Cantidad de material a eliminar 187
Cuadro N°4. 18. Detalle de costo de material granular y transporte para técnica convencional 188
Cuadro N°4. 19. Detalle de costo de material de préstamo y transporte para RPTAE 188
Cuadro N°4. 20. Resumen comparativo de costo de material granular 189
Cuadro N°4. 21. Costo de eliminación de material excedente a DME 189
Cuadro N°4. 22. Horas hombres total y costo total de las subpartidas para el RPTAE 190
Cuadro N°4. 23. Insumos de mano de obra propuesta para la técnica convencional 191

Cuadro N°4. 24. Comparación de insumos de mano de obra técnica RPTAE vs técnica convencional 191
Cuadro N°4. 25. Costo total de los insumos de materiales propuestos para la técnica convencional 192
Cuadro N°4. 26. Costo total de los insumos de materiales utilizados en la técnica de RPTAE 192
Cuadro N°4. 27. Costo total de insumos de maquinaria utilizados en la técnica de RPTAE 193
Cuadro N°4. 28. Costo total de insumos de maquinaria propuestos en la técnica convencional 193
Cuadro N°4. 29. Periodo de duración de obra entre la técnica RPTAE vs técnica convencional 194
Cuadro N°4. 30. Resumen de gastos generales 194
Cuadro N°4. 31. Ahorro en gastos generales 195
Cuadro N°4. 32. Horas maquina total y costo total de combustible usados en RPTAE 195
Cuadro N°4. 33. Horas maquina total y costo total de combustibles propuestos en la técnica convencional 196

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura N°2. 1. Transferencia de carga a través de la estructura del pavimento 13
Figura N°2. 2. Requerimiento de información para la evaluación del pavimento 17
Figura N°2. 3. Tipo de intervención según escala de PCI 18
Figura N°2. 4. Esquema de inspección visual en metodología VIZIR 20
Figura N°2. 5. Métodos para la evaluación estructural de un pavimento 25
Figura N°2. 6. Esquema y principio de operación de Viga Benkelman 27
Figura N°2. 7. Esquema y parámetros de modelo de Hogg 27
Figura N°2. 8. Medida de las deflexiones del pavimento en la carretera Conococha - Huaraz con FWD 28
Figura N°2. 9. Modelo de cuarto de carro 31
Figura N°2. 10. Escala de valores de IRI establecida por el Banco Mundial 32
Figura N°2. 11. Perfilográfo Laser 33
Figura N°2. 12. Composición química del asfalto 42
Figura N°2. 13. Esquema de la estructura de un asfalto 44
Figura N°2. 14. Diagrama de la prueba de penetración 46
Figura N°2. 15. Grado de performance (PG) para el ligante asfaltico utilizado por superpave 49
Figura N°2. 16. Fases que componen una emulsión 53
Figura N°2. 17. Tamaños relativos y distribución de las partículas de asfalto en una emulsión 54
Figura N°2. 18. Emulsión y carga que contiene sus glóbulos 54
Figura N°2. 19. Esquema de un glóbulo que forma una 55
Figura N°2. 20. Acción de una emulsión aniónica con un material calizo 57
Figura N°2. 21. Acción de una emulsión catiónica con un material silíceo 57

Figura N°2. 22. Pasos por los que atraviesa una emulsión hasta tener la 58
Figura N°2. 23. Comportamiento de flujo de cemento asfaltico 61
Figura N°2. 24. Vista microscópica de las características de flujo de un liquido 62
Figura N°2. 25. Características de viscosidad de varios líquidos 63
Figura N°2. 26. Comportamientos de solido elástico 64
Figura N°2. 27. Técnicas de reciclado en un sistema de gestión de rehabilitación 69
Figura N°2. 28. (1) Recicladora Wirtgen WR 2500-S y (2) Recicladora Wirtgen Moderna 70
Figura N°2. 29. (1) Típico deterioro de pavimento por deformaciones plásticas, (2) fisuramiento por retracción térmica y (3) fatiga, con presencia de bombeo de finos 71
Figura N°2. 30. Diferentes formas de combinaciones de tipos de reciclado en frio 73
Figura N°2. 31. Reciclado en planta con asfalto espumado 75
Figura N°2. 32. Reciclado In-situ 76
Figura N°2. 33. Configuración del tambor fresador / mezclador y de los sistemas de inyección 77
Figura N°2. 34. Tren típico de reciclaje con cemento 78
Figura N°2. 35. Tren típico de reciclaje con emulsión asfáltica 79
Figura N°2. 36. Tren típico de reciclaje con asfalto espumado y cemento. 79
Figura N°2. 37. Tren de compactación 79
Figura N°2. 38. Reciclaje profundo a 300 mm con diferentes espesores de capa asfáltica (a) capa asfáltica gruesa (b) capa asfáltica delgada. 80
Figura N°2. 39. Producción del asfalto espumado 86
Figura N°2. 40. Composición de la mezcla con asfalto espumado 88

Figura N°2. 41. Características del asfalto espumado 89
Figura N°2. 42. Aspecto de la mezcla con asfalto espumado y asfalto en caliente 97
Figura N°2. 43. Proceso de mezcla con los agregados 98
Figura N°2. 44. Dispersión del asfalto 98
Figura N°2. 45. Aplicación de asfalto espumado en reciclado de pavimentos flexibles con equipo fresador-mezclador 106
Figura N°2. 46. Aplicación de asfalto espumado en estabilización de bases o suelos con equipo fresador – mezclador. 108
Figura N°3. 1. Mini planta de laboratorio WLB 10S y WLM 30 110
Figura N°3. 2. Proceso de mezcla en la mezcladora Pugmill - WLM30 110
Figura N°3. 3. Clasificación de la base granular 124
Figura N°3. 4. (1) Compactación Marshall (75 golpes por cara), ensayo de tracción indirecta y (2) curado de las mezclas 132
Figura N°3. 5. Evolución AASHTO en el cálculo de SNr 139
Figura N°4. 1. Plano de ubicación de carretera Conococha - Huaraz 150
Figura N°4. 2. Planificacion del proceso constructivo 167
Figura N°4. 3. Delimitación de cortes y traslapos en carpeta asfáltica 168
Figura N°4. 4. (1) Colocación, (2) Esparcido (3) Compactación y 169
Figura N°4. 5. (1) Distribución, (2) Esparcido y (3), (4) Extendido final 170
Figura N°4. 6. Tren de reciclado 171
Figura N°4. 7. Picas, tablero de presión y distribución de boquillas en la recicladora 172
Figura N°4. 8. (1) Control y (2) Verificación del espesor de base reciclada 173
Figura N°4. 9. Compactación primaria 173
Figura N°4. 10. Perfilado, nivelación y compactación final 174
Figura N°4. 11. (1) Riego de agua, (2) Compactación final, (3) Control de lisuras y (4) Densidad de campo 174

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Grafico N°2. 1. La importancia de la intervención en el momento adecuado 36
Grafico N°2. 2. Diferentes estrategias en la condición del pavimento 38
Grafico N°2. 3. Determinación del contenido óptimo de agua para la espumación 90
Grafico N°2. 4. Ciclo de vida del asfalto espumado. 94
Grafico N°2. 5. Relación entre la razón de expansión real (ERa) y la razón expansión máxima medida (ERm) con la vida media 95
Grafico N°2. 6. Índice de espumación (IE=A1+A2) para la caracterización de la espumabilidad 96
Grafico N°2. 7. Recomendación granulométrica experiencia Sudafricana 100
Grafico N°3. 1. Determinación de índice de espumación 128
Grafico N°3. 2. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación para T=160°C 129
Grafico N°3. 3. Coeficiente estructural de capa para el concreto asfáltico 141
Grafico N°3. 4. Coeficiente estructural de capa para la base granular 141
Grafico N°3. 5. Coeficiente estructural de capa para la subbase granular 142
Grafico N°3. 6. Coeficiente estructural recomendado para materiales estabilizados con asfalto espumado 142
Grafico N°4. 1. Deflectograma en carpeta asfáltica tramo Conococha - Catac 156
Grafico N°4. 2. Deflectograma en carpeta asfáltica tramo Catac - Huaraz 156
Grafico N°4. 3. Radio de curvatura tramo Conococha - Catac 157
Grafico N°4. 4. Radio de curvatura tramo Catac - Huaraz 157
Grafico N°4. 5. Diagrama de rugosidad superficial en carpeta asfáltica tramo Conococha - Catac 160

Grafico N°4. 6. Diagrama de rugosidad superficial en carpeta asfáltica tramo Catac - Huaraz 160
Grafico N°4. 7 Ventajas de RAP en consumo de energía para obras viales 165
Grafico N°4. 8. Resistencias a la tracción indirecta (ITS seco – ITS húmedo) 178
Grafico N°4. 9. Resistencia conservada de la base reciclada 178
Grafico N°4. 10. Distribución del IRI, tramo Conococha - Catac 181
Grafico N°4. 11. Distribución del IRI, tramo Catac - Huaraz 181
Grafico N°4. 12. Deflexión máxima normalizada, tramo Conococha – Catac 184
Grafico N°4. 13. Deflexión máxima normalizada, tramo Catac - Huaraz 184
Grafico N°4. 14. Deflexión admisible, tramo Conococha – Catac 185
Grafico N°4. 15. Deflexión admisible, tramo Catac – Huaraz 185
Grafico N°5. 1. Avance promedio de reciclado con asfalto espumado en la carretera Conococha – Huaraz 199
Grafico N°5. 2. Explotación de material de cantera para base granular 202
Grafico N°5. 3. Cantidad de material excedente a eliminar 202
Grafico N°5. 4. Costo de material de cantera para base granular 205
Grafico N°5. 5. Costo de eliminación de material excedente a DMEs 205
Grafico N°5. 6. Costo total de insumo mano de obra técnica RPTAE vs técnica convencional 206
Grafico N°5. 7. Costo total de insumo materiales técnica RPTAE vs técnica convencional 206
Grafico N°5. 8. Costo total de insumo de equipos técnica RPTAE vs técnica convencional 207
Grafico N°5. 9. Costo total de gastos generales técnica RPTAE vs técnica convencional 207
Grafico N°5. 10. Costo total de consumo de energía técnica RPTAE vs técnica convencional 208

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla N°2. 1. Valores de Razón de Expansión y Vida Media, por el tipo de asfalto 91
Tabla N°2. 2. Valores mínimos de los parámetros del asfalto espumando 93
Tabla N°2. 3. Relación entre la Razón de Expansión real (ERa) y la Razón Expansión máxima medida (ERm) 95
Tabla N°2. 4. Contenido de asfalto espumado relativo a la granulometría del agregado 102
Tabla N°2. 5. Resistencia a la tracción indirecta de materiales estabilizados con asfalto espumado 103
Tabla N°2. 6. Rangos de Mr, típicos para material estabilizado con asfalto espumado, ensayos en laboratorio 104
Tabla N°3. 1. Distribución granulométrica recomendada por la experiencia Sudafricana 111
Tabla N°3. 2. Requisito para la gradación del material granular adicionada 112
Tabla N°3. 3. Proporciones de aporte de materiales para diseños de mezcla e=0.175 125
Tabla N°3. 4. Proporciones de aporte de materiales para diseños de mezcla e=0.20 125
Tabla N°3. 5. Flujo de agua inyectada 127
Tabla N°3. 6. Flujo de agua inyectada (lt/h) para el equipo calibrado 127
Tabla N°3. 7. Resumen de ensayos de espumación, razón de expansión y vida media 128
Tabla N°3. 8. Tiempo de flujo de asfalto (seg) 131
Tabla N°3. 9. Resumen de datos necesarios para el diseño 131
Tabla N°3. 10. Resumen de resistencia a la tracción indirecta obtenidos de los diseños de mezcla 132

Tabla N°3. 11. Periodos típicos de diseño 134
Tabla N°3. 12. Factor de distribución por carril DL 134
Tabla N°3. 13. Número de ejes equivalentes de 8.2 ton 135
Tabla N°3. 14. Niveles sugeridos de confiabilidad 135
Tabla N°3. 15. Desviación standard del error combinado en la (Zr) 136
Tabla N°3. 16. Coeficiente de drenaje de bases y sub base granulares 138
Tabla N°3. 17. Coeficiente estructural para ambas técnicas 143
Tabla N°3. 18. Resumen de diseño estructural para RPTAE, tramo Conococha – Catac 144
Tabla N°3. 19. Resumen de diseño estructural para RPTAE, tramo Catac - Huaraz 145
Tabla N°3. 20. Resumen diseño estructural técnica convencional, tramo Conococha - Catac 146
Tabla N°3. 21. Resumen diseño estructural técnica convencional, tramo Catac - Huaraz 147
Tabla N°4. 1. Área esparcida y espaciamiento longitudinal 171
Tabla N°4. 2. Estadística de IRI, tramo Conococha - Huaraz 179
Tabla N°4. 3. Estadística de IRI tramo Catac – Huaraz 179
Tabla N°4. 4. Índice de serviciabilidad, tramo Conococha - Catac 180
Tabla N°4. 5. Índice de serviciabilidad, tramo Catac – Huaraz 180
Tabla N°4. 6. Estadísticas de máximas deflexiones, tramo Conococha – Catac 182
Tabla N°4. 7. Estadísticas de máximas deflexiones, tramo Catac – Huaraz 182

INTRODUCCIÓN

Los trabajos de mantenimiento periódico son realizados generalmente en el primer año de intervención en los proyectos de infraestructura vial tienen una amplia gama de opciones como alternativas que van desde las sistemas tradicionales hasta las más modernas, como es el caso de reciclado en frío de pavimentos asfálticos con la tecnología del asfalto espumado y es evidente que depende de los recursos económicos con los que se cuenta para realizar la intervención.

Una de las actividades que mayor cantidad de residuos genera son las técnicas convencionales, en búsqueda de alternativas para reducir este impacto ambiental han ido generándose nuevos conceptos y principios dentro de un marco denominado "sostenibilidad" cuyo principio es Reducir, Reciclar y Reutilizar, que ha contribuido a reducir la producción y acumulación de residuos mediante tecnologías constructivas que emplean materiales reciclados.

A través del desarrollo del presente trabajo de investigación se presentan las definiciones de los componentes del paquete estructural y los diferentes factores que causan el deterioro del pavimento, para ello se explica las diferentes alternativas de solución respecto al mantenimiento vial que se desarrollan actualmente en el país. La descripción de la evaluación del pavimento del corredor vial, permite conocer el estado en que se encuentro la vía antes de colocar el asfalto espumado y los beneficios futuras alcanzados hasta el término de periodo de diseño.

También se destaca en este trabajo la importancia de conocer la composición, clasificación, fortalezas, debilidades, ensayos y la susceptibilidad termina de los ligantes asfalticos para obras de pavimentación, de misma manera se describe sobre los pavimentos indicados para el reciclado, sus ventajas y categorías del reciclado en frio y en In situ.

Además se hace un enfoque de los principios en los cuales se fundamenta la tecnología del asfalto espumado, sus principales beneficios y aplicaciones en los proyectos, el conocimiento de materiales intervenidos para el diseño de mezclas con asfalto espumado.

Así mismo se desarrolla los pasos para determinar el espesor de la estructura del pavimento, que se utilizó para desarrollar un análisis de precios unitarios, a detalle para las subpartidas intervenidos en el proyecto de conservación periódica y finalmente se realizó la comparación con el sistema convencional.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

El reciclado de pavimentos asfálticos se inicia en los EE.UU de América desde el año 1915, pero recién en principios de la década de los 70, donde toma importancia debido a la crisis de precios del petróleo en el año 1973, generando aumento de precios y al mayor interés por la conservación de energía y medio ambiente, resultado de eso se dio una continua aparición de nuevos equipos más potentes, de mejores productos y procesos de reciclaje (Galván Huamaní, 2015).

En el año de 1984 EE.UU de América empezó su proyecto de investigación en las ciudades de Oregón y Nuevo México. El Departamento de Transportes de Oregón (ODOT) realizó su primer proyecto sobre la Región N° 04, lugar donde las temperaturas extremas y la oxidación del asfalto eran un serio problema para los pavimentos. Los resultados de la evaluación a 52 proyectos indicaron que 47 tenían un desempeño bueno o muy bueno y, de este modo, decidieron utilizar esos datos para la revisión del diseño de mezcla y las

operaciones de construcción. Para el año 1990, más de 450 millas de mezcla reciclada fueron colocadas en Oregón. En Nuevo México, evaluaron el desempeño de 45 proyectos construidos en el año 1984 y concluyeron que más del 90% de pavimentos se encontraban en excelentes condiciones. En Indiana la evaluación de ciertas vías, un año después de su construcción en el año 1986, indicaba un mejor desempeño para secciones con mezcla reciclada en frío en comparación con un pavimento rehabilitado de manera convencional (Galván Huamaní, 2015).

En el año 1985, la Unión Europea impulsa proyectos donde se desarrolló las técnicas de reciclado, para elaborar de esta manera especificaciones técnicas en base a los resultados. En la República Checa iniciaron trabajos desde el año de 1989, encontrando obstáculos iniciales como la falta de inversión para nuevos estudios y una política de Estado orientada al mantenimiento de carreteras con técnicas tradicionales (Galván Huamaní, 2015).

Entre los países asiáticos se encuentra Malasia como el primero en usar el reciclado en frío en el año 1993, seguido por Japón el mismo año y en 1995 por Tailandia. La tecnología se extendió a Indonesia en 1997, y para 1998 a las Filipinas y China. Gracias a la experiencia que para ese momento ya existía en el mundo, los procesos de reciclado tuvieron rápida aceptación y se justificaban en términos de ahorro de costos y beneficios ambientales. (Galván Huamaní, 2015).

En la década de 1990, Brasil inicia con la investigación del reciclado en frío in-situ, incorporando emulsiones para homogenizar mezclas. El primer tramo se realizó en noviembre de 1993 en la carretera BR-393/RJ, sección entre Além Paraiba y Sapucaia (Galván Huamaní, 2015).

De acuerdo con lo señalado por Marini (2006) la rehabilitación de pavimentos con técnicas de reciclado podría estimarse en disminución de los costos en un 25% y disminución del uso de agregado virgen en 7000 toneladas por kilómetro. Se realizaron intentos de implementar las técnicas de reciclaje masivamente en los años 70' que no surtieron efecto sino hasta la década de

los 80', para finalmente observar en la década de los 90 el florecimiento de estas técnicas. Además Marini (2006) afirma que los países donde más se utiliza el RAP (Pavimentos Asfálticos Recuperados) en técnicas de reciclaje de pavimento son:

- España, en donde se construyeron entre 1990 y 1998, 5'000.000 de metros cuadrados de pavimento empleando la técnica de reciclaje en frio in situ.
- Holanda, en donde el 60% del asfalto producido contiene un buen porcentaje de materiales reciclados.
- Francia, en donde las técnicas de reciclaje en frio y caliente suman la producción de 54000 toneladas de pavimento en la década del 90', siguiendo la tendencia de agregar 10% de RAP en las plantas de producción de asfalto en caliente.
- Italia, en donde se recicla en promedio el 5% de los pavimentos asfálticos.

En el año 1999, en Chile se publicaron artículos por Guillermo Thenoux Z., catedrático de la Pontificia Universidad Católica de Chile, en la Revista Ingeniería de la Construcción del mismo país. Fueron tres artículos donde los dos primeros detallaron el marco teórico de la técnica y el tercero presentó resultados de un estudio enfocado a investigar en laboratorio una metodología de dosificación de mezcla reciclada con emulsión. El material reciclado utilizado fue del pavimento existente en el aeropuerto internacional de Santiago de Chile (Vildoso Flores & Espinoza Juro, 2014).

En el año 2001, Argentina inicia el reciclado del pavimento en la Ruta Provincial N°05 de la provincia de Santa Cruz y observaron con los resultados obtenidos que era posible el aumento en la producción, ya que lograron producir unas 200 ton/hora frente a los sistemas tradicionales con producción de 50 ton/hora (Galván Huamaní, 2015).

Para el año 2007, el Ministerio de la Construcción en Cuba adquiere maquinaria para el reciclado en frío e inicia el proyecto de aplicación en la

carretera Holguín-Guardalavaca. En julio del 2008 se realizaron las pruebas de reciclado y en octubre de ese año iniciaron oficialmente sus trabajos (Galván Huamaní, 2015)

En el año 2011, en Colombia se adoptaron la resolución IDU 4428, a Guía para reciclaje de pavimento asfáltico in situ estabilizado con aditivos bituminosos y/o hidráulicos (GU-GE-011) y la Guía para estabilización del material producto del reciclaje en frío de pavimentos asfálticos (GU-GE-010) (Hernández Hernández, 2014).

En el año 2007 el Ministerio de Transportes y Comunicaciones dio en funcionamiento el programa de desarrollo vial denominado "Proyecto Perú" diseñado por PROVIAS NACIONAL, en el cual, impulsaron el uso de nuevas tecnologías como el reciclado de pavimentos para caminos de acuerdo al volumen de tránsito. Por ello la alternativa de reciclado con asfalto espumado la desarrollo la empresa Mota Engil S.A (Ex Translei) en la carretera de acceso a la minera Antamina en el año 2008, ejecutados desde Conococha a Yanacancha, con una longitud de 120 Km. De esta manera la empresa Mota Engil en el año 2009 se corono como los pioneros en la utilización del asfalto espumado en el Perú. Otra experiencia desarrollado en el Perú con la tecnología de asfalto espumado fue por el consorcio Cosapi S.A – Translei S.A, en el proyecto de conservación vial de la carretera Conococha – Huaraz - Caraz, en el cual se ejecutó la técnica de reciclado en frio en sitio del pavimento existente con el empleo de la tecnología con asfalto espumado de 144 Km, en el mantenimiento periódico, en donde el uso de esta tecnología a más de 4,000 m.s.n.m (Conococha) y en Callejón de Huaylas y a término de contrato del proyecto se ha obtenido buenos resultados.

También en el año 2013 la empresa Conalvias S.A.C – Sucursal Perú, utilizo la tecnología de reciclado con asfalto espumado en la carretera central, correspondientes a Ruta Nacional PE-3N y PE-18A del Perú, la cual comunica la ciudad de Lima con la Selva Central del país y que pasa por importantes centros urbanos tales como la Oroya, Cerro de Pasco (4380 m.s.n.m), Chicrín (3500 m.s.n.m), Huánuco (2064 m.s.n.m), Tingo María y Pucallpa, de 200 Km,

por lo que se tiene un importante tránsito pesado, el cual es constante durante todas las épocas del año.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las carreteras de la Red Vial del Perú no tuvieron una política de conservación adecuada durante muchos años, haciendo prevalecer de esta manera en las instituciones las acciones correctivas frente a las acciones preventivas, a tal punto que muchas de estas vías se encuentren colapsadas o en pésimas condiciones de transitabilidad.

La necesidad de recuperar muchos miles de kilómetros de carretera; ya que estas son vías de integración de corredores económicos para conformar ejes de desarrollo sostenido en la Red Vial Nacional (RVN), Departamental (RVD) y Vecinal (RVV) en todo el Perú, presentan un escenario con un gran reto para los técnicos, ingenieros viales, ya que tienen que conservar un gran patrimonio vial con recursos financieros siempre escasos. Se suma a esto el aumento de los precios de los productos derivados del petróleo; el progresivo agotamiento de las fuentes de obtención de los agregados pétreos de buena calidad y el incremento de los precios en las canteras; la influencia notable de los costos del transporte cuando los agregados pétreos de calidad se encuentran a distancias mayores de las obras; los aspectos ecológicos y la necesidad de conservar el medio ambiente; son las razones por el cual actualmente existe una tendencia a la reutilización de los materiales existentes; obligando a las agencias de investigación a estudiar y aplicar técnicas de mantenimiento innovadoras y menos onerosas, pero con un comportamiento similar a las alternativas convencionales, para así aprovechar los recursos de una manera más racional y eficiente.

En el Perú 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 en un momento oportuno, 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 de mejorar y pavimentar las vías. De acuerdo con lo señalado por Goyzueta Torres (2015) de los 141,867.00 kilómetros de carreteras que posee el país, el 84.9 % son vías no pavimentadas (120,505 kilómetros), el 15.1% son pavimentadas (21,362 kilómetros).

1.2.1 Problema general

¿Qué ventajas se reportaron de la aplicación del reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz en los años 2010 al 2011?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿En qué medida la técnica de reciclado con asfalto espumado reduce el tiempo efectivo de ejecución y mejora la resistencia respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha - Huaraz?

- ¿De qué manera la técnica de reciclado con asfalto espumado minimiza el impacto negativo al entorno ambiental respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha - Huaraz?

- ¿En qué porcentaje se reduce las ventajas económicas al aplicar la técnica del reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha - Huaraz?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Establecer las ventajas reportados de la aplicación del reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz, en los años 2010 al 2011.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el tiempo efectivo de ejecución y la resistencia como ventajas técnicas de la aplicación del reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz.

- Precisar las ventajas ambientales de la aplicación del reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz.

- Analizar las ventajas económicas de la aplicación del reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las mezclas de reciclado de pavimentos con la tecnología de asfalto espumado (RPTAE) presentan ventajas especiales frente a técnicas convencionales, las más importantes son las del tipo energéticas y ambientales. Desde el punto de vista constructivo, el empleo de técnicas modernas especialmente desarrolladas para este tipo de aplicación, le confiere ventajas adicionales en comparación a otro tipo de técnicas constructivas; específicamente admite mayor tolerancia en la especificación de agregados y los procesos constructivos pueden ser de muy alto rendimiento.

El asfalto espumado puede ser usado como un agente estabilizador con una variedad de materiales que van desde gravas chancadas, de buena calidad, hasta suelos marginales con plasticidad relativamente alta (característica típica de suelos de nuestra selva peruana) y también en materiales asfálticos reciclados. La investigación a realizar permitirá identificar los criterios para la aplicación de tecnología del asfalto espumado en el reciclado de pavimentos asfalticos, y a partir de ella se obtendrá un documento técnico que servirá como una guía en el desarrollo de nuevos proyectos de investigación (tesis,

revistas de investigación y monografías) y en la construcción y rehabilitación de futuros proyectos de infraestructura vial. De esta manera se planteó una tecnología nueva e innovador en el país, con ventajas favorables para el medio ambiente y en el uso racional de recursos no renovables, además hay un vacío enorme en cuanto a investigación sobre esta tecnología en el Perú.

1.5 METODOLOGIA

Se presenta una investigación de tipo descriptivo, comparativo y de corte transversal. En los cuales se desarrolla una investigación bibliográfica general de los conceptos generales, ventajas y diseño del reciclado de pavimentos con la tecnología del asfalto espumado así como los demás componentes que forman parte de la carpeta asfáltica.

Así mismo se procedió a realizar a la revisión y el análisis detallado de toda la información referente de los registros de informes mensuales, informes anuales de producción, control de calidad, costos y de inventarios viales, todo este trabajo se realizó para el primer año de intervención (mantenimiento periódico) en donde se utilizó la técnica RPTAE y para el caso de inventario vial se revisó hasta el último relevamiento de información del año 2014, en donde culmino el contrato de conservación vial por niveles de servicio. También se accedió al Plan de Conservación Vial (PCV) del proyecto en estudio, para ver las obras propuestas por sectores homogéneos para el mantenimiento periódico en la fase pre operativo, que garantizo la durabilidad del pavimento por un periodo de 5 años. Además se revisó y se analizó el diseño de mezclas de RAP, que se realizó en el laboratorio de Wirtgen (WLB 10S), para ver los materiales que fueron utilizados en el reciclado con asfalto espumado, tales como el agua para espumación, para el mezclado y el contenido de asfalto. Con la información de los documentos señalados en el párrafo anterior se calculó los insumos utilizados tanto de equipos, materiales y mano de obra para la RPTAE. Para el desarrollo del análisis comparativo entre ambas técnicas es importante conocer el diseño estructural, proceso constructivo, equipos y materiales que intervienen en la técnica convencional es por ello que se optó por utilizar las recomendaciones de Ibáñez (2010), el

cual desarrollo un análisis detallado de rendimiento de equipos para diferentes regiones del Perú, también explica el uso de materiales, mano de obra y otros temas indispensables en proyectos de carreteras.

Luego se detalló las ventajas técnicas, económicas y ambientas de la aplicación de la tecnología de asfalto espumado en el reciclado de pavimentos asfalticos in-situ, respecto de la técnica convencional.

Además el proyecto de investigación desarrollado solo tiene alcance a los planes de mantenimiento periódico del pavimento existente de la carretera Conococha – Huaraz desarrollados entre los años 2010 al 2011. Es por ello que para este primer año de mantenimiento se desarrolló la comparación de la técnica RPTAE versus la técnica convencional. El contrato por niveles de servicio de este proyecto es por un periodo de cinco años.

1.6 HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.6.1 Hipótesis

1.6.1.1 Hipótesis general

La aplicación del reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional reportó ventajas, del tipo técnico, ambiental y económico, en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz entre los años 2010 al 2011.

1.6.1.2 Hipótesis específicos

- Las ventajas técnicas reportadas reducen el tiempo efectivo de ejecución y mejoran la resistencia, en la aplicación de la técnica de reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz.

- Las ventajas ambientales reportadas minimizan el impacto negativo al entorno ambiental, en la aplicación de la técnica de reciclado con

asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica de la carretera Conococha – Huaraz.

- Las ventajas económicas reportadas se reducen en la aplicación de la técnica de reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz.

1.6.2 Variables

1.6.2.1 Variables de estudio

- Ventajas de la técnica del reciclado con asfalto espumado

- Ejecución y control de calidad de la base reciclada con asfalto espumado

1.6.2.2 Operacionalización de variables

En el Cuadro N°1.1 se observa la matriz de Operacionalización de variables, en ella se establece las dos variables de estudio planteados en esta investigación, para cada variable se menciona el concepto con sus respectivos fuentes de referencia. Asimismo se señala las dimensiones, indicadores e instrumentos de evaluación, los cuales fueron utilizados para el análisis y desarrollo de los objetivos planteados. Las variables planteadas en las líneas arriba además se utilizaron para la contratación de afirmaciones supuestas, que pueden ser aceptadas o rechazadas. Estas afirmaciones fueron analizadas de una serie de cálculos e interpretación de gráficas, las cuales se menciona en el capítulo IV y V. Finalmente estos variables de estudio tienen el soporte conceptual, el cual permite desarrollar una investigación seria e importante en el rubro de mantenimiento de carreteras.

Cuadro N°1. 1. Operacionalización de variables

Variables de estudio	Concepto	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Ventajas de la técnica del reciclado en frio in-situ con asfalto espumado	Las mezclas producidas con el reciclado de asfalto espumado tienen un comportamiento estructural similar a una mezcla tradicional (Macarrone et. al., 1993), pero difieren en su estructura interna. Las mezclas con asfalto espumado presentan ventajas especiales frente a mezclas tradicionales entre estas las más importantes son las del tipo energéticas, ambientales y económicos (Akeroyd y Hicks, 1988). Desde el punto de vista constructivo admiten mayor tolerancia en la especificación de agregados y los procesos constructivos pueden ser de muy alto rendimiento (Thenoux Z. y Jamet A., 2002).	Ventajas Técnicos	Proceso constructivo de alto rendimiento	Informe de producción
			Periodo de ejecución	Informe de producción
			Apertura de tránsito en un menor tiempo después del mezclado y compactación	Informe de producción
			Características estructurales	Plan de Conservación Vial (PCV)
		Ventajas Ambientales	Disminución de explotación de canteras	Informe de producción
			Menor emisión de CO_2	No se reporto
		Ventajas Económicas	Ahorro en el costo de mantenimiento por km	Informe de oficina técnica
			Disminución en el costo de consumo de insumos (mano de obra, equipos y materiales)	Informe de oficina técnica
			Ahorro en gastos generales	Informe de oficina técnica
			Consumo de energía	Informe de oficina técnica
Ejecución y control de calidad de la base reciclada con asfalto espumado	El control de calidad para este tipo de tecnologías debe llevarse a cabo tanto a nivel de laboratorio como de terreno tales como el alineamiento, calidad de RAP, espesor de reciclado, ensayo de ITS, control de densidad (≥ 98%DMCS), consumo de asfalto, cemento y control de resistencia (Thenoux Z. et al., 2003).	Empresa Ejecutora	Ejecución con la tecnología del reciclado de pavimento con asfalto espumado	Informe de control de calidad Informe de inventario vial
		Supervisor	Control de la ejecución del reciclado de pavimento con asfalto espumado	Documentos de conformidades técnicos (Nivel de servicio)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DEL PAVIMENTO

2.1.1 Definición de pavimento flexible

Es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 23).

2.1.2 Estructura del pavimento

La estructura de pavimento realiza el trabajo de resistir los esfuerzos que las cargas repetitivas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada. El peso de los vehículos aplicado en la superficie se transfiere o disipa a la subrasante a través de la estructura de pavimento. Las cargas producidas por el tráfico, en la superficie de la vía, se van distribuyendo sobre

un área más grande a medida avanza sobre las capas inferiores y decrece con la profundidad, tal como se visualiza en la Figura N°2. 1 (Wirtgen GmbH , 2004).

Menéndez Acurio (2013) señala que las funciones de la estructura de pavimento es proporcionar a los usuarios circulación segura, cómoda y confortable sin demoras excesivas, proporcionar a los vehículos acceso entre dos puntos bajo cualquier condición de clima y reducir, distribuir la carga de tráfico para que esta no dañe la subrasante. Además cumplir requerimientos medio ambientales y estéticos, limitar el ruido y la contaminación del aire.

Los requisitos que debe cumplir una estructura de pavimento es tener suficiente espesor para que la intensidad de las cargas y presiones sea tolerable por la subrasantre, sin deformaciones excesivas y para prevenir el efecto de congelamiento en la subrasante. Es decir debe tener la resistencia suficiente de los componentes para asumir los esfuerzos impuestos por el tráfico y el clima. También el material del pavimento debe ser impermeable a la penetración del agua superficial que pudiera debilitar la subrasante y consecuentemente el pavimento o es su defecto facilitar la circulación del agua disminuyendo su permanencia en la estructura. La superficie del pavimento debe ser resistente al deslizamiento (Menéndez Acurio, 2013).

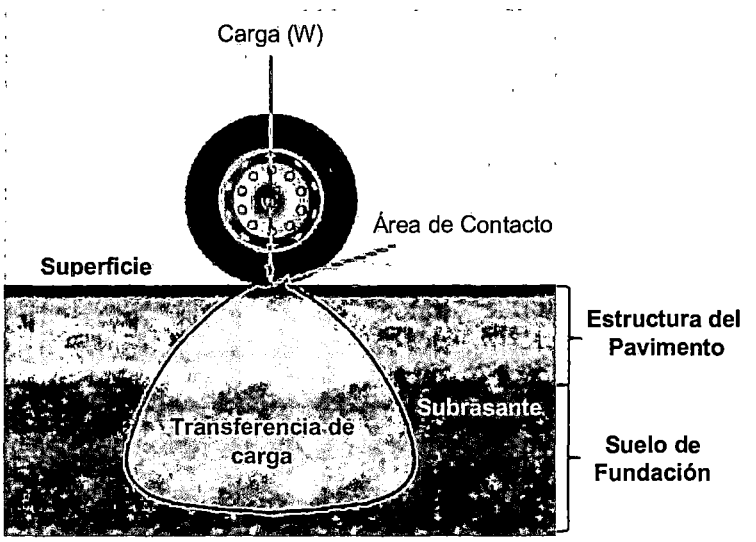


Figura N°2. 1. Transferencia de carga a través de la estructura del pavimento
Fuente: (Wirtgen GmbH, 2010, pág. 16)

2.1.3 Componentes del pavimento flexible

Los pavimentos flexibles se componen de una capa llamada carpeta de rodadura, apoyada sobre dos capas denominadas base y sub-base. Todo el conjunto se apoya sobre el terreno o subrasante, al cual llega una mínima parte de la carga vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.1.3.1 Carpeta de rodadura

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito

2.1.3.2 Base

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante (CBR ≥ 80%) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

2.1.3.3 Subbase

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular (CBR ≥ 40%) o tratada con asfalto, cal o cemento.

2.1.3.4 Subrasante

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR ≥ 6%. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), se procederá a la estabilización de los suelos, para lo cual se analizarán alternativas de solución, de acuerdo a la naturaleza del suelo, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica.

2.1.4 Factores que causan el deterioro del pavimento

Los factores más importantes que generan el deterioro en los pavimentos son: los efectos medio ambientales, las cargas de tráfico (Wirtgen GmbH, 2010)

2.1.4.1 Factores ambientales

Los factores medio ambientales son responsables de la mayor parte del inicio del agrietamiento superficial. El principal factor que contribuye a este fenómeno es la radiación ultravioleta solar, que causa un endurecimiento lento pero continuo del asfalto. 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.

2.1.4.2 Efectos del tráfico

La carga de tráfico es la responsable, generalmente, de la aparición del ahuellamiento y de la aparición de grietas dentro de la estructura de pavimento. Todo vehículo que utilice un camino va a producir una pequeña deformación momentánea en la estructura de pavimento. El paso de una gran cantidad de vehículos tiene un efecto acumulativo que gradualmente lleva a una deformación permanente y/o agrietamiento de fatiga en el pavimento. Es importante destacar que los ejes sobrecargados de los camiones pesados producen un efecto extremadamente nocivo en la estructura de pavimento, acelerando el deterioro. Este deterioro es causado básicamente por dos mecanismos dentro de la estructura de pavimento:

- Deformación permanente causada por densificación, donde las tensiones de cargas repetitivas hacen que las partículas dentro de las capas del pavimento se aglomeren más, produciendo una reducción en los vacíos de los materiales.

- Agrietamiento de fatiga en materiales ligados. Este se inicia en la parte inferior de la capa, donde la deformación unitaria de tracción producida

por las cargas de rueda alcanza su máxima magnitud. A partir de este punto de la capa, las grietas se propagan hacia la superficie.

2.1.4.3 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 agregado en el asfalto. Bajo estas condiciones, la fracción fina del material de pavimento se puede mover dentro de la estructura. Frecuentemente, la fracción fina suele ser expulsada fuera del pavimento a través de las grietas, 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.

2.1.5 Evaluación de pavimentos

El conocimiento de las condiciones en que se encuentra un pavimento y de su comportamiento a través del tiempo, son tópicos de vital importancia para el organismo encargado de su diseño, construcción, conservación y operación; sin embargo, dichos tópicos interesan en forma fundamental al numeroso grupo de usuarios de los pavimentos, tanto urbanos como carreteros y aeroportuarios, por las implicaciones que tienen en la seguridad y economía del transporte.

Menéndez Acurio (2013) señala que la evaluación de un pavimento, además de proporcionar la información de su estado en el momento en que se realice, proporciona información de gran utilidad para constituir la experiencia del

organismo, que contribuye a la constante mejora en los aspectos de diseño y construcción de pavimentos nuevos o sometidos a procesos de rehabilitación, así como a la eficiencia técnica y económica de estos últimos (ver la Figura N°2. 2).

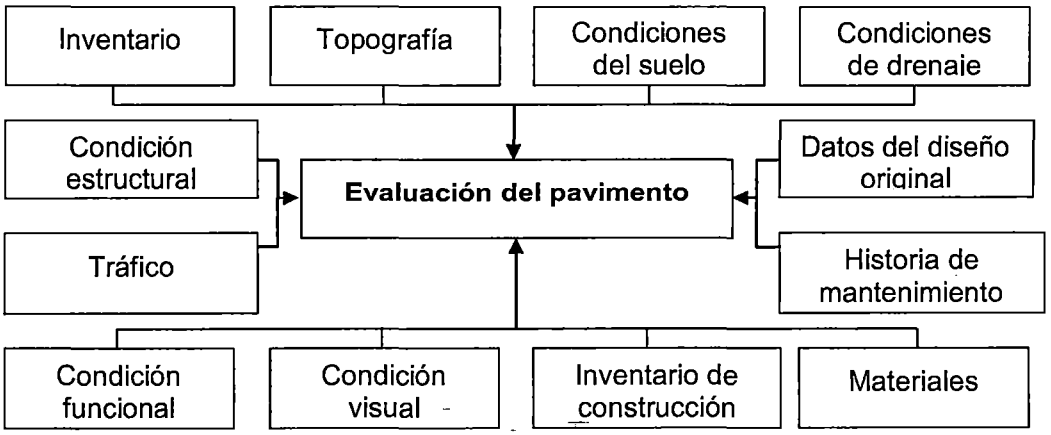


Figura N°2. 2. Requerimiento de información para la evaluación del pavimento
Fuente: (Menéndez Acurio, 2013, pág. 134)

2.1.5.1 Evaluación de la condición superficial

2.1.5.1.1 Evaluación visual manual usando la metodología PCI

El índice de condición del pavimento (Pavement Condition Index - PCI) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos dentro de los métodos de gestión vial disponibles en la actualidad. Es un indicador de la salud de la vía (Fernández Machado, 2010).

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) y Normado por ASTM D5340-98

La metodología de PCI es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las formulaciones que constituyen el sistema. Se puede utilizar cualquier escala; sin embargo es conveniente usar

una que sea lo suficientemente grande para que permita distinguir con número enteros a pavimentos en diferente condición. (Fernández Machado, 2010).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados producto de una inspección e inventario visual de la condición o estado de un pavimento, en la cual se establece Clase, Severidad y Cantidad de cada daño que se presenta. El método del PCI se desarrolló para obtener un índice de integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie en donde su escala es del 0 a 100, la información de los daños obtenida bajo esta metodología nos ofrece una percepción clara de la causa de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

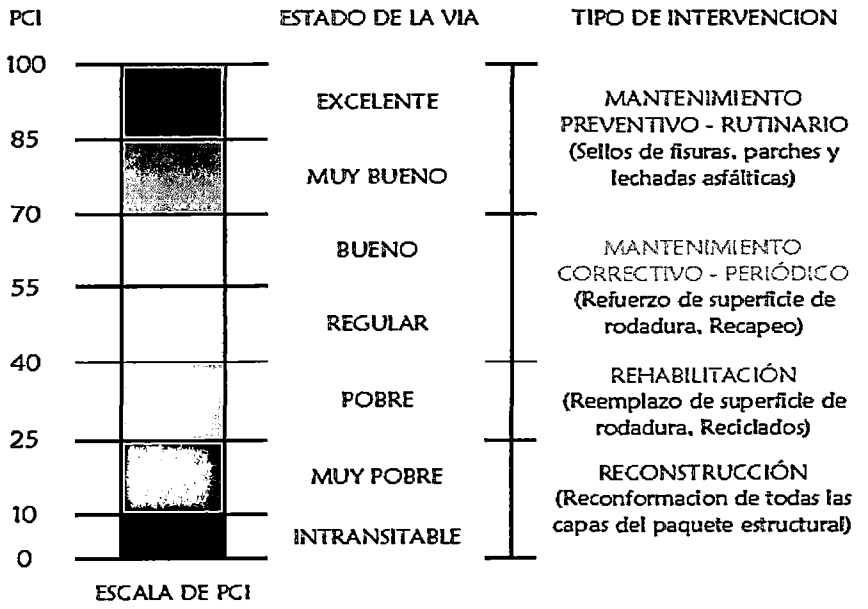


Figura N°2. 3. Tipo de intervención según escala de PCI

Fuente: (Fernández Machado, 2010, pág. 20)

En 1987, el SHRP (Strategic Highways Research Program - Programa Estratégico de Investigación de Carreteras) dio inicio al mayor ensayo sobre funcionamiento de carreteras en el mundo conocido como el Manual de Identificación de Fallas para el Proyecto de Comportamiento de Pavimentos a Largo Plazo (LTPP o Long Term Pavement Performance). Durante este programa de 20 años, las agencias de carreteras de los EEUU y de otros 15 países recolectaron datos sobre la condición de los pavimentos. Así este manual es la base uniforme y consistente para la toma de datos de fallas en

los pavimentos proporcionando un lenguaje común para describir las mismas (Fernández Machado, 2010). De acuerdo a LTPP los tipos de fallas están identificadas en 5 grandes grupos del siguiente modo tal como se visualiza en el Cuadro N°2. 1.

A. Agrietamientos.
B. Parches y Baches.
C. Deformaciones Superficiales.
D. Defectos Superficiales.
E. Fallas Diversas.

Cuadro N°2. 1. Manual para identificación de fallas LTPP

Tipos de Fallas en Pavimentos con Superficie de Concreto Asfaltico	Unidad Medida	Niveles de Servicio
A.-Agrietamiento		
1. Rotura de Fatiga	m2	SI
2. Agrietamiento en Bloque	m2	SI
3. Agrietamiento de Borde	m	SI
4. Agrietamiento Longitudinal sobre la Huella	m	SI
Agrietamiento Longitudinal fuera de Huella	m	SI
5. Agrietamiento Transversal Reflejo en Juntas	Número, m	SI
Agrietamiento Longitudinal Reflejo en Juntas	m	SI
6. Agrietamiento Transversal	Número, m	SI
B.-Baches		
7. Parches / Deterioro en los Parches	Número, m2	SI
8. Baches	Número, m2	SI
C.-Deformaciones Superficiales		
9. Ahuellamiento	mm.	NO
10. Corrimiento	Número,m2	NO
D.-Defectos Superficiales		
11. Exudación	m2	SI
12. Agregado Pulido	m2	NO
13. Peladura	m2	SI
E.-Fallas Diversas		
14. Desnivel Pista - Berma	mm.	NO
15. Eyección de Agua y Bombeo	Número, m	NO

Fuente: (John S. Miller y William Y. Bellinger, 2014, pág. 1)

En vista de las variaciones de severidad que presentan los diversos tipos de fallas, se han descrito los diferentes niveles en el método para cada falla. Estos pueden ser de tipo: Leve (L), Moderado (M) y Severo (S).

2.1.5.1.2 Metodología VIZIR

La metodología "VIZIR es un Método computarizado para la estimación de necesidades en el mantenimiento de una red carretera", desarrollado en Francia a partir de los años 60 y actualmente es utilizado en varios países del mundo, consiste en una herramienta para realizar una evaluación visual de los daños, estos pueden catalogarse como daños estructurales y daños superficiales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, pág. 171) También contempla la gravedad y dimensión del daño, un esquema de este puede observase en la siguiente Figura N°2. 4.

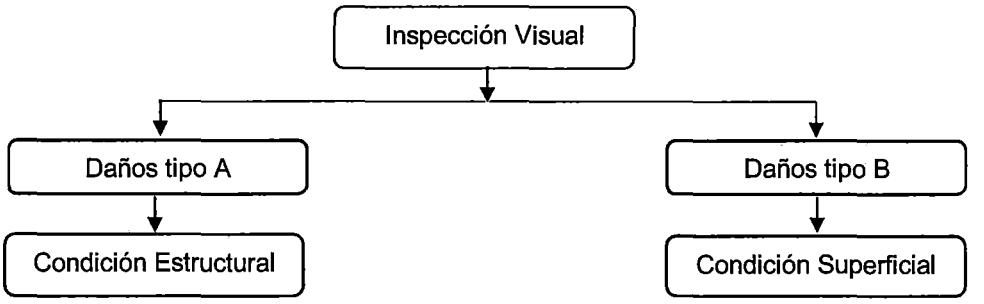


Figura N°2. 4. Esquema de inspección visual en metodología VIZIR
Fuente: (LanammeUCR, 2008)

El método clasifica los deterioros de los pavimentos asfálticos en dos grandes categorías, A y B. Las degradaciones del Tipo A caracterizan una condición estructural del pavimento, se trata de degradaciones debidas a insuficiencia en la capacidad estructural de la calzada. Estos daños comprenden las deformaciones y los agrietamientos ligados a la fatiga del pavimento. Las degradaciones del tipo B, en su mayoría de tipo funcional, dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la calzada. Su origen se encuentra más bien en deficiencias constructivas y condiciones locales particulares que el tránsito ayuda a poner en evidencia. Entre los deterioros del tipo B se pueden citar los agrietamientos motivados por asuntos distintos a la fatiga, los ojos de pescado, los desprendimientos y los afloramientos.

Para efectos de su corrección, los daños del tipo A y B se enfrentan de diferente manera. En el caso de los tipo B, la solución de mantenimiento se

deriva del simple reconocimiento de su existencia, no siendo necesario apelar a otros parámetros para realizar el diagnostico, en cambio, la solución de los problemas que se manifiestan por medio de daños del tipo A depende de múltiples factores y, por lo tanto, el diagnostico exigirá la consideración de aspectos tales como la capacidad portante, la calidad de los materiales existentes, el transito futuro, etc. Los daños de este tipo suelen generar trabajos importantes de rehabilitación del pavimento. Por lo tanto, el índice visual global (denominado Índice de Deterioro Superficial, Is) que califica el estado del pavimento solo tiene en cuenta los daños del tipo A. (Ceron Bermudez, 2006, pág. 16).

Los índices de Deterioro Superficial (Is), establecidos durante el proceso de calificación y cuantificación de los deterioros del pavimento, definen tres casos generales:

- Caso 1: Valores de 1 y 2 representan pavimentos con agrietamientos y deformaciones, que presentan un buen aspecto general y que, probablemente, no requieran en el momento más que acciones de mantenimiento rutinario.

- Caso 2: Valores 3 y 4 representan pavimentos con agrietamiento estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos no figurados pero con deformaciones de alguna importancia. Su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado como para poner en marcha tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad.

- Caso3: Valores 5, 6 y 7 son indicativos de pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes, cuyo deficiente estado superficial exige la ejecución de trabajos importantes de rehabilitación.

En resumen las calificaciones para la metodología VIZIR se indica en el Cuadro N°2. 2, en donde varía entre 1 y 7, la calificación Buena indica poca o ninguna fisura o deformación, la calificación Regular indica fisuras sin o con

deformación (Deformación sin fisuras) y la calificación Deficiente indica fisuras y deformación presentes en el pavimento. Pero no constituyen un criterio suficiente para definir las acciones que requiere la calzada para su rehabilitación.

Cuadro N°2. 2. Rangos de calificación de la metodología VIZIR

Rango de Índice de daño superficial (Is)	Calificación
1 y 2	Bueno
3 y 4	Regular
5, 6 y 7	Deficiente

Fuente: (Ceron Bermudez, 2006, pág. 17)

MTC (2014) establece una metodología para determinar la condición superficial de pavimentos flexibles. Los daños de los pavimentos flexibles son indicadores básicos para el diagnóstico de la condición de los mismos. Se presentan en forma de Catálogo y provienen del método "VIZIR". Dicho Catálogo tiene por objeto la clasificación y cuantificación de los daños de pavimentos flexibles, y define tres niveles de gravedad o severidad para cada tipo de daño.

En el Cuadro N°2. 2 se presenta la lista de daños y los criterios de calificación considerados por la metodología VIZIR y adoptado por Ministerio de Transporte y Comunicaciones. El objetivo del uso del Cuadro N°2. 3 es describir los daños que influyen de manera significativa en los costos de obras de mantenimiento al nivel de la red y que se toman en cuenta para el planeamiento y la administración del mantenimiento.

Cuadro N°2. 3. Daños de los pavimentos flexibles

Clasificación de los daños	Código de daño	Daños	Gravedad
Daños estructurales	1	Piel de Cocodrilo	1:Malla grande (> 0.5 m) sin material suelto 2:Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto 3:Malla pequeña (< 0.3 m) sin o con material suelto
	2	Fisuras Longitudinales	1:Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho < 1 mm)

			2:Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm) 3:Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
	3	Deformación por deficiencia Estructural	1:Profundidad sensible al usuario pero < 2 cm 2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3: Profundidad >= 4 cm
	4	Ahuellamiento visco-elástico	1: Profundidad sensible al usuario pero < 1 cm 2: Profundidad > 1 cm
	5	Reparaciones o bacheo	1:Reparación o bacheo para daños superficiales 2:Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado 3:Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado
	7	Huecos	1:Diámetro < 0.2 m 2:Diámetro entre 0.2 y 0.5 m 3:Diámetro > 0.5 m
Daños Superficiales	6	Desprendimiento	1:Puntual sin aparición de la base granular 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. 3:Continuo con aparición de la base granular
	7	Huecos	1:Diámetro < 0.2 m 2:Diámetro entre 0.2 y 0.5 m 3:Diámetro > 0.5 m
	8	Fisuras Transversales	1:Finas (ancho < 1 mm) 2:Fisuras abiertas y/o ramificadas sin pérdida de material (ancho > 1 mm) 3:Fisuras abiertas y/o ramificadas con pérdida de material (ancho > 1 mm)
	9	Exudación	1:Puntual 2:Continua 3:Continua con superficie viscosa
Daños en Bermas	10	Daños	1: Daños puntuales 2: Daños en menos del 30% de la longitud 3: Daños en más del 30% de la longitud
	11	Desnivel	1: Desnivel significativo pero menor que 5 cm 2: Desnivel entre 5 y 10 cm 3: Desnivel >=10 cm

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, págs. 170-171)

Además MTC (2014) considera como complemento el uso de la metodología de evaluación de pavimentos PCI (Índice de Condición del Pavimento), desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano, para tipificar y cuantificar con mayor detalle los daños superficiales en la vía.

2.1.5.2 Evaluación de la condición estructural

Menéndez Acurio.(2013) señala que los métodos empleados para la evaluación estructural pueden ser destructivos o no destructivos, dependiendo del grado de alteración física producida a los materiales durante el proceso de evaluación. En el primer caso esto significa generalmente perforar el pavimento, para determinar el espesor de sus capas componentes, observar su estado (agrietamiento, densidad, humedad, segregación, etc.) y obtener muestras de los materiales para ser ensayadas en el laboratorio. También puede excavarse el pavimento para efectuar algún tipo de prueba a diferentes profundidades (CBR, peso volumétrico, módulo de reacción, etc.).

En el segundo caso, generalmente implica la medición de deflexiones superficiales; radio de curvatura, forma de la cuenca de deformaciones, en ocasiones combinada con la obtención de pequeños núcleos del pavimento para determinar espesores y obtener algunas muestras para su ensayo en laboratorio, como medida de verificación.

Thenoux Z & Gaete P (2010) señalan que la evaluación estructural de un pavimento tiene, por objeto la cuantificacion de la capacidad estructural remanente del pavimento y se desarrolla siguiendo las pautas del diagrama de la Figura N°2. 5.

Actualmente, existen diversos equipos y metodologías para la determinación de las deflexiones de un pavimento, ya sea mediante la aplicación de la carga directamente en el punto o alejada del mismo; a partir de una carga estática conocida, como en el caso de la Viga Benkelman; de una móvil, como el Deflectógrafo Lacroix; de una vibratoria, como el Dynaflect y el Road Rater; o de una por carga dinámica por impulso como el Deflectómetro de Impacto (FWD).

Los Deflectómetros de Impacto, fueron ganando aceptación, difusión y popularidad entre los investigadores y profesionales gracias a su mejor representación de las cargas de tráfico respecto a sus antecesores,

convirtiéndose en el equipo de referencia para la mayoría de las administraciones viales de Europa y América (Fernández Machado, 2010).

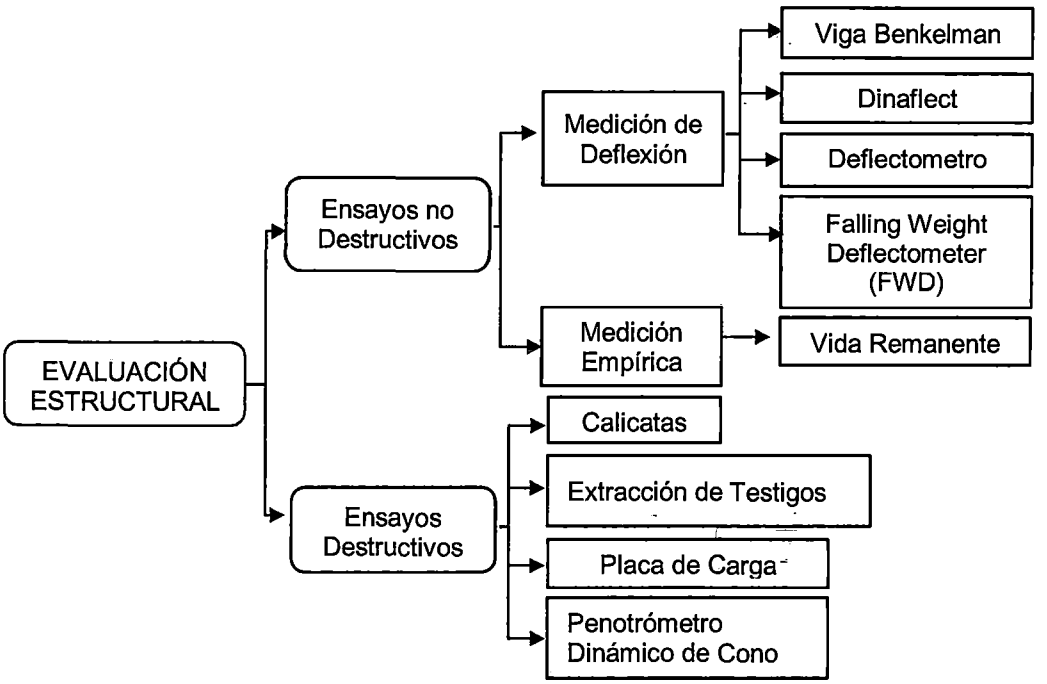


Figura N°2. 5. Métodos para la evaluación estructural de un pavimento
Fuente: (Thenoux Z & Gaete P, 2010)

2.1.5.2.1 Viga Benkelman

La Viga Benkelman consiste en un brazo de palanca sencilla unida a una ligera de aluminio o de madera del marco. Las mediciones se realizan mediante la colocación de la punta de la viga entre los neumáticos de un eje simple dual (por lo general una carga de 18kips (80kN) carga por eje) de camiones en el punto donde la desviación es que se determine. A medida que el vehículo cargado se aleja del punto de distancia del punto de prueba, donde la deflexión es medida.

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. La viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya

sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E'). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas. El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro.

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (ver la Figura N°2. 6) (Hoffman & Del Aguilar, 1985). La base matemática de la Viga Benkelman, lo constituye el Modelo de Hogg, en donde en el año 1944, A.H.A. Hogg presentó la solución matemática del modelo que lleva su nombre. Este modelo representa al pavimento como una placa delgada con una cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, sustentada por una capa elástica lineal, homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa. La Figura N°2. 7 describe la geometría y los parámetros del modelo de Hogg (Hoffman & Del Aguilar, 1985, pág. 9).

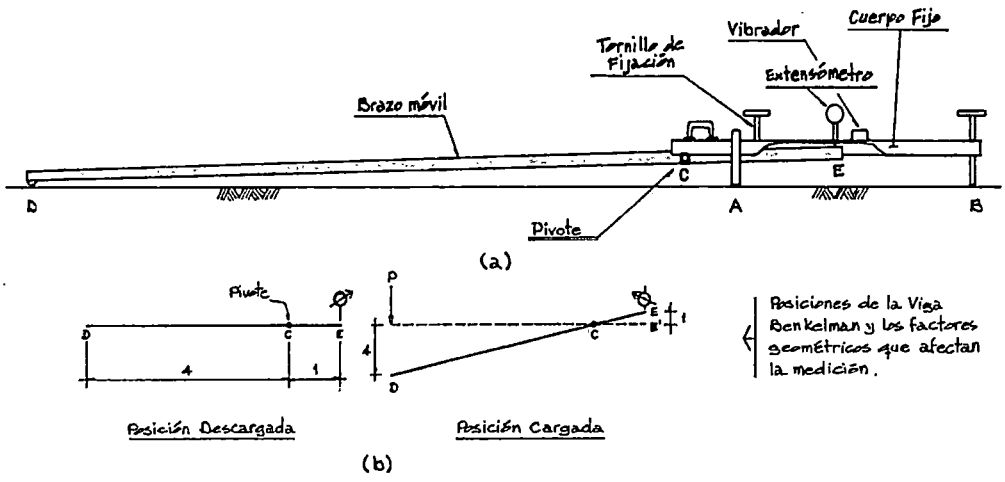
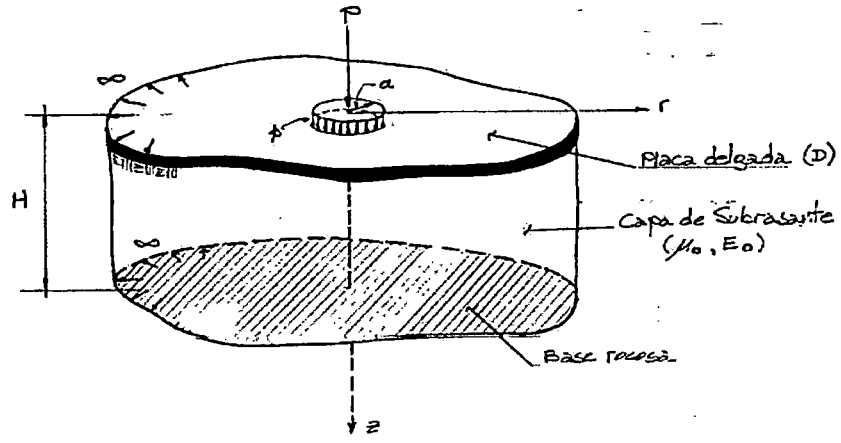


Figura N°2. 6. Esquema y principio de operación de Viga Benkelman

Fuente: (Hoffman & Del Aguilar, 1985)



PARAMETROS BASICOS DEL MODELO	$D = \frac{E_1 t^3}{12(1-\mu_1^2)}$ (t-m)	Rigidez a la flexión de la placa
	$l_o = \left(\frac{D(1+\mu o)(3-4\mu o)}{2(1-\mu o)\, E\emptyset} \right)^{1/3}$ (cm)	Longitud característica
	$E\emptyset$ (Kg/cm2)	Módulo de elasticidad de la Subrasante
	μo (Adimensional)	Módulo de Poisson de la Subrasante
	H (cm)	Profundidad del estrato rocoso.
Parámetros de Evaluación	lo, EØ, D	Se obtienen conociendo dos valores de deflexiones medidas.

Figura N°2. 7. Esquema y parámetros de modelo de Hogg

Fuente: (Hoffman & Del Aguilar, 1985, pág. 9)

2.1.5.2.2 Deflectómetro de impacto

El Deflectometro de Impacto o Falling Weight Deflectometer (FWD) se fundamenta en la generación de una onda de carga en el pavimento. La onda es ocasionada por el impacto de la caída de una masa, y es transmitida al pavimento por medio de un sistema de amortiguadores elásticos apoyados sobre una placa de carga. Tanto la masa como su altura de caída y el sistema de amortiguadores elásticos pueden ser variados, para generar el impacto deseado en el pavimento o en la subrasante por evaluar. Los sensores se ubican a distancias de 0, 0.30, 0.60, 0.90, 1.20, 1.50 y 1.80 m del centro del disco de carga, de diámetro 0.30 m y registradas automáticamente en un computador portátil ubicado en el vehículo que arrastra y controla el tráiler de medición. Para llevar a cabo las mediciones se tuvo en cuenta lo establecido en las normas: ASTM D 4694-96 (2003), ASTM D 4695-03 y ASTM D 5858-96 (2003).

Las medidas de deflexión para el caso de carretera Conococha – Huaraz se realizaron en tres bolillo distanciados 200 metros/carril. Al realizar las mediciones se tomó la temperatura ambiente, de la superficie del pavimento y de la mezcla asfáltica.

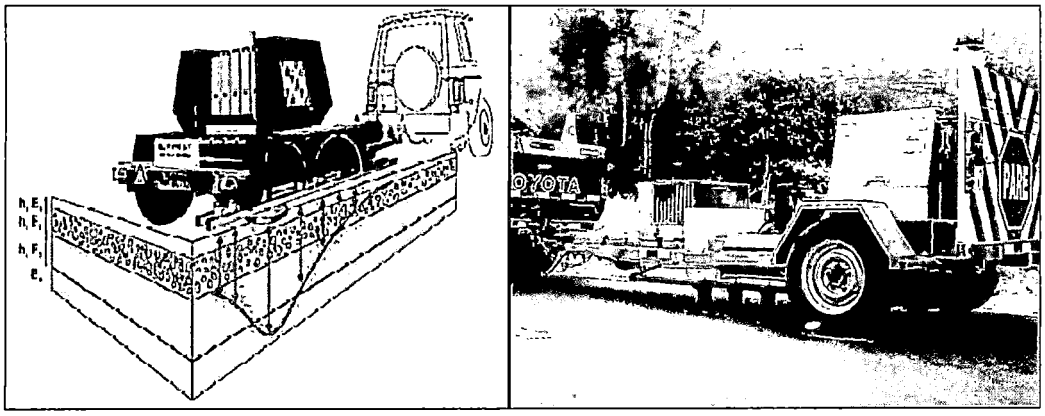


Figura N°2. 8. Medida de las deflexiones del pavimento en la carretera Conococha - Huaraz con FWD

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Si bien es cierto que la evaluación estructural, como toda ciencia, sigue evolucionando en la búsqueda de superar sus limitaciones, el uso de la

Deflectometría de Impacto (FWD) es una técnica probada y comprobada que está gozando de gran acogida y difusión en el Perú y en todo el mundo, debido a las ventajas que presenta; tanto a la rapidez de la evaluación, como a la reducción de costos asociados al ensayo en comparación con los procedimientos destructivos tradicionales. Es por ello que se eligió esta metodología para evaluar la capacidad estructural del pavimento en los últimos cuatro años de relevamiento de información (inventario vial), ya que en la fase pre operativo se empleó la viga Benkelman.

2.1.5.2.3 Parámetros para la evaluación deflectométrica del pavimento

Los principios establecidos en los estudios desarrollados por el MTC y el Consorcio de Rehabilitación Vial (CONREVIAL) en el año 1982 se emplean para determinar el análisis estructural de una carretera. En donde la deflexión medida depende del sistema pavimento-subrasante, la cual se analiza empleando parámetros como la Deflexión Característica (Dc) y el Radio de Curvatura (Rc) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

a. Deflexión Característica (Dc)

Es la deflexión representativa del tramo en estudio y es obtenida de un análisis estadístico que involucra el Valor Medio, la Desviación Estándar y el Grado de Confianza. Para efectos de análisis y por el tipo de tráfico recomendado por el MTC se considera que tenga un 90% de confiabilidad, para el que se utiliza la Ecuación N°2. 1 definida por CONREVIAL.

Ecuación N°2. 1. $D_c = D_{Media} + 1.30 * \sigma$

Donde:

D_c: Deflexion Caracteristica

D_{Media}: Promedio de las Deflexiones Recuperables

σ: Desviación estándar

b. Deflexión Admisible (Dadm)

Esta deflexión corresponde a aquella que alcanzará el pavimento al final del tiempo de diseño. Por lo tanto esta deflexión se calcula considerando la

solicitación de cargas para ese tiempo de diseño, representado en el valor "N_{18}" de ejes equivalentes acumulados hasta el último día de servicio, que se determina utilizando la Ecuación N°2. 2.

Ecuación N°2. 2. $$D_{adm} = \left(\frac{1.15}{N_{18}}\right)^{0.25}$$

Donde:

N_{18}: Numero de ejes equivalentes de diseño (millones)

D_{adm} = Deflexión Admisible, x 10^{-2}mm

c. Radios de curvatura (Rc)

Determinan la magnitud de la deformación lineal (curvatura de la línea de deflexión). Además tienen un mayor valor cuando la deflexión se produce en la subrasante y son pequeños cuando la mayor parte de la deflexión se produce en las capas superiores (pavimento), que se determina utilizando la Ecuación N°2. 3.

Ecuación N°2. 3. $$R_c = \frac{2000}{(D_0 - D_{20})}$$

Donde:

R_c: Radio de Curvatura (m)

D_0: Deflexión recuperable en el eje Vertical de la carga (0.001 mm)

D_{25}: Deflexión recuperable a 20 cm del eje Vertical de la carga (0.001 mm)

2.1.5.2.4 Correlación de deflexiones FWD y Viga Benkelman

La metodología CONREVIAL fue establecida con base en las deflexiones obtenidas con la viga benkelman, por lo que se hace necesario correlacionar las deflexiones obtenidas con el FWD y así garantizar la adecuada aplicación del método. Para obtener valores de deflectometría en términos de viga benkelman se emplea la desarrollada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el año 2000, la cual se expresa en el Manual del Sistema de Gestión de Carreteras mediante la siguiente fórmula (Gutiérrez Lázares, 2007).

Ecuación N°2. 4. $$Def_{VB} = 0.176 * (Def_{FWD})^{1.382}$$

Donde:

Def_{VB}: Deflexión con Viga Bekelman (8.2tn) ajustada a 20°C

Def_{FWD}: Deflexión FWD (50KN) ajustada a 20°C

2.1.5.3 Evaluación de la condición funcional

2.1.5.3.1 Índice de rugosidad internacional (IRI).

Paterson, en 1986, define que el IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico y está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificada (razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro (ver la Figura N°2. 9), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h (Badilla Vargas, Elizondo Arrieta, & Barrantes Jiménez, 2008).

En tal sentido, podemos señalar que el IRI se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, que modelan simplificadamente un vehículo como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera mediante resortes y amortiguadores.

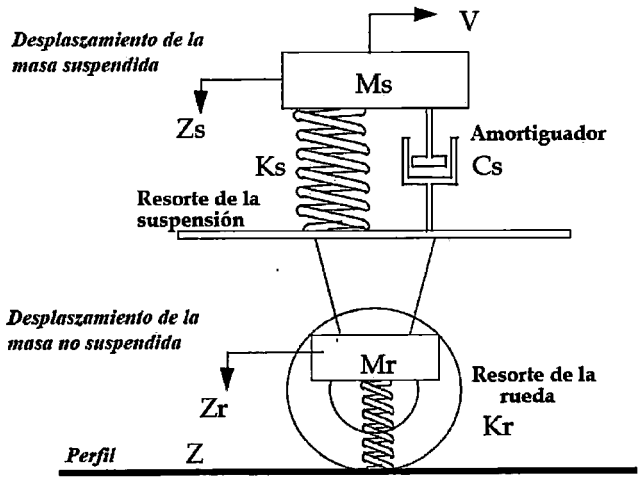


Figura N°2. 9. Modelo de cuarto de carro

Fuente: (Badilla Vargas, Elizondo Arrieta, & Barrantes Jiménez, 2008)

En la actualidad, a fin de poder comparar las medidas realizadas con equipos diferentes, se ha desarrollado el IRI, como resultado del Experimento Internacional de Rugosidad de Carreteras, realizado en Brasil en 1982, para el Banco Mundial como el parámetro de deterioro más importante del modelo HDM III. Además el IRI define una escala de rugosidad que parte de cero para una superficie totalmente plana, incrementándose a 6, para carreteras pavimentadas moderadamente rugosas y hasta 20, para carreteras no pavimentadas extremadamente rugosas 10 y se representa en m/km o en mm/m, reportándose al décimo de unidad (Menéndez Acurio, 2013).

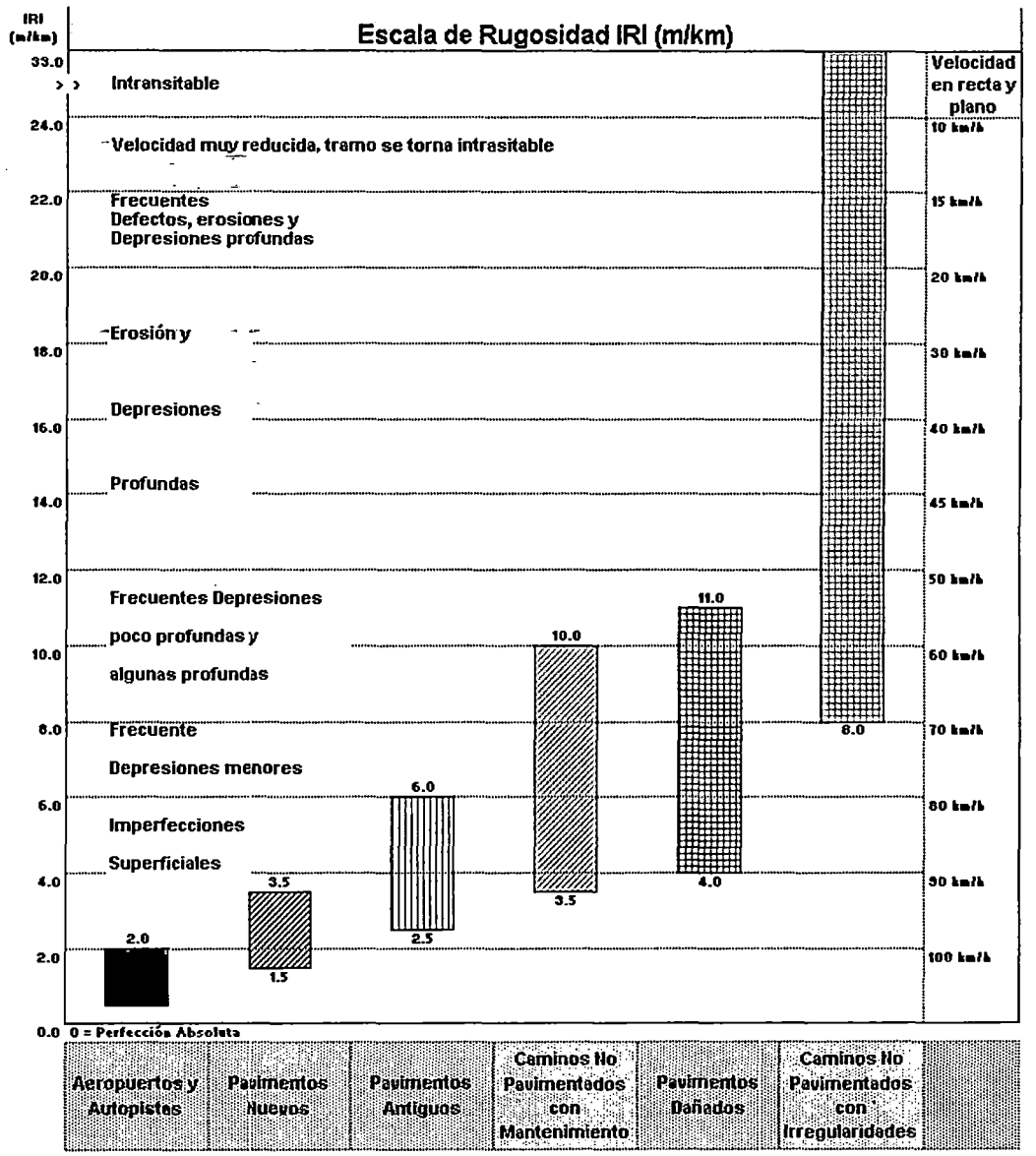


Figura N°2. 10. Escala de valores de IRI establecida por el Banco Mundial

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 196)

Existen diversos métodos y equipos para determinar los valores IRI de una vía, tales como Perfilómetro Láser, Merlín (utilizado en la fase pre operativa de la carretera Conococha - Huaraz), Bump Integrator, nivelación topográfica, etc. El equipo empleado en los últimos cuatro años del relevamiento de información (Inventario Vial), para la medición de la rugosidad en la carretera Conococha – Huaraz, fue el Perfilógrafo RSP-L5 (Road Surfacer Profiler), equipo de Clase 1 (alta precisión), de la compañía Dynatest, el cual permite relevar en forma continua cada carril de circulación del tramo seleccionado con un nivel máximo de precisión, además de contar con un alto rendimiento, al recorrer la vía a una velocidad superior a 30 km/h. Las mediciones se efectuaron teniendo en cuenta lo establecido en la norma ASTM E 950-98.

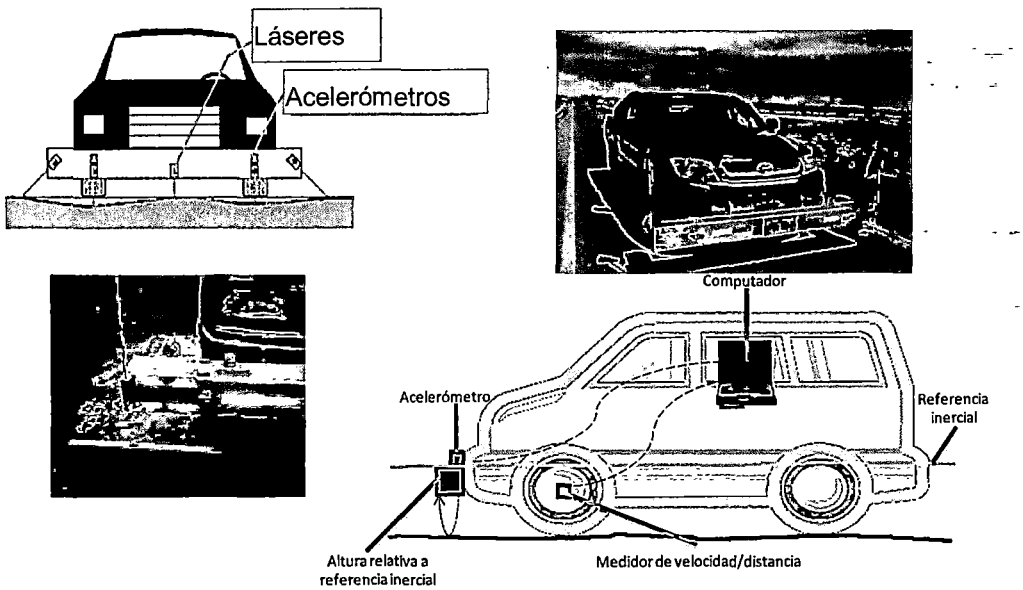


Figura N°2. 11. Perfilográfo Laser

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.1.5.3.2 Índice de serviciabilidad presente del pavimento (PSI).

AASHTO define la serviciabilidad como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado, en donde los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal) (ver Cuadro N°2. 4) (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

En el tramo de prueba realizado por el AASHO de 1962 permitió la creación del PSR (Present Serviceability Rating - Calificación de Servicio Actual), siendo una percepción del confort al manejar sobre ciertas condiciones de pavimento. Luego surgió el PSI (Present Service Index - Índice de Serviciabilidad Presente), el cual consistía en tomar mediciones en las condiciones del pavimento, como grietas, ahuellamiento y la regularidad superficial. AASHTO desarrollo un modelo para determinar el PSI, para pavimentos flexibles, que está dado por la Ecuación N°2. 5.

Ecuación N°2. 5: Modelo AASHTO 1993 para cálculo de PSI

$$\mathrm{PSI} = 5.03 - 1.91\mathrm{Log}(1 + \overline{\mathrm{SV}}) - 1.38\overline{\mathrm{RD}}^2 - 0.01\sqrt{\mathrm{C} + \mathrm{P}}$$

Donde:

PSI: Índice de Serviciabilidad Presente

$\overline{SV}$: Varianza de la Pendiente

$$\overline{\mathrm{SV}} = \frac{\sum \mathrm{Y}^2 - \left(\frac{1}{2}\right)(\sum \mathrm{Y}^2)}{\mathrm{n} - 1}$$

Y: Diferencia entre las dos elevaciones

n: número de lecturas de elevación

C: Fisuras mayores (pie^2/1000 pie^2)

P: Parchado de mezcla asfáltica (pie^2/1000 pie^2)

$\overline{RD}$: Ahuellamiento promedio (pulg)

El Índice de Serviciabilidad Presente del Pavimento (PSI) indica la capacidad de un pavimento de ofrecer el adecuado confort a los usuarios que transitan por un camino. El confort de los usuarios al circular un camino se manifiesta fundamentalmente, en la calidad en que se encuentra la superficie de rodadura (ver el Cuadro N°2. 4), la cual también es percibida como el primer elemento constituyente de la seguridad vial.

Parte fundamental de la definición de los niveles de serviciabilidad es establecer valores que corresponderían a serviciabilidades extremas; es decir, a un pavimento nuevo y a uno que resulta prácticamente intransitable. Todos

los indicadores existentes tienen en común la preponderancia de las irregularidades (Rugosidad) por sobre todos los otros factores utilizados en el cálculo de tales indicadores (grietas, ahuellamientos, deformaciones, etc.). Existen en la actualidad diversos indicadores que permiten establecer la calidad del servicio que se presta, o lo que denomina como la serviciabilidad de una vía; sin embargo, los criterios más modernos sobre serviciabilidad comprenden aspectos que guardan relación con la condición funcional del pavimento, la capacidad estructural del sistema de capas y la seguridad de los usuarios (Fernández Machado, 2010).

Cuadro N°2. 4. Escala de índice de serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad	Calidad
0 – 1	MUY MALO
1 – 2	MALO
2 – 3	REGULAR
3 – 4	BUENO
4 – 5	MUY BUENO

Fuente: (ASSHTO, 1993)

Dentro del estudio del Banco Mundial para la determinación del Índice de Rugosidad Internacional se realizó la estimación del Índice de Serviciabilidad con el método AASHTO y se estableció una correlación entre los valores IRI y PSI, concluyéndose que la rugosidad de un pavimento es inversamente proporcional a la serviciabilidad del mismo; es decir, a mayor IRI menor PSI y viceversa. Para el cálculo del Índice de Serviciabilidad (PSI) se utiliza Ecuación N°2. 6 la definida por el Banco Mundial.

Ecuación N°2. 6. Para determinar PSI (planteada en el programa HDM-III, por el Banco Mundial).

$$PSI = \frac{5.0}{\text{Exp}\left[\frac{R}{5.5}\right]}$$

Donde:

R = Rugosidad, en IRI (International Roughness Index).

PSI = Índice de Serviciabilidad Presente.

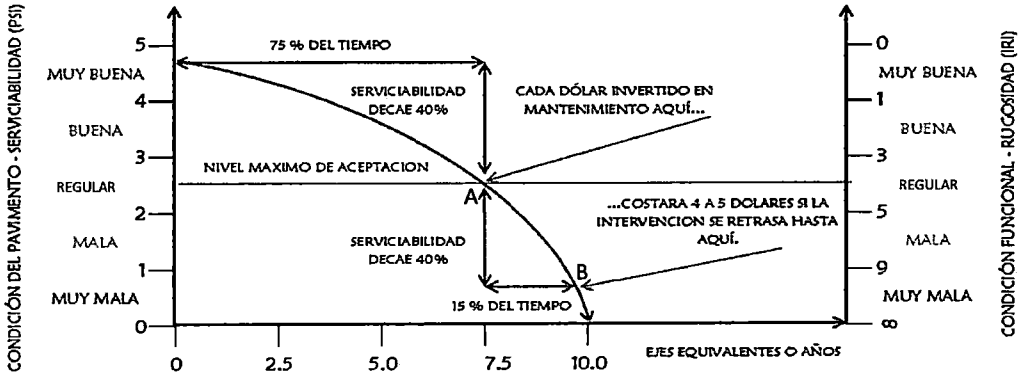
2.1.6 Mantenimiento vial

2.1.6.1 Generalidades

La infraestructura vial tiene una notable influencia en el desarrollo de una nación o región, tal como lo demuestran las fuertes correlaciones existentes entre la densidad de la red de carreteras y el Producto Interno Bruto (PIB) correspondiente su área de influencia. Sin embargo, la condición o estado de la red resulta un aspecto clave para garantizar la materialización de esa relación, es decir, para que la inversión en infraestructura obtenga los resultados proyectados en términos de rentabilidad socioeconómica y de desarrollo y crecimiento.

El comportamiento de los pavimentos sigue, en general, una curva como la indicada en el Grafico N°2. 1. En la misma puede observarse que, una vez diseñado y construido el pavimento para una determinada vida útil, la calidad del servicio que brinda al usuario – medida en términos de estado o condición del pavimento – disminuye conforme el mismo es solicitado por las cargas que lo transitan y el clima imperante. En consecuencia, el servicio se va deteriorando con el tiempo, desmejorando su estado o condición. En el Grafico N°2. 1 se han definido dos niveles de estado o condición, relacionados con el nivel de servicio brindado en cada caso por la infraestructura al usuario del camino: una condición inicial indicada como "muy buena" y una condición final indicada como "inaceptable", que dependen fundamentalmente de la exigencia de los usuarios.

Grafico N°2. 1. La importancia de la intervención en el momento adecuado



Fuente: (Fernández Machado, 2010)

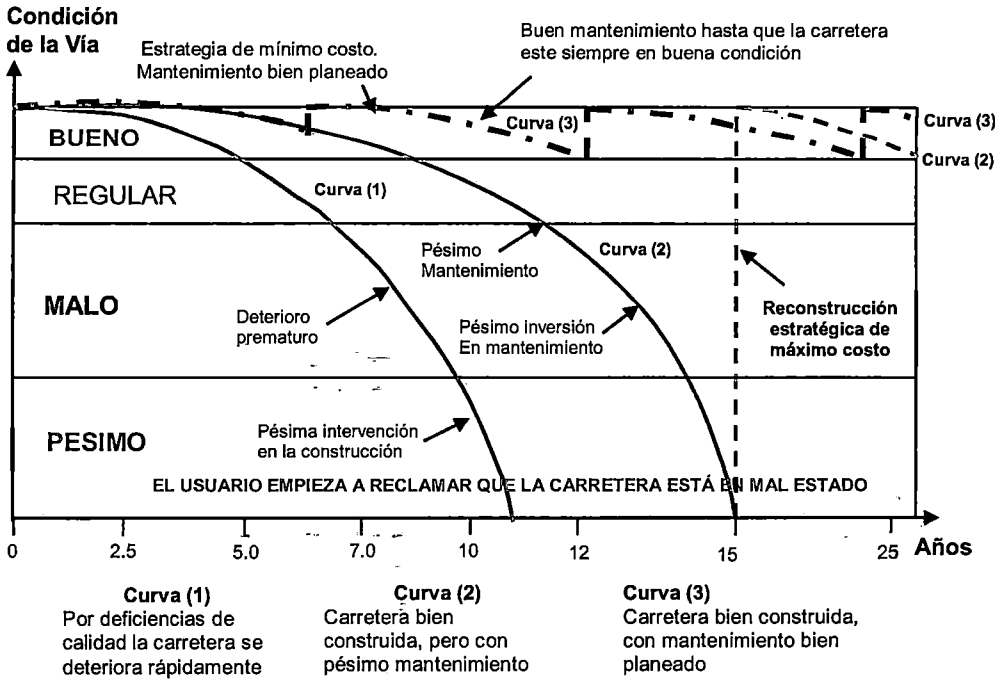
La observación del deterioro de un camino y su calificación en una cierta escala desde el punto o condición, permite generalizar en forma estimada el estado del camino a lo largo de su vida útil o período de servicio. Puede decirse de manera general y para un camino diseñado, construido y mantenido adecuadamente, que el pavimento se deteriora desde su puesta en servicio y hasta alcanzar aquel nivel de inaceptabilidad, de manera relativamente lenta en un principio y mucho más rápida hacia el final, acelerándose significativamente su deterioro de manera progresiva a partir de un determinado momento. Esto se señala en el Grafico N°2. 1 con la denominación A. En términos cuantitativos, en forma aproximada y a partir de una escala de estado o condición definida arbitrariamente, el deterioro será del orden de un 40% desde su puesta en servicio hasta llegar al punto A, y de otro 40% desde el punto A hasta llegar al punto B. Sin embargo, resulta importante destacar que el pavimento permanece sin alcanzar el estado correspondiente al punto A alrededor del 75% del tiempo, mientras que una vez superado el punto A alcanzará el estado correspondiente al punto B rápidamente. Si bien los términos cuantitativos mencionados son aproximaciones, numerosos estudios convalidan estas expresiones de tipo general y conceptual.

Esta característica, descrita en el párrafo anterior es a la que se alude cuando se menciona la característica "exponencial" del deterioro de los pavimentos, de allí que sea un concepto de suma importancia a la hora de definir el momento oportuno para rehabilitar el camino, debido a las implicancias económicas que representa en el beneficio del usuario y en la rentabilidad socioeconómica de la inversión realizada.

Como consecuencia de esta característica específica, el costo asociado a la rehabilitación de un camino, entendido como el conjunto de técnicas y actividades necesarias para devolver al camino su condición inicial, resulta claramente diferente de acuerdo al momento en que se encare, como se puede observar en el Grafico N°2. 1. Esta diferencia resulta tan significativa que la determinación del tipo y oportunidad para llevar a cabo las actividades de mantenimiento y rehabilitación, adquieren singular importancia económica.

Del mismo modo, la estrategia de mantenimiento y/o rehabilitación seleccionada tiene consecuencias directas en el nivel de servicio que el camino brindará al usuario durante su vida útil, como puede observarse en el Grafico N°2. 2

Grafico N°2. 2. Diferentes estrategias en la condición del pavimento



Fuente: (Arrieta, F. Elizondo, 2010)

Elaboración Propia

2.1.6.2 Niveles de intervención en la conservación vial

2.1.6.2.1 Conservación rutinaria

Es el conjunto de actividades de carácter preventivo que se ejecutan permanentemente a lo largo de la vía y que se realizan diariamente con la finalidad principal de preservar todos los elementos viales con la mínima cantidad de alteraciones o de daños. Es decir, busca, en lo posible, mantener las condiciones que se tenían después de la construcción, de la conservación periódica, de la rehabilitación o de la reconstrucción. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2007). Las actividades de conservación rutinaria consideradas en las vías asfaltadas son las siguientes:

- Roce
- Poda, corte y retiro de árboles.
- Limpieza de obras de arte (alcantarillas, drenajes, tuberías, pontones, puentes vehiculares y peatonales, viaductos, túneles, etc.).
- Limpieza de calzada y bermas.
- Limpieza de cunetas, rápidas y zanjas de coronación.
- Limpieza de señales verticales, hitos kilométricos, postes delineadores, defensas metálicas y defensas en concreto.
- Pintura, renovación de hitos kilométricos.
- Remoción de derrumbes a lo largo de las rutas contratadas, en material común o conglomerados (de hasta 200 m3 por evento), incluidos la eliminación a los botaderos autorizados.
- Tratamiento de fisuras y grietas, sellos
- Bacheo localizado tanto superficial como profundo.
- Reposición de señales, hitos y elementos de seguridad vial.

2.1.6.2.2 Conservación periódica

La conservación periódica está dirigida a restituir las características de servicio de la superficie de rodadura. Este subprograma contribuye a mejorar el estado físico de las carreteras y es el más importante desde el punto de vista presupuestal, ya que representa el 47% de la inversión del Programa Nacional de Conservación de Carreteras. Son trabajos que se ejecutan como resultado de un Dictamen Técnico (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2014).

El tratamiento de superficie se orienta a restablecer algunas características de la superficie de rodadura, sin constituirse en un refuerzo estructural. Entre sus características está la de preservar en buena forma la textura de la superficie de rodadura, de manera que asegure la integridad estructural del camino por un tiempo más prolongado y evite su destrucción. En un camino afirmado, se refiere a la reaplicación de la capa de grava, cuando ésta aún se encuentre en un estado regular de conservación, antes de llegar al mal estado. Las

actividades contenidas dentro de los trabajos de mantenimiento periódico pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

- Restablecimiento de las características de la superficie de rodadura.
- Reparación de obras de arte.
- Reparación del sistema de drenaje.

2.1.6.2.3 Rehabilitación

Actividades cuyo objetivo es recuperar la funcionalidad de la infraestructura de transporte (al nivel que fue diseñada) al haberse deteriorado seriamente y que no puede ser restaurado con actividades de mantenimiento. Las actividades contenidas dentro de los trabajos de rehabilitación pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

- Restablecer la capacidad estructural y la calidad de la superficie de rodadura.
- Mejorar el sistema de drenaje.

2.1.6.2.4 Mejoramiento

Son proyectos cuyo objetivo es mejorar las características técnicas y funcionales de la infraestructura a fin de incrementar su capacidad, nivel de servicio, etc.

2.1.6.2.5 Atención de emergencias viales

Las emergencias viales son eventos no programados e imprevistos que obstruyen el libre tránsito de la carretera, asimismo son consideradas emergencias aquellas circunstancias que puedan generar un inminente peligro de interrupción del tránsito o de seguridad para los usuarios.

2.1.6.2.6 Relevamiento de información

Se refiere a los estudios de Tráfico, de Origen Destino, Inventario Vial Calificado y Evaluaciones de Pavimento que el contratista debe realizar periódicamente siendo responsabilidad del contratista contar con todos los equipos y recursos necesarios para la realización de dichos actividades.

2.2 LIGANTE ASFÁLTICO

2.2.1 Antecedentes

El asfalto es uno de los materiales más antiguos utilizados como aglutinante o impermeabilizante. Las primeras carreteras pavimentadas en los EE.UU. fueron en la Av. Pennsylvania entre los años 1955 - 1956, frente a la Casa Blanca. El asfalto usado fue natural proveniente de la Isla Trinidad en las costas de Venezuela. La otra fuente de asfalto natural se encuentra en Bermudez-Venezuela. (Ordonez & Minaya , 2006).

Los asfaltos naturales se encuentran en depresiones de la corteza terrestre formando los lagos de asfalto o aparecen impregnados en calizas, formaciones de areniscas o similares, formando las llamadas rocas asfálticas; también se encuentran mezclados por impurezas minerales.

Entre los años 80 y 90 la demanda de las carreteras pavimentadas se incrementó tan rápido que la extracción y transporte desde los lagos de asfalto hasta la obra, fue limitando la construcción de estos pavimentos. Se tuvo que considerar otra fuente para producir asfalto, es así que en la actualidad, el asfalto se obtiene como un sub producto del petróleo. El asfalto que se emplea para pavimentar es el de destilación, que se consigue de los hidrocarburos que permanecen luego del refinamiento del petróleo procesado para producir gasolina y otros productos (Kerosene, Aceite diésel) (Yarango Serrano, 2014, pág. 15).

Es así que los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de 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 (Guevara Palma, Mendez Delgado, & Pimentel Gomez, 2010, pág. 44).

2.2.2 Definición del asfalto

El asfalto es un material negro, cementante que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido, a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla caliente (Asphalt Institute, 1982).

Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

2.2.3 Composición química del asfalto

En su constitución química el asfalto básicamente está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxigeno, nitrógeno y otros elementos. Para una mayor compresión de lo establecido se presenta en la Figura N°2. 12, donde se muestra una clasificación en forma esquemática de la composición química del asfalto (Méndez Gonzáles , Morán Gutiérrez, & Pineda Ramos, 2014, pág. 49).

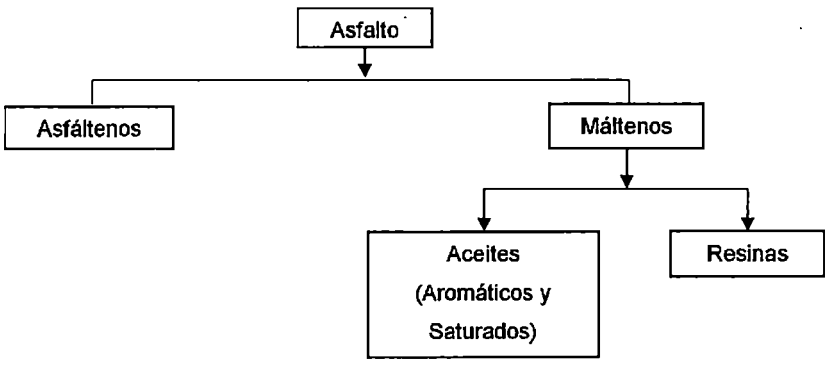


Figura N°2. 12. Composición química del asfalto

Fuente: Elaboración Propia

La composición química de los asfaltos es compleja y varía considerablemente en función de la naturaleza de los petróleos y del esquema de refinación para su producción (Huamán Guerrero, 2011, pág. 18).

2.2.3.1 Asfáltenos

Los asfáltenos a temperatura ambiente son un cuerpo negro, frágil y con punto de reblandecimiento elevado; son hidrocarburos aromáticos. Éstos ejercen una influencia muy fuerte sobre las características adhesivas y aglomerantes. Su contenido varía entre el 5% y el 25 % dependiendo del crudo y del proceso de obtención (Segura, 2013, pág. 75).

- Proporcionan la dureza al asfalto
- No intervienen directamente en la adherencia de los materiales pétreos
- Su presencia es fundamental en las propiedades mecánicas del asfalto

2.2.3.2 Máltenos

Los máltenos, fracción soluble en heptano, son de aspecto aceitoso. Entre ellos se encuentra el malteno aromático; son los de menor peso molecular en el asfalto y representan entre el 40 y el 60 % del ligante (Segura, 2013, pág. 75).

Resinas

- Dan las características cementantes o aglutinantes

Aceites

- Dan la consistencia necesaria para hacerlos trabajables
- Son líquidos poco viscosos, color claro, no adherentes, muy estables
- Permiten el desplazamiento entre componentes de la fase dispersa (micelas).
- Generan la deformación del asfalto
- Un asfalto con alto contenido de aceite se comporta como un fluido viscoso.

Las resinas proporcionan las cualidades de adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfáltenos (parte solida) y las resinas como se observa en la Figura N°2. 13. La proporción de asfáltenos y máltenos en el asfalto puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y

al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla de pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado.

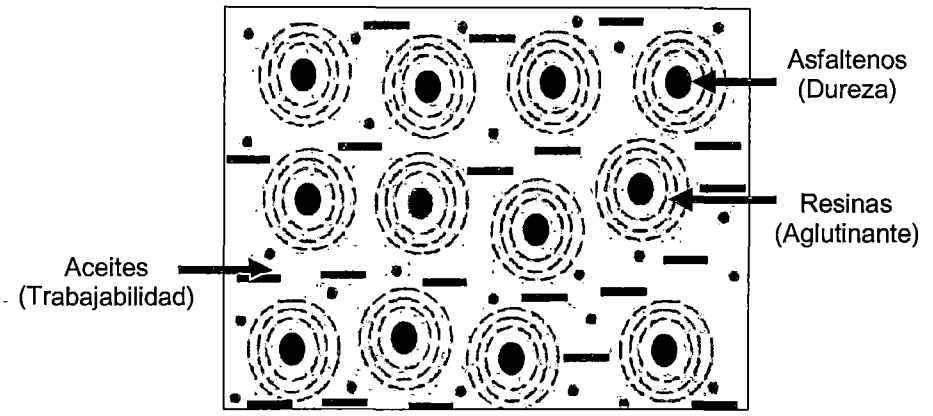


Figura N°2. 13. Esquema de la estructura de un asfalto
Fuente: (Segura, 2013, pág. 75)

Para simplificar, se puede admitir que esos ligantes asfálticos están constituidos por una suspensión de asfaltenos peptizadas por resinas, en un medio compuesto de aceites saturados y aceites Aromáticos. Esta concepción es importante en la medida que permita establecer las relaciones entre su composición química y fraccionamiento en grupos genéricos (asfaltos, resinas, aceites aromáticos y aceites saturados) y sus propiedades mecánicas y reológicas (Huamán Guerrero, 2011).

2.2.4 Clasificación de asfaltos para pavimentación

El asfalto usado en pavimentación, generalmente es llamado cemento asfáltico, es un material viscoso y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en pavimentos. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales (Guevara Palma, Mendez Delgado, & Pimentel Gomez, 2010, pág. 42).

Los asfaltos para pavimentación son los empleados en la fabricación de mezclas asfálticas usados básicamente en construcción y mantenimiento de

pavimentos. Los asfaltos para pavimentación pueden clasificarse como: Cemento Asfáltico, Asfaltos Diluidos, Asfaltos Emulsificados, Asfaltos Modificados (Méndez Gonzáles , Morán Gutiérrez, & Pineda Ramos, 2014, pág. 53).

2.2.4.1 Cemento asfáltico de petróleo (CAP)

El CAP, es un material termoplástico (altas temperaturas se vuelve deformable y flexible), reológico, tixotrópico (perdida de viscosidad), ideal para aplicaciones en trabajos de pavimentación posee además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, características de flexibilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos y álcalis. Los CAP en sus aplicaciones deben estar libres de agua. De lo anterior Huamán Guerrero (2011) señala que dos de las funciones más importantes en los asfaltos en pavimentación son:

- Aglutinadora
- Impermeabilizadora

Como aglutinante consiste en proporcionar una íntima ligación entre agregados, capaz de resistir una "acción mecánica de desagregado", producida por la carga de los Vehículos. Como impermeabilizante garantiza un pavimento verdaderamente eficaz contra la penetración del agua, proveniente tanto de las precipitaciones pluviales como la del subsuelo por capilaridad.

Es decir el asfalto garantiza la realización económica y simultanea de esas dos funciones, al mismo tiempo que proporciona al pavimento características de flexibilidad que permiten su acomodo sin fisuramiento a eventuales recalentamientos de capas subyacentes. Naturalmente para que un asfalto desempeñe satisfactoriamente las funciones que le son inherentes, es necesario de que sea de buena calidad.

Los CAP se clasifican bajo tres sistemas diferentes, ellos son: en base a Penetración (PEN), Viscosidad y Superpave (Superior Performing Asphalt

Pavements - Desempeño Superior de los Pavimentos Asfálticos), cada sistema abarca diferentes grados de consistencia.

2.2.4.1.1 Penetración

Entre los años 40 y 50 el sistema de clasificación por penetración fue usado en los EE.UU. y Canadá. El ensayo de penetración realizado a 25°C (temperatura elegida como el promedio de la temperatura de servicio del pavimento), indica la rigidez del asfalto, que solo puede ser relacionado con su comportamiento en campo mediante la experiencia. Como el valor de la penetración no es una medida fundamental dicho valor no puede ser racionalmente incluida en modelos mecanísticos (Ordonez & Minaya , 2006, pág. 54).

El ensayo consiste en aplicar una carga patrón en la superficie de una muestra de cemento asfáltico a 25°C. Se debe medir la penetración de la aguja en la muestra, luego de 5 segundos. Si el asfalto es duro la penetración será menor que cuando el asfalto es blando. Se recomienda siempre la utilización de asfaltos duros para carreteras en la selva mientras que los asfaltos blandos son recomendados para carreteras en la sierra o zonas con bajas temperaturas.

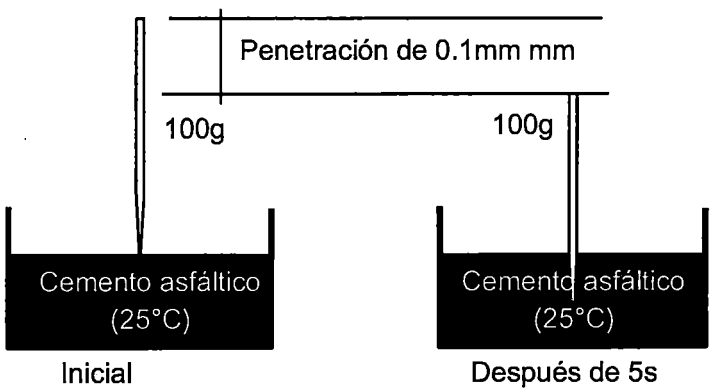


Figura N°2. 14. Diagrama de la prueba de penetración
Fuente: (Ordonez & Minaya , 2006, pág. 55)

En el manual de carretera (EG-2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones recomienda cementos asfálticos clasificados por penetración

según la temperatura media anual tal como se observa en el Cuadro N°2. 5. Es por ello que en el Perú se utiliza la clasificación por penetración a 25°C.

Cuadro N°2. 5. Selección del tipo de cemento asfaltico .

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

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013, pág. 471)

2.2.4.1.2 Viscosidad

A inicios de los años 60 se mejoró el sistema de graduación y fue incorporado un ensayo de viscosidad rotacional que reemplazó al ensayo empírico por Penetración como clave de caracterización del ligante asfáltico. (Ordonez & Minaya , 2006).

La viscosidad es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido, resistencia producto del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La inversa de la viscosidad es la fluidez.

Las especificaciones generalmente se refieren a la viscosidad del asfalto a dos temperaturas diferentes, 60°C (viscosidad absoluta o dinámica) y 135°C (viscosidad cinemática). La primera es para clasificar el cemento asfalto y representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura más alta de servicio; la segunda corresponde aproximadamente a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y colocación.

En el sistema de viscosidad el poise o centipoise (gr/seg cm) es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta. Cuanto más alto es el número de poises más viscoso es el asfalto. Por ejemplo la nomenclatura utilizada en caso que el ligante asfaltico se clasifica por viscosidad es AC-2.5 (Cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60°C) es conocido como un asfalto "blando". El AC-40 (Cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60°C) es conocido como un asfalto "duro".

2.2.4.1.3 Superpave

Otra forma de clasificar los asfaltos para uso vial fue desarrollado a partir de 1987 por el Gobierno de EE.UU de América en el Programa de Investigación Estratégica de Carretera cuyas siglas en ingles SHRP (Strategic Highway Research Program), que tenía por objetivo establecer nuevas especificaciones, ensayos y normas de diseño para materiales asfalticos basándose directamente en el desempeño (performance) de los mismos, más que en relaciones empíricas entre las propiedades físicas observadas (Petrobras, 2010, pág. 7). El producto final del programa de investigación sobre asfaltos de SHRP de una inversión de 150 millones de dólares, es un nuevo sistema conocido como Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements – Desempeño Superior de los Pavimentos Asfálticos) este sistema brinda un enfoque más racional para clasificar ligantes asfalticos, agregados pétreos, diseño y predicciones del comportamiento de mezclas asfálticas.

A finales de 1995 se terminó de construir la pista de pruebas denominada WESTRACK, en donde se ensayaron 26 secciones con dos tipos de mezclas asfálticas. En 1997 de manera prematura se presentaron problemas de asentamientos permanentes o "rutting" no previstos, problemas que fueron materia de investigación y cuyas conclusiones permitieron ajustar y mejorar progresivamente el método. Actualmente, las agencias estatales están realizando investigaciones en pistas de pruebas con la finalidad de implementar ensayos de evaluación de menor duración. En el año 2000 más del 60% del volumen de mezclas asfáltica fue diseñado por el sistema Superpave y los EE.UU. ha invertido hasta la fecha más de 500 millones de dólares en la implementación del sistema Superpave.

El sistema Superpave es denominado "mecanístico" debido a que incorpora conceptos y fundamentos básicos de la mecánica de los materiales, conceptos que están desplazando a las formulaciones empíricas. El Superpave utiliza criterios basados en la performance, teniendo en cuenta condiciones específicas del proyecto, como el clima, estructura existente, patrones y modalidades de tránsito y cargas, es por ello que el Superpave

optimiza la resistencia de la mezcla a las deformaciones permanentes, agrietamiento por fatiga y el agrietamiento producido por bajas temperaturas.

Ordonez & Minaya (2006) señalan que los métodos "mecanísticos" se aplican actualmente en el diseño de toda la estructura del pavimento, inclusive en la evaluación de la fundación o subrasante, es decir ya no queda campo de aplicación para los métodos de diseño "empíricos", esto producirá, como en los EE.UU de América, un reciclaje natural en la ingeniería de pavimentos en el Perú. Además el Superpave está siendo implementado por agencias americanas para reemplazar los métodos Marshall y Hveem (que se utilizan actualmente en el Perú).

La especificación Superpave para ligantes asfálticos define el grado de desempeño (PG) (ver la Figura N°2. 15) con base en registros de temperaturas ambiente de estaciones meteorológicas por un período mínimo de 20 años. Se calcula el promedio y la desviación estándar de las temperaturas máximas del aire de los siete días consecutivos más calurosos del año y el promedio y la desviación estándar de la temperatura mínima del aire del día más frío del año. Posteriormente, son calculadas las temperaturas del pavimento.

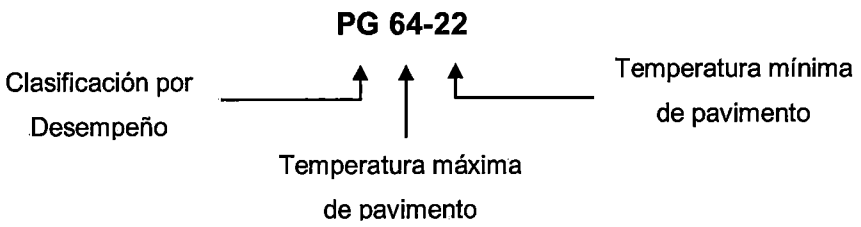


Figura N°2. 15. Grado de performance (PG) para el ligante asfaltico utilizado por superpave
Fuente: Elaboración Propia

El grado de desempeño varía en niveles, cada nivel equivale a 6°C, tanto en altas como en bajas temperaturas. El PG a altas temperaturas es determinado a través de ensayos en el Reómetro de Corte Dinámico (Dynamic Shear Reometer - DSR) que evalúa la reología del asfalto (módulo de corte complejo y el ángulo de fase) con ligante virgen y envejecido a corto plazo en el Horno

Rotatorio de Película Delgada (Rolling Thin Film Oven Test – RTFOT) durante el mezclado y construcción. El PG a bajas temperaturas es determinado a partir del ensayo de módulo de rigidez del asfalto en el Reómetro de Viga de Flexión (Bending Beam Rheometer – BBR), el mismo que es realizado con asfalto envejecido en el RTFOT y el Vaso de Envejecimiento a Presión (Pressure Aging Vessel - PAV) en donde se realiza la simulación de envejecimiento luego de 7 a 10 años de servicio del ligante asfaltico en la vía. Esto se debe a que el agrietamiento por fatiga tarda varios años y depende de las condiciones medio ambientales y de tráfico. Ensayo de Tracción Directa (DTT) se realiza para materiales que no atienden los criterios de rigidez del ensayo BBR. Para determinar si el ligante asfáltico puede alargar una cierta extensión sin romper y evalúa el agrietamiento baja temperatura. Los asfaltos definidos por el método Superpave son representados en la Cuadro N°2. 6 (Motta, Tonial, Leite, & Constantino, 1996).

Cuadro N°2. 6. Asfalto definidos por el método Superpave

Clasificación a alta temperatura	Clasificación a baja temperatura
PG 46	-34, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

Fuente: (Motta, L. M. G., Tonial, I., Leite, L. F., Constantino R. S., 1996)

Escalante (2011) determino la clasificación de ligantes asfalticos por el sistema Superpave, para las diferentes regiones climáticas del Perú. Para ello utilizo las 120 estaciones meteorológicas registradas por SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) que operaron en los últimos 25 a 30 años, con los cuales determino las temperaturas máximas y mínimas del aire.

Para determinar las temperaturas del pavimento fueron calculadas a través de modelos desarrollados por las agencias de SHRP, C-SHRP (Canadá) y el LTPP (The Long Term Pavement Performance Program). Las conclusiones en las llego se indican en los siguientes líneas abajo y en el Cuadro N°2. 7.

- Para las carreteras en zona de costa o selva con volumen de transito menor a 30 x 10^6 y con velocidades medias el asfalto necesario seria PG 76 -10.

- Para las carreteras en zona de costa o selva más críticas con alto volumen de tránsito y con velocidades menores a 20km/h el asfalto necesario seria PG 82 -16.

- Para las carreteras en zonas de sierra con velocidad de transito menor a 90Km/h, pendientes pronunciadas (>4%), presencia de gradientes térmicas elevadas y velocidades de enfriamiento elevadas de acuerdo a las recomendaciones del Superpave Plus el asfalto necesario seria PG 70 -28.

- Para el caso de carreteras en zona de altura con las condiciones más críticas como, con velocidad de transito menor a 20Km/h, pendientes pronunciadas (>4%), curvas sinuosas, presencia de gradientes térmicas elevadas y velocidades de enfriamiento elevadas de acuerdo a las recomendaciones del Superpave Plus el asfalto necesario seria PG 76 -28.

Cuadro N°2. 7. Grado de desempeño necesario para las diferentes regiones del Perú

Área geográfica	PG Clima	PG Clima y Transito Normal	PG Clima y Transito Severo
Costa	PG 70 -10	PG 76 -10	PG 82 -16
Sierra	PG 58 -22	PG 64 -28	PG 76 -28
Selva	PG 70 -10	PG 76 -10	PG 82 -16

Fuente: (Escalante Zegarra, 2011)

2.2.4.2 Asfaltos diluidos (Cut Backs Asphalts)

Los asfaltos Cut Backs tienen el 99% de aceptación en el Perú, sin embargo, en EE.UU de América, 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 (Huaman Guerrero, 2011). Los asfaltos diluidos más usados en el país se mencionan en el Cuadro N°2. 8.

Los Cut Backs resultantes de la dilución de Cementos Asfálticos con algún derivado de Petróleo. Los diluyentes se evaporan después de la aplicación. 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:

- **Curado rápido (RC):** constituido por cemento asfáltico y un diluyente liviano de alta volatibilidad, generalmente con un punto de ebullición de rango similar a la nafta o gasolina (26% Nafta o gasolina pesada).

- **Curado medio (MC):** constituido por cemento asfáltico y un diluyente mediano de volatibilidad media, generalmente en el orden del punto de ebullición del kerosene (30% Kerosene).

- **Curado lento (LC):** constituido por cemento asfáltico y aceites de baja volatibilidad (35% Diésel). 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.

Cuadro N°2. 8. Asfaltos diluidos más utilizados en el Mercado Nacional

Asfalto de curado rápido	Asfalto de curado medio	Asfalto de curado lento
RC-250: Siendo de mayor de manda 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 de 15% de demanda nacional	MC-70: De menor demanda nacional	

Fuente: (Huaman Guerrero, 2011)

2.2.4.3 Emulsiones asfálticas

Podemos definir una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura N°2. 16, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión (Guerrero Abrego, Martínez Rodríguez, & Portillo Revelo, 2014, pág. 57).

La concentración de cada una de estas fases determina el tipo de emulsión; así, se dice que una emulsión es directa cuando la fase hidrocarbonada se encuentra dispersa en la parte acuosa, y una emulsión es inversa cuando la parte acuosa se encuentra dispersa en la parte hidrocarbonada. En la construcción de vías se emplean las emulsiones directas, dada su baja viscosidad a temperatura ambiente.

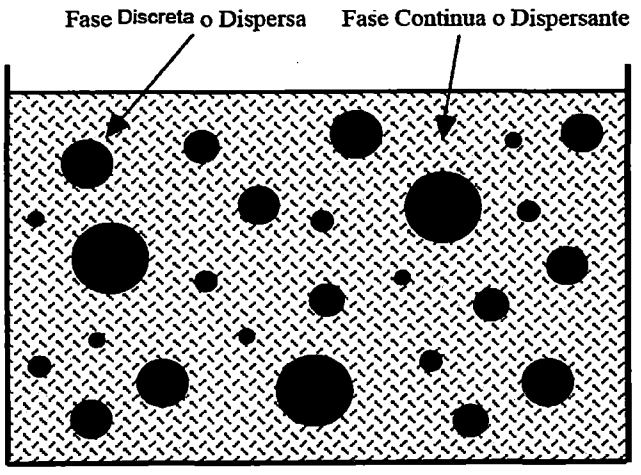


Figura N°2. 16. Fases que componen una emulsión
Fuente: (Guerrero Abrego, Martínez Rodríguez, & Portillo Revelo, 2014, pág. 57)

El tamaño de las partículas de asfalto es un factor vital en la elaboración de una emulsión estable. Una fotografía a nivel microscópico de una típica emulsión (ver la Figura N°2. 17) pone en evidencia estos promedios de tamaños de partículas (Guevara Palma, Mendez Delgado, & Pimentel Gomez, 2010, pág. 75).

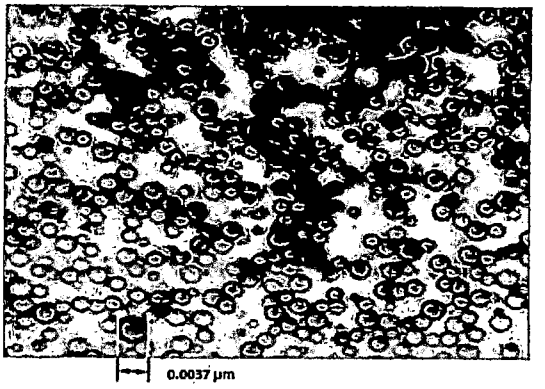


Figura N°2. 17. Tamaños relativos y distribución de las partículas de asfalto en una emulsión
Fuente: (Guevara Palma et al., 2010, pág. 75).

Menor de 0.0001 mm (1 µm)28%
0.001 – 0.005 mm (1 – 5 µm)57%
0.005 – 0.010 mm (5 – 10 µm)15%

El emulsificante, es el aditivo químico tenso activo, que determina el tipo de emulsión: si la carga del glóbulo es negativa se dice que la emulsión es aniónica, y si esta carga es positiva, entonces la emulsión será catiónica (ver Figura N°2. 18). Tanto el emulsificante aniónico como el catiónico son compuestos orgánicos con peso molecular muy alto, y cuya fracción hidrocarbonada lineal o cíclica puede ser diluida en el asfalto (ver la Figura N°2. 19). De acuerdo al tipo de emulsión existen grupos ácidos y grupos amínicos; los emulsificantes aniónicos pertenecen a los primeros y los catiónicos a los segundos, los cuales se encuentran saponificados, es decir, su parte polar puede ser diluida en el agua e hidrófila.

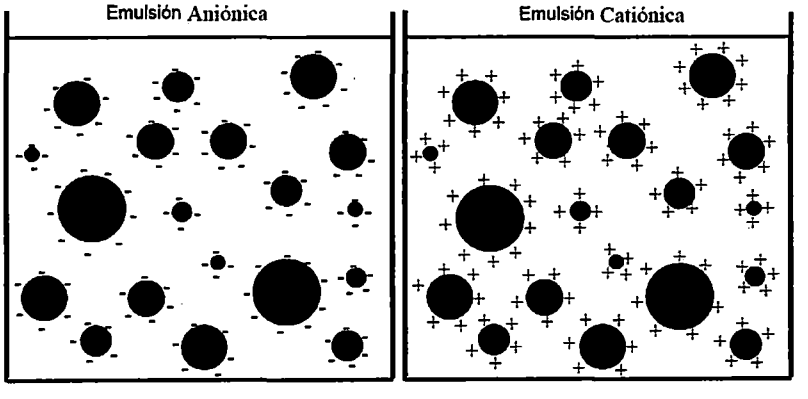


Figura N°2. 18. Emulsión y carga que contiene sus glóbulos
Fuente: (Guerrero Abrego, Martínez Rodríguez, & Portillo Revelo, 2014, pág. 62)

Una vez preparada la emulsión, la gran mayoría de estos productos se sitúan en la interface. El asfalto recibe la porción orgánica y el agua, por su parte, acoge la parte polar inorgánica. Los emulsificantes iónicos inducen a los glóbulos a cargarse con el mismo signo, produciendo la repelencia entre ellos. Bajo la presencia de una superficie mineral, su comportamiento es influido por su tipo y concentración.

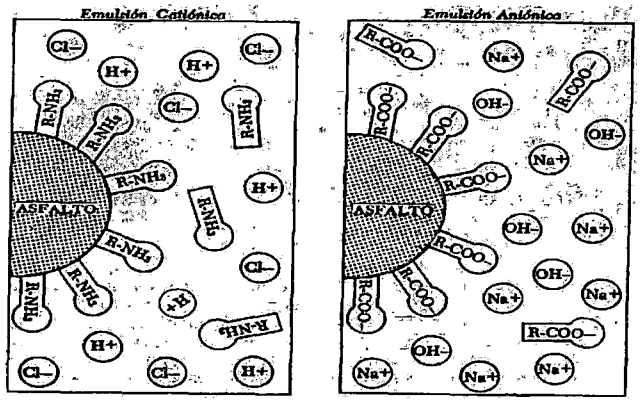


Figura N°2. 19. Esquema de un glóbulo que forma una emulsión anionica y una catiónica, respectivamente
Fuente: (Sierra & Forero, 2003, pág. 47)

La ruptura es el fenómeno mediante el cual la emulsión coloca sobre la superficie una capa de ligante, después de pasado un determinado tiempo. Antes de ocurrir esto, la emulsión debe convertirse en una de tipo inverso, es decir, pasa por un periodo en el que todo su porcentaje de asfalto se concentra. A continuación pierde toda el agua hasta quedar totalmente rota.

Este proceso es imposible de invertir aunque se agregue nuevamente agua. La ruptura de una emulsión aniónica está determinada por algunos factores tales como: la evaporación de la fase acuosa y su difusión, además de una pequeña influencia de los factores fisicoquímicos y la absorción por parte de los agregados pétreos de una parte del emulsificante.

Por otro lado, la absorción en las emulsiones catiónicas es producida por la reacción con el material de la parte polar ácida y ácidos grasos. Dicha reacción destruye la película protectora y genera la ruptura depositando el ligante sobre el agregado.

La ruptura de la emulsión es producida debido a que los agregados absorben la parte polar del jabón, induciendo la adherencia entre los glóbulos de asfalto y los agregados pétreos, sin importar que se presente humedad. Lo anterior no aplica para las emulsiones aniónicas.

Las propiedades descritas anteriormente hacen que la adherencia sea mejor en las emulsiones catiónicas, además de la mejor distribución del asfalto en la mezcla.

Cuando se trabaja bajo climas húmedos o en temporada invernal, las actividades no se ven suspendidas si se utilizan emulsiones catiónicas. Estas condiciones no son impedimento para lograr que el asfalto se ligue perfectamente a los agregados pétreos, lo que hace las vías sean dadas a servicio en un menor tiempo, y a su vez se incrementa el rendimiento horario de la maquinaria.

El contenido de Sílice presente en las rocas es un factor determinante para su clasificación. De esta manera se tiene que las rocas ácidas poseen más del 66% de Dióxido de Silicio (SiO_2), las intermedias tienen un rango que varía de 52% a 66% y, por último, las básicas cuentan con menos del 52% de dicho componente. En el Cuadro N°2. 9 se muestra una clasificación de las rocas según su contenido de Sílice.

Cuadro N°2. 9. Clasificación de las rocas

Rocas ácidas	Rocas intermedias	Rocas básicas
Granitos	Sienitas	Gabro
Granodiorita	Traquita	Basalto
Granito pórfido	Traquiandesitas	Peridotita
Riolita	Diorita	Piroxenita
Dacita	Fonolita	Dolerita

Fuente: (Rivera, 1998)

La polaridad de los materiales silíceos ácidos y básicos fue todo un misterio en el pasado. Hasta 1961 se creía que los materiales silíceos ácidos tenían cargas eléctricas negativas, y que los materiales básicos cargas positivas. Fue

en este año cuando Mc. Glashan y Rule presentaron una investigación titulada "Determination of electrokinetic potencial and surface charge of highway aggregates", la cual aclaró muchas dudas al respecto. Adicionalmente, Cullen Sherwood presentó en 1967 otra investigación titulada "Determination of surface charges of certain highway aggregates by streaming potencial methods". Dichos trabajos establecieron que los granitos, calizas, dolomitas, mármol, areniscas, basalto, cuarzo, entre otras tienen cargas negativas.

Toda esta información fue comprobada mediante un estudio realizado por J. Dybalsky en 1976 titulado "The Chemistry of Asphalt Emulsions". Lo anterior es de gran utilidad en el entendimiento de cómo se comportan las emulsiones al contacto con los materiales pétreos. Las Figura N°2. 20 y Figura N°2. 21 ilustran la acción de emulsiones aniónica y catiónica con materiales calizo y silíceo respectivamente, y la Figura N°2. 22 muestra los pasos por los que atraviesa una emulsión hasta tener la rotura completa ante un material pétreo.

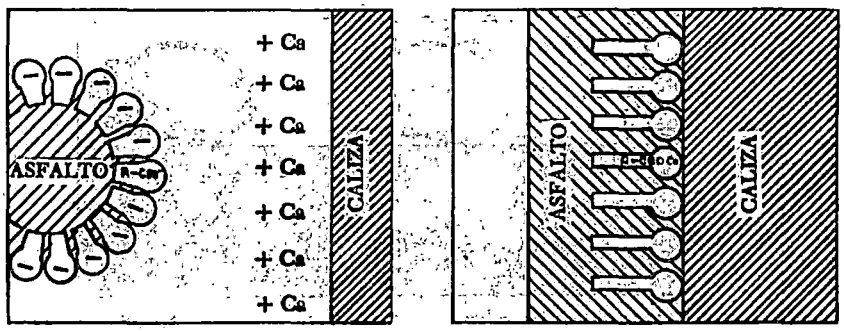


Figura N°2. 20. Acción de una emulsión aniónica con un material calizo

Fuente: (Sierra & Forero, 2003, pág. 57)

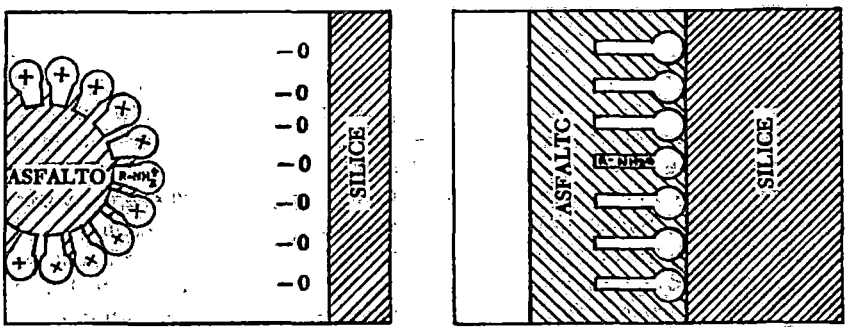


Figura N°2. 21. Acción de una emulsión catiónica con un material silíceo

Fuente: (Sierra & Forero, 2003, pág. 57)

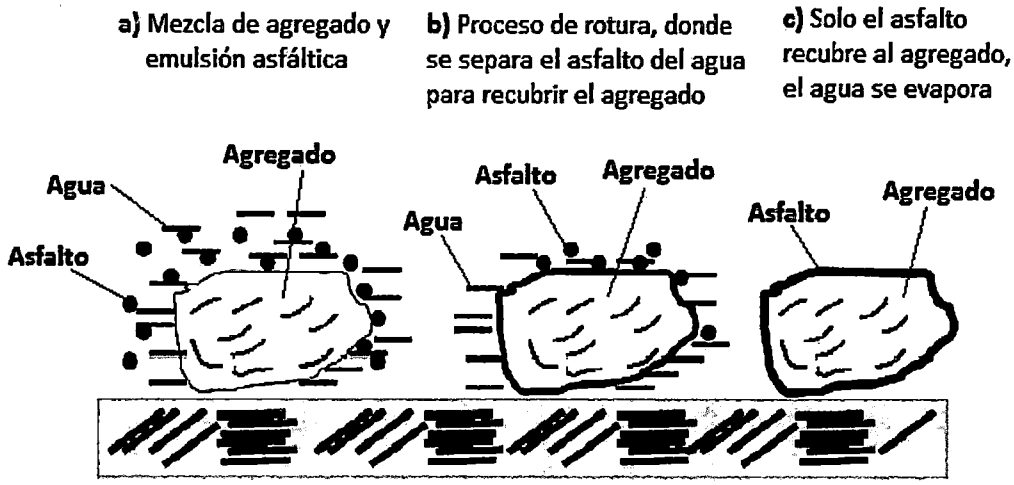


Figura N°2. 22. Pasos por los que atraviesa una emulsión hasta tener la rotura completa ante un material pétreo

Fuente: (Guerrero Abrego, Martínez Rodríguez, & Portillo Revelo, 2014, pág. 90)

La nomenclatura usada para la identificación de un determinado tipo de emulsión asfáltica, sean aniónicas o catiónicas, están detalladas en el Cuadro N°2. 10, acorde a las normas AASHTO y ASTM.

Cuadro N°2. 10. Nomenclatura según ASTM y AASHTO

Emulsión Asfáltica Aniónica (ASTM D977, AASHTO M140)	Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS – 1 (RR – 1)	CRS – 1 (CRR – 1)
RS – 2	CRS – 2
HFRS – 2	-----
MS – 1 (RM – 1)	-----
MS – 2	CMS – 2 (CRM – 2)
MS – 2h	CMS – 2h
HFMS – 1	-----
HFMS – 2	-----
HFMS – 2h	-----
HFMS – 2s	-----
SS – 1 (RL – 1)	CSS – 1 (CRL – 1)
SS – 1h	CSS – 1h

Fuente: (Asphalt Institute , 1990)

Donde:

- La letra C indica que es una emulsión catiónica. La ausencia de esta letra indica una emulsión aniónica.
- Las cifras 1 y 2 indican la viscosidad. Un valor igual a 1 indica una viscosidad baja y para un valor igual a 2 una viscosidad alta.
- La letra "h" incluida en algunos grados indica que la base asfáltica es más consistente (hard, dura). Quiere decir que en muchos casos en

función del clima en obra, se necesitará que la emulsión tenga un residuo de mayor dureza. La letra "s" indicaría que la base es más blanda (soft).

- Las letras HF significa alta flotación.

2.2.4.4 Asfaltos modificados

Como material viscoelástico, el asfalto tiene una gran importancia en la determinación de muchos aspectos del comportamiento de la carretera. Por ejemplo, una mezcla bituminosa necesita ser lo suficientemente flexible a temperaturas bajas de servicio, para prevenir los agrietamientos térmicos, y lo suficientemente resistente para soportar las deformaciones permanentes. (Ordonez & Minaya , 2006, pág. 67).

Esas propiedades son necesarias para que el pavimento sea capaz de soportar el crecimiento de tráfico con variaciones climáticas. Lamentablemente las mezclas bituminosas con asfalto convencional, no siempre tienen el comportamiento deseado.

Huamán Guerrero (2011) señala que existen diferentes tipos de modificadores como los polímeros en sus diferentes formas, el polvo de caucho, entre otros. Así, entre los polímeros tenemos:

- SBS: Stireno - Butadieno - Stireno
- SBR: Stireno - Butadieno -Rubber
- EVA: Etileno – Vinil— Acetado
- PBD: Polibutadieno
- PIB: Poli- Iso— Butadieno
- Olefina Eastman EE-2
- Modifal
- Butonal
- Desechos Plásticos
- Jebe Natural / Látex

El empleo de modificadores asfálticos, favorece de manera muy considerable el comportamiento de las mezclas, aumentan la resistencia a las altas temperaturas, lo que conduce a que las mezclas se comporten elásticamente, recuperando todas las deformaciones inducidas por las cargas del tráfico, evitando la formación de ahuellamientos.

2.2.5 Susceptibilidad térmica del asfalto

2.2.5.1 Comportamiento del asfalto

La susceptibilidad térmica se define como el cambio de la consistencia, medida generalmente por la viscosidad, con un cambio de la temperatura. En el caso del asfalto viene a ser la variación de sus propiedades al ser sometido a determinadas temperaturas (Huamán Guerrero, 2011).

El cemento asfáltico es un material termoplástico, cuya consistencia cambia con la temperatura, la magnitud y la duración de la carga; es una propiedad inherente a todo cemento asfáltico, que se debe manejar y aprovechar al máximo.

Se requiere dos medidas de la viscosidad como mínimo, para poder establecer la susceptibilidad térmica de un asfalto. Los cementos asfálticos con un alto grado de susceptibilidad térmica no son deseables, ya que su viscosidad a 135° C, muy baja puede ocasionar inconvenientes durante el proceso de mezclado y compactación. Por otro lado, a bajas temperaturas de servicio su viscosidad puede resultar muy alta y ser causante de problemas de fisuramiento por contracciones térmicas.

Si un cemento asfáltico registra una viscosidad muy baja (muy fluido) a las altas temperaturas de servicio, se pueden generar ahuellamientos. Si por el contrario, el cemento asfáltico presenta altas viscosidades (muy viscosos) a bajas temperaturas de servicio, habrá fisuramientos. Lo anterior va unido a los cambios en el sistema coloidal que pudieron presentarse durante la elaboración de la mezcla en planta.

El comportamiento del asfalto dependerá de la temperatura y el tiempo de carga. En la Figura N°2. 23 se observa el comportamiento del flujo de un asfalto que puede ser el mismo en una hora a 60°C que en 10 horas a 25°C. En otros términos, tiempo y temperatura son intercambiables; alta temperatura y corto tiempo equivalen a baja temperatura y mayor tiempo.

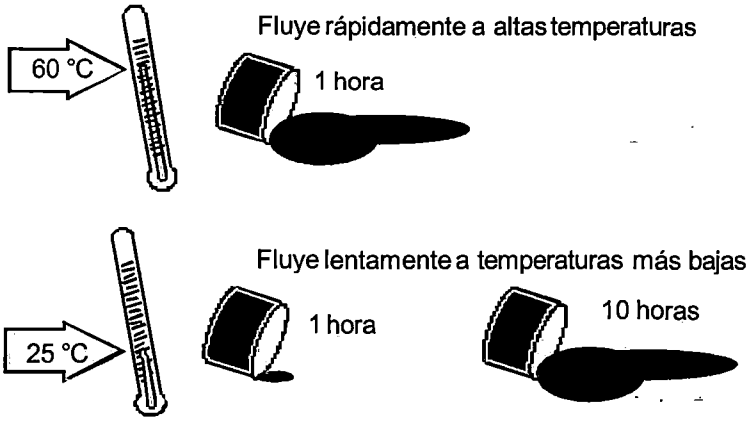


Figura N°2. 23. Comportamiento de flujo de cemento asfaltico
Fuente: (Huaman Guerrero, 2011)

La susceptibilidad térmica de un cemento asfáltico se utiliza principalmente en los siguientes casos:

- Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación.
- Calibración de las temperaturas de manejo en planta y en servicio.

2.2.5.2 Comportamiento a alta temperatura

A temperaturas altas (por ejemplo en desiertos) o bajo cargas sostenidas (ejemplo camiones a baja velocidad), el cemento asfaltico actúa como un líquido viscoso y fluye. La viscosidad es la característica que describe la resistencia de los líquidos a fluir. Si pudiera observarse, con un microscopio muy sofisticado, a un líquido como el asfalto caliente fluir lentamente, se vería el movimiento relativo de las capas adyacentes de líquido, quizá del espesor de una molécula (ver la Figura N°2. 24).

La fuerza de fricción, o resistente, entre estas capas depende de la velocidad relativa a la que se desliza una sobre otra. La fuerza resistente entre las capas se debe a éstas fluyen a velocidades ligeramente diferentes. La capa superior

trata de arrastrar a la inferior mientras que esta última trata de frenar a aquella. La relación entre la fuerza resistente y la velocidad relativa puede ser muy diferente en la mayoría de los líquidos.

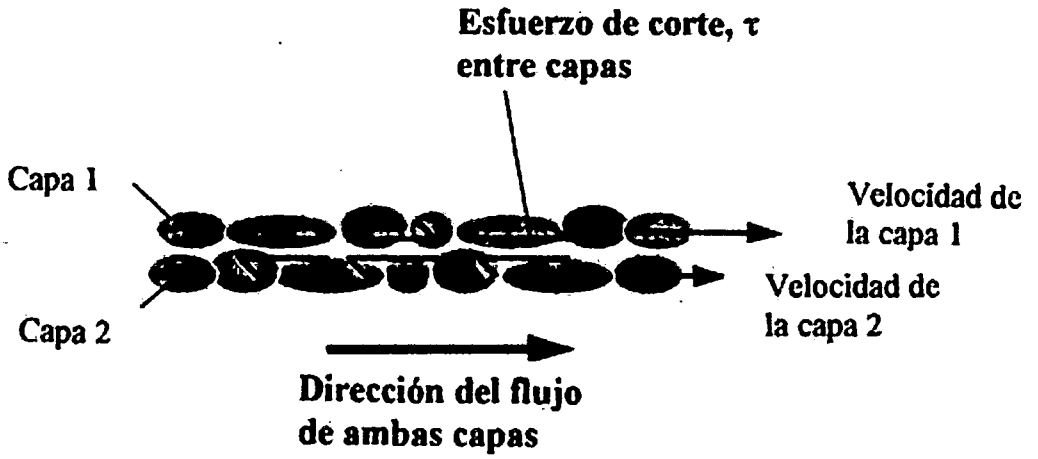


Figura N°2. 24. Vista microscópica de las características de flujo de un liquido
Fuente: (Yarango Serrano, 2014).

Afortunadamente, la viscosidad es una característica (a diferencia de la composición química) que puede emplearse para expresar esta diferencia. La siguiente ecuación describe la situación de la Figura N°2. 24, y muestra cómo el coeficiente de viscosidad (μ) es usado para explicar diferencias en las características de flujo en distintos líquidos.

$$\tau = \mu \times \text{velocidad de deformación específica por corte.}$$

En esta ecuación, τ es la resistencia al corte entre las capas y la velocidad de deformación específica por corte es la velocidad relativa a la que la capa 1 se desliza respecto de la capa 2. La Figura N°2. 25 muestra el comportamiento viscoso de varios tipos de materiales. La viscosidad (μ) es la pendiente de la curva para cada material.

En los fluidos Newtonianos hay una relación lineal entre fuerza resistente y velocidad relativa. El aire, el agua y el asfalto a altas temperaturas (más de 50°C) son fluidos Newtonianos comunes. Materiales como la pasta dental son fluidos cuasi - Newtonianos con la excepción de que desarrollan una

resistencia interna al flujo que debe ser vencida para que las capas comiencen a deslizarse unas sobre otras.

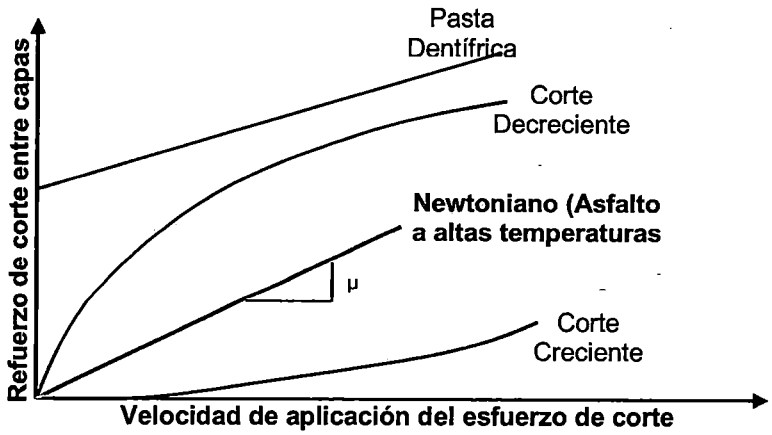


Figura N°2. 25. Características de viscosidad de varios líquidos
Fuente: (Yarango Serrano, 2014)

A temperaturas moderadas el asfaltó es un "líquido de corte creciente" (shear thinning liquid) pues su viscosidad decrece al aumentar la velocidad relativa. Algunas soluciones de polímeros son líquidos de corte decreciente, otras son "líquidos de corte creciente" (shear thickening liquid). Corte creciente significa que la viscosidad aumenta con el aumento relativo de la velocidad entre las capas.

Líquidos viscosos como el asfalto caliente son a veces llamados plásticos, porque una vez que comienzan a fluir no regresan a su posición original. Por esto, en climas cálidos algunos pavimentos asfálticos fluyen bajo cargas repetidas y forman ahuellamientos. Sin embargo, el ahuellamiento de los pavimentos asfálticos en climas cálidos es también influido por las propiedades de los agregados y es probablemente más correcto decir que es la mezcla asfáltica la que tiene un comportamiento plástico.

2.2.5.3 Comportamiento a baja temperatura

A baja temperatura (por ejemplo. días fríos de invierno) o bajo cargas muy rápidas (por ejemplo. camiones a alta velocidad), el asfalto se comporta como un sólido elástico. Los sólidos elásticos son como bandas de goma. Esto es,

se deforman al ser cargados y retornan a su forma original al ser descargados. La deformación elástica se recobra completamente (ver la Figura N°2. 26).

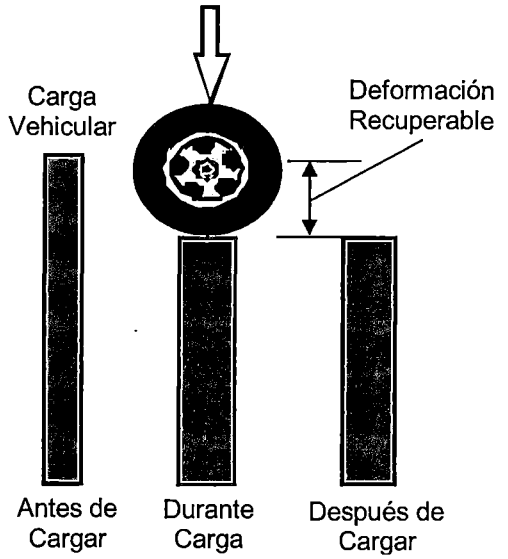


Figura N°2. 26. Comportamientos de solido elástico

Fuente: (Yarango Serrano, 2014)

Si se aplica una carga excesiva, el sólido elástico puede romperse. Aunque el asfalto es un sólido elástico a baja temperatura, puede volverse demasiado frágil y agrietarse bajo carga excesiva. Es por esto que el agrietamiento a baja temperatura (low temperatura cracking) a veces ocurre en pavimentos asfálticos en climas fríos. En este caso, las "cargas" se deben a esfuerzos internos que se desarrollan dentro del pavimento cuando el proceso de contracción es restringido (por ejemplo durante y después de una rápida caída de la temperatura).

2.2.5.4 Envejecimiento

Existe otra característica especial de los asfaltos. Debido a que están compuestos por moléculas orgánicas, reaccionan con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se llama oxidación y cambia la estructura y composición de las moléculas del asfalto. El resultado es una estructura más frágil, y es la razón del término endurecimiento por oxidación o por envejecimiento. Este fenómeno ocurre en el pavimento a una velocidad relativamente baja, si bien es mucho más rápido en un clima cálido que en un clima frío. Así, el endurecimiento por oxidación es estacional, y es más rápido

en un clima cálido que en un clima frío. Así, el endurecimiento por oxidación es estacional, y es más marcado en verano que en invierno. Debido a este tipo de endurecimiento, los pavimentos viejos son más susceptibles al agrietamiento que los nuevos. Incluso, los pavimentos asfalticos nuevos pueden ser propensos a este fenómeno si no se compactan adecuadamente. En este caso, la falta de compactación origina un alto contenido de vacíos en la mezcla, lo que permite a una mayor cantidad de aire ingresar en la mezcla asfáltica y agravar el endurecimiento por oxidación.

De hecho, una considerable parte del envejecimiento por oxidación ocurre antes de la colocación del asfalto: durante el mezclado en caliente y otras operaciones constructivas. Debido a que estas actividades se efectúan a altas temperaturas, y el asfalto se encuentra en películas muy delgadas, la reacción de oxidación ocurre a una velocidad mucho mayor.

Otro tipo de endurecimiento ocurre durante el mezclado en caliente y construcción; se denomina "volatilización". A altas temperaturas los componentes volátiles del asfalto se evaporan. Estos componentes volátiles – livianos del tipo de aceites – ablandarían el asfalto de permanecer dentro de éste.

Un fenómeno llamado "endurecimiento físico" ha sido observado en los cementos asfalticos. Este ocurre luego de una larga exposición a bajas temperaturas. Al bajar la temperatura, el asfalto se contrae, lo que es acompañado por un incremento en su dureza. Aun cuando la temperatura se estabilice en un bajo valor, el asfalto continúa su contracción y endurecimiento. El endurecimiento físico es más pronunciado a temperaturas por debajo de 0°C, y debe considerarse al ensayar asfaltos a muy bajas temperaturas.

2.2.6 Fortalezas y debilidades del asfalto

Huamán Guerrero (2011) señala que los asfaltos presentan fortalezas y debilidades que nos permitirán caracterizarlos mejor para su utilización; como son:

Fortalezas: propiedades como consistencia, adhesividad, impermeabilidad, durabilidad.

Debilidades:

- Muy susceptible a los cambios de temperatura
- Sufre envejecimiento por intemperismo
- Es afectado por la oxidación y la fotodegradación
- Sus propiedades mecánicas son muy pobres
- Es 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 del asfalto es en lo que se debe actuar, por ello el conocimiento del asfalto por su penetración y viscosidad no es suficiente, debido a esto se define comportamiento reológico del asfalto.

2.2.7 Reologia del asfalto

La reología se define como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de los materiales bajo la aplicación de una carga; en este sentido comprende: la teoría de la elasticidad y resistencia de los materiales, la plasticidad la viscosidad y la hidráulica. Los materiales se asumen como cuerpos ideales y elásticos. Se usan los materiales en condiciones en donde el modelo elástico no tiene más validez (Huaman Guerrero, 2011).

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

- La resistencia total a la deformación (G* Módulo Complejo de Corte).
- La distribución relativa en esa resistencia, entre la parte viscosa y la parte elástica (δ Ángulo de Fase).

El comportamiento reológico del asfalto se resume en los cuatro aspectos importantes:

- A temperaturas por debajo de los 0° 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.
- A temperaturas intermedias entre 0° y 45° 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.
- A temperaturas entre 45° y 85°C., las mayores fallas en las carreteras se deben a las deformaciones plásticas y se necesita medir tanto G* como δ.
- A temperaturas superiores a 100°C., todos los asfaltos se comportan como fluidos newtonianos, y por lo tanto su viscosidad es independiente del tiempo de aplicación de la carga.

Son importantes tanto en (G*) y como en (δ), pues el daño producido por la carga estará en relación de cuanta deformación se produce y cuánta de esa deformación es recuperable. La magnitud de estas tensiones viene dada por la rigidez, la resistencia a la deformación del ligante asfaltico y por su habilidad para relajar estas tensiones disipando la energía producida en un flujo permanente.

2.3 RECICLAJE DE PAVIMENTO ASFÁLTICO

2.3.1 Generalidades

La conservación de carreteras es actualmente un aspecto de gran importancia debido a los recursos que moviliza. El presupuesto necesario para el mantenimiento, así como los problemas ambientales que de él se derivan,

justifican la búsqueda de nuevas técnicas que permitan reducir costos y protejan el medio ambiente. En este contexto, el reciclado, como medio de racionalizar los recursos, se convierte en una necesidad.

El desecho de los materiales envejecidos del pavimento, además de provocar problemas relacionados con la adquisición de nuevos materiales y con su construcción, resulta contraproducente desde el punto de vista técnico, ya que pese a estar envejecidos, conservan buena parte de sus propiedades. El fresado y reutilización de capas asfálticas representa un gran ahorro, ya que requiere sólo de un 1% a un 3% de asfalto adicional, mientras que una nueva capa asfáltica puede necesitar más del 6% (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2014).

Este aspecto, junto con el reducido costo de transporte y la escasa energía necesaria para la producción de una capa reciclada, hacen que el ahorro energético sea importante con relación a la construcción convencional de pavimentos. El reciclado es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del pavimento que ya han estado en servicio y que han perdido algunas propiedades, pero pueden ser reutilizados.

González & Thenoux Z.(2010) señalan que las técnicas de reciclado en un sistema de Gestión de Pavimentos, generalmente están formados en función del lugar donde se lleva a cabo la mezcla (reciclado in situ o en el lugar y reciclado en planta); en función de la temperatura de elaboración y colocación de la mezcla (reciclado en frío y reciclado en caliente); y en función del aglomerante utilizado o añadido (como cemento asfáltico, emulsión asfáltica, cemento portland). En la Figura N°2. 27 se observa las posibles combinaciones de reciclados que se aplican en los proyectos de conservación y rehabilitación de carreteras.

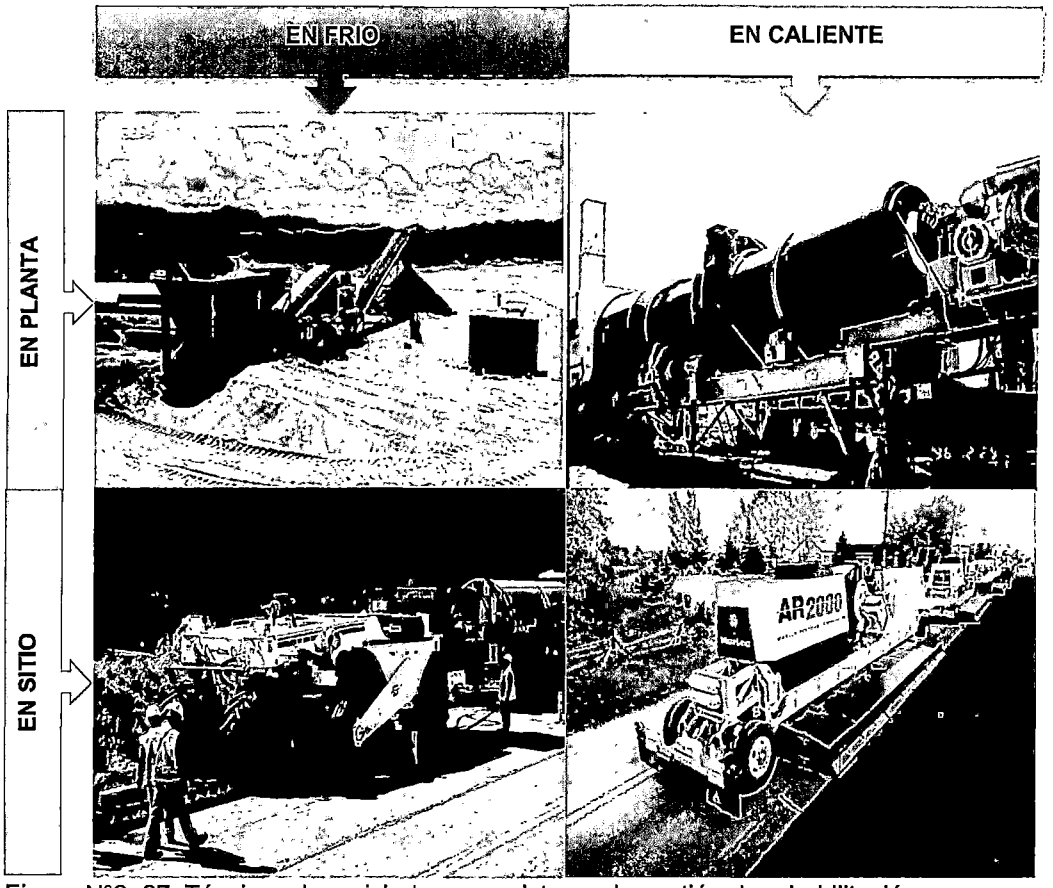


Figura N°2. 27. Técnicas de reciclado en un sistema de gestión de rehabilitación

Fuente: (González & Thenoux, 2010)

Elaboración Propia.

En resumen la técnica de reciclado, consiste en el tratamiento de materiales de pavimento antiguo, después de haber sido fragmentado o disgregado mecánicamente mediante un equipo fresador o recicladora (ver Figura N°2. 28) y recuperado para su uso. Este fresado puede ser profundo o superficial, depende del daño de la estructura del pavimento, además si la estructura de un pavimento se encuentra deteriorada, no significa que los materiales que lo conforman también lo estén. Se puede emplear parte o la totalidad, de una estructura de pavimento asfaltico para la fabricación de una mezcla asfáltica de calidad similar o superior a la existente o en la estabilización y mejoramiento de las capas granulares.

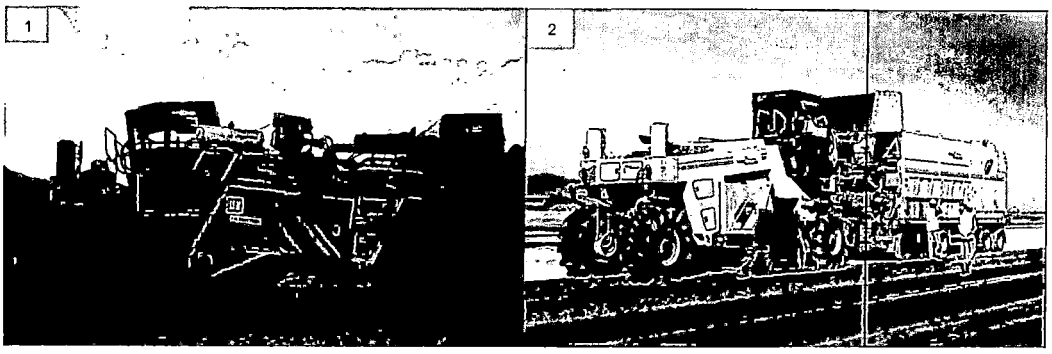


Figura N°2. 28. (1) Recicladora Wirtgen WR 2500-S y (2) Recicladora Wirtgen Moderna
Fuente: Elaboración Propia

2.3.2 Definición de RAP

Se denominará en adelante RAP en coincidencia con su nombre en inglés "Reclaimed Asphalt Pavement", al material recuperado de pavimentos asfálticos envejecidos y es uno de los elementos más importantes a tener en cuenta durante el proceso de reciclado de pavimentos ya que tiene gran influencia sobre las características finales del producto (LEMAC, 2008).

2.3.3 Pavimentos indicados para el reciclado

Usualmente son viejos pavimentos asfálticos, desde una mezcla asfáltica en caliente a una base granular con tratamiento superficial. Dichos pavimentos adolecerán de fisuración y de desintegración severa, tales como baches, ver la Figura N°2. 29. Frecuentemente la pobre condición del pavimento se debe a que este es, para el tráfico actuante, demasiado débil o de insuficiente espesor, y así es sobre esforzado. Todos los tipos de pavimentos asfálticos pueden ser reciclados: carreteras de bajo, medio y alto volúmenes de tráfico, caminos departamentales, calles urbanas, pistas de aeropuertos, y playas de estacionamiento. Muchos pavimentos asfálticos tienen bases granulares y algunos suelos arenosos en la subrasante, pudiéndose en ambos casos lograr un mejoramiento y un aumento en la resistencia mediante la estabilización con emulsión asfáltica o asfaltos espumados.

El reciclado de pavimentos puede emplearse en aquellos casos en que las fallas pueden atribuirse a la elevada rigidez del ligante asfaltico; al desprendimiento de los agregados; deformaciones plásticas que producen

ahuellamiento, ondulaciones, corrimientos, etc.; pulimiento de los agregados superficiales que disminuye la resistencia al deslizamiento; exudación de asfalto; fisuras y grietas ocasionadas por fatiga de las capa asfáltica o por la contracción producida por efectos térmicos.

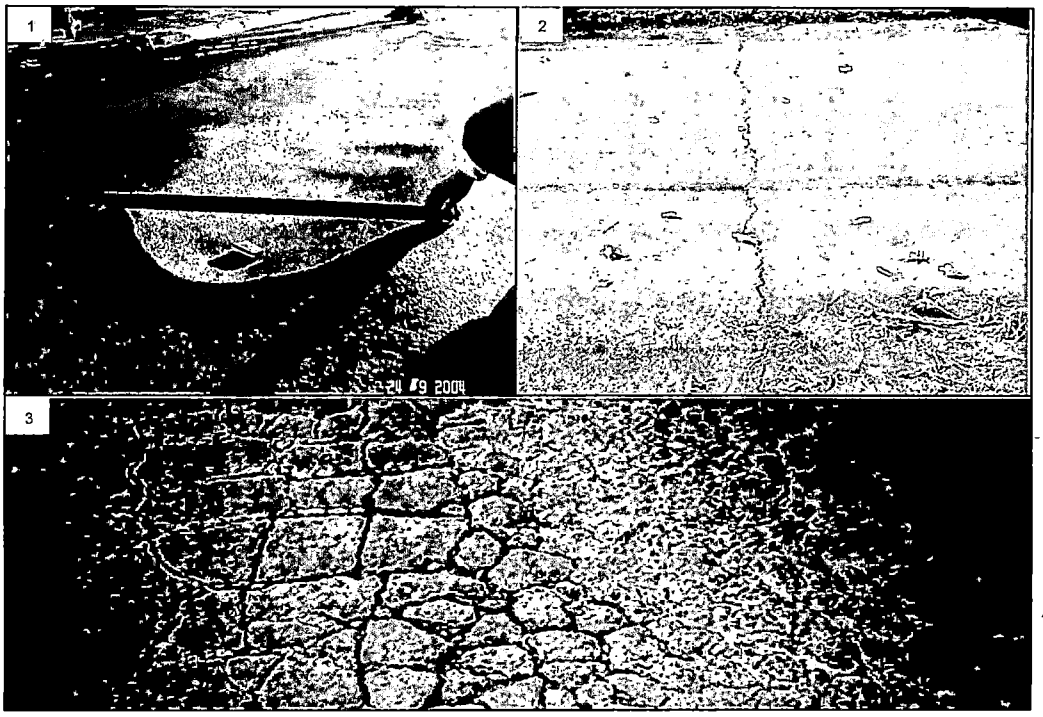


Figura N°2. 29. (1)Típico deterioro de pavimento por deformaciones plásticas, (2) fisuramiento por retracción térmica y (3) fatiga, con presencia de bombeo de finos
Fuente: Elaboración Propia

2.3.4 Reciclado en frio de pavimentos asfalticos

2.3.4.1 Generalidades

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). Para el caso de 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.

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 estos, 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. 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).

2.3.4.2 Tipos de reciclado en frio

El proceso y tratamiento del reciclado se logra mediante el mezclado del pavimento asfaltico recuperado, con asfalto y material granular nuevo. Como resultado se dan diversos tipos de reciclado de pavimentos en frío (reciclado en planta y reciclado in-situ), que están establecidos de acuerdo a ciertos elementos como el lugar de realización del tratamiento, la adición o no de agregado nuevo, la profundidad de fresado del pavimento (ver sección 2.3.4.4) y el uso de algún ligante asfáltico.

En la Figura N°2. 30 se señalan los aspectos que dan origen a las diferentes formas de reciclado en frio. Se debe tener en cuenta la elección del tipo de

combinación del reciclado en frio es de acuerdo a las solicitaciones del proyecto y la importancia de la misma.

Según el lugar en que se realice el reciclado, puede desarrollarse una mezcla in-situ, donde todo el fresado y procesamiento para el mezclado del RAP se realiza sobre la superficie misma en que se colocará, disminuyendo de esta manera los costos de transporte del material con respecto a una planta. De realizarse la mezcla en planta, el RAP fresado es transportado para ser acopiado y evaluado, logrando producir mezclas de mejor calidad al otorgar el reforzamiento adecuado específico para un determinado proyecto.

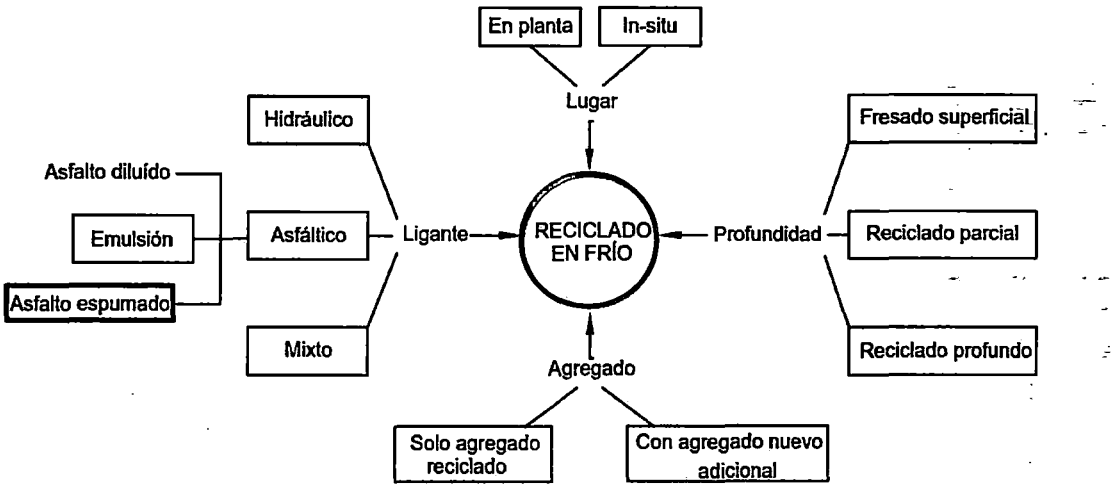


Figura N°2. 30. Diferentes formas de combinaciones de tipos de reciclado en frio
Fuente: (Thenoux Z. & Garcia, 1999)

2.3.4.2.1 Reciclado en frío en planta

De acuerdo con lo señalado por Thenoux Z. & Jamet (2002) la tecnología en planta el material es fresado, retirado y transportado hasta una planta (ver la Figura N°2. 31) donde se incorpora un material bituminoso (asfalto espumado o emulsión asfáltica) y se homogeneiza la mezcla. Luego la mezcla se transporta hasta el frente de trabajo, donde es extendida por medio de motoniveladoras o, preferentemente con pavimentadoras (ya que no se requerirá de nivelación), para luego ser compactada.

Los tipos de plantas utilizadas permiten su instalación en lugares inmediatos al frente de trabajo. Esto, permite reducir significativamente las distancias de

transporte de materiales, además la tecnología en planta permite un mejor control de calidad de la mezcla mediante un control de su dosificación. Tanto en el reciclado en frío de pavimentos asfálticos, como en la estabilización de suelos se coloca sobre la base asfáltica una carpeta de rodado del tipo sello de agregados, lechada asfáltica o una carpeta asfáltica. En caminos de menor importancia, la colocación de la carpeta de rodado puede incluso no ser necesaria.

Thenoux Z. G. (2010) señala que el reciclado en frío en planta se justifica en proyectos de pavimentación que presentan gran heterogeneidad o en reciclado de pavimentos urbanos. En ambos casos el material es frezado transportado a planta en donde se puede corregir la granulometría del material extraído. Las plantas de reciclado son portátiles, pueden trasladarse de modo de mantener cortas distancias de transporte.

Echeverría Moreno (2002) afirma que los principales beneficios del reciclado en frio en planta 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.

- 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.

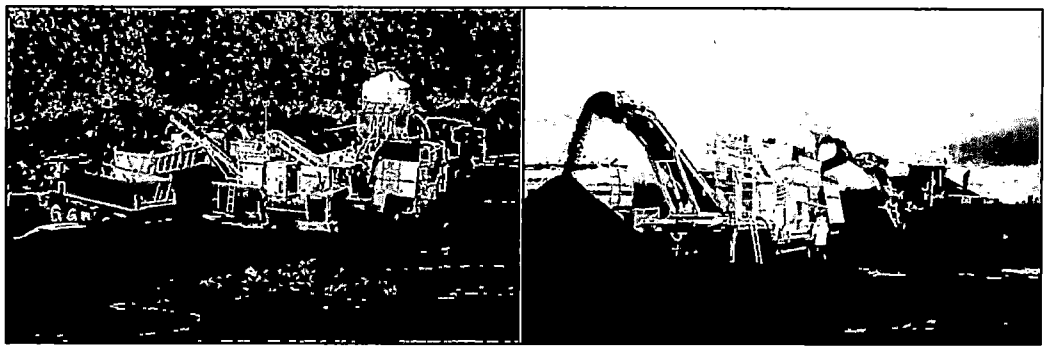


Figura N°2. 31. Reciclado en planta con asfalto espumado
Fuente: Elaboración Propia

2.3.4.2.2 Reciclado en frio in situ

El reciclado en frío in-situ de pavimentos de carreteras consiste en la reutilización de materiales procedentes de las capas del pavimento existente, después de su disgregación por fresado, de su mezclado y homogeneización con material asfaltico o cementante, envuelta de agua y, eventualmente adicionando, nuevos agregados pétreos de corrección y aditivos, y de su extendido y compactación en el propio lugar de extracción (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2014).

Esta técnica permite reutilizar la totalidad de los materiales extraídos del pavimento envejecido en condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales muy favorables tal como se visualiza en la Figura N°2. 32.

Las máquinas de reciclado han evolucionado constantemente, 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.

Figura N°2. 32. Reciclado In-situ
Fuente: (González & Thenoux, 2010)

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 N°2. 33.

2.3.4.3 El proceso de reciclado en frio

Hoy en día, 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 carreteras nuevas. 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.

La gran ventaja de estas máquinas es que permiten reciclar superficies de pavimento de gran espesor en una sola pasada, lo que obliga a sus diseñadores a hacerlas de gran tamaño y con mucha potencia. Estas máquinas funcionan con base en varias herramientas de corte que se encuentran dentro de un tambor fresador / mezclador, el cual gira y fresa el pavimento; esto se puede observar en la Figura N°2. 33.

El tambor fresador / mezclador se encuentra dentro de una cámara de mezclado, a la cual ingresa agua a través de una manguera flexible desde un

tanque conectado. El objetivo de la adición de agua es permitir que se alcance el contenido óptimo de humedad de compactación en la mezcla reciclada, y para ello se regula su paso por medio de un microprocesador, el cual gradúa el agua de manera exacta. Adicionalmente puede introducirse en la cámara de mezclado agentes estabilizadores como lo son las emulsiones asfálticas o lechadas de cemento / agua, individualmente o de manera combinada. Otro agente que puede ser adicionado es el asfalto espumado, el cual se inyecta en la cámara por medio de una manguera especialmente diseñada para tal efecto.

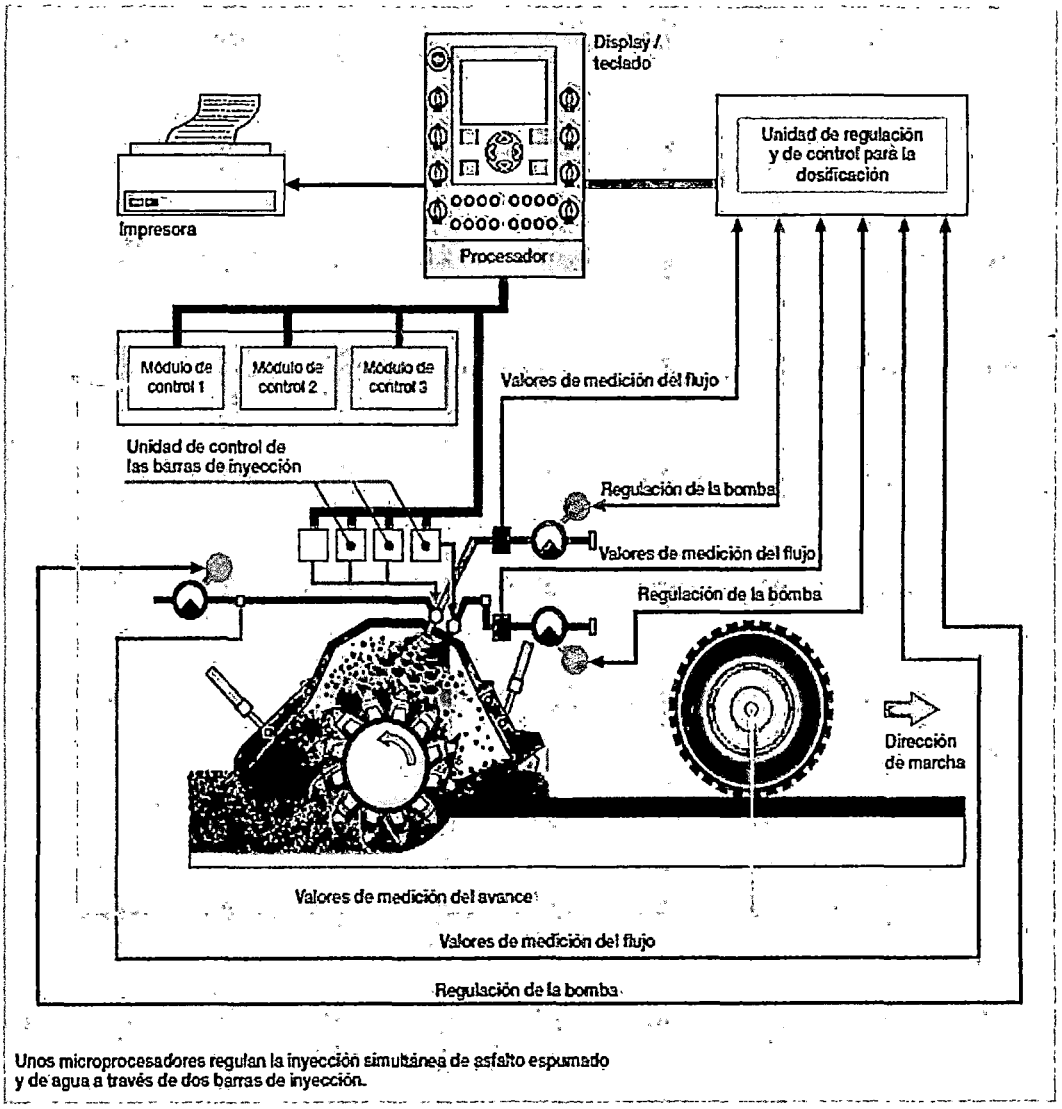


Figura N°2. 33. Configuración del tambor fresador / mezclador y de los sistemas de inyección

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2010)

El reciclado de pavimentos implica la configuración de un tren de reciclaje, el cual puede variar sus características dependiendo de la aplicación y el tipo de agente estabilizador empleado. Los equipos utilizados se acoplan mediante barras de tracción los cuales son tirados o empujados por la máquina. La Figura N°2. 34, Figura N°2. 35 y Figura N°2. 36 ilustran trenes típicos de reciclado.

El reciclado con cemento es una de las técnicas utilizadas en la cual el mezclador de lechada se ubica delante de la recicladora, siendo empujado por esta última como se muestra en la Figura N°2. 34. La mezcladora reúne de manera exacta las cantidades preestablecidas de agua y cemento, para luego bombear esta mezcla a través de una manguera hasta la cámara mezcladora de la recicladora. En algunos casos se coloca el cemento en polvo delante da la máquina recicladora para no utilizar una mezcladora. Una vez reciclado el material, se procede a su consolidación mediante el paso de un compactador de rodillo. A continuación se escarifica con una motoniveladora y finalmente se compacta usando una vibro compactadora.

Típico tren reciclador con mezclador de lechada

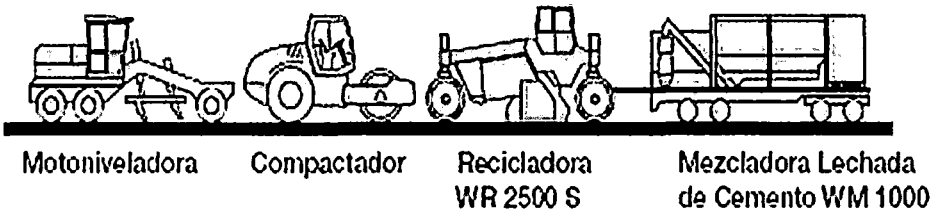


Figura N°2. 34. Tren típico de reciclaje con cemento
Fuente: (Roblez Diaz, 2009)

En aquellos casos en que se use una mezcla de emulsión asfáltica con cemento, se acopla un tanque con emulsión al tren descrito anteriormente. Este tanque estará ubicado delante del mezclador de lechada, y cuando se use el cemento en polvo delante del mezclador, se acoplará directamente a la recicladora como se ilustra en la Figura N°2. 35.

El tren de reciclado configurado en la Figura N°2. 35 ilustra una recicladora sobre orugas, la cual es empleada en trabajos de reciclado con poca

profundidad, como por ejemplo en pavimentos con capas asfálticas gruesas dentro de las cuales se realiza el reciclado. La recicladora puede estar provista de una plantilla pavimentadora, en este caso no será necesario el uso de una motoniveladora para perfilar la superficie.

Otro de los agentes estabilizadores es el asfalto espumado, este suele usarse cuando se reciclan pavimentos que contienen carpetas asfálticas, y piedras trituradas de buena calidad (afirmado). El tren de reciclado utilizado en este caso incluirá dos tanques delante de la recicladora, los cuales estarán provistos, uno de cemento asfáltico caliente y el otro de agua. Una variante de este tren de reciclado podría ser el uso de asfalto espumado y cemento, lo cual podría lograrse con la inclusión de una mezcladora de lechada, o distribuyendo el cemento en polvo delante del tren de reciclado en seguida se procede a la compactación utilizando el tren de compactación. En la Figura N°2. 36 y Figura N°2. 37 se muestra los trenes típicos empleados en el reciclado con asfalto espumado.

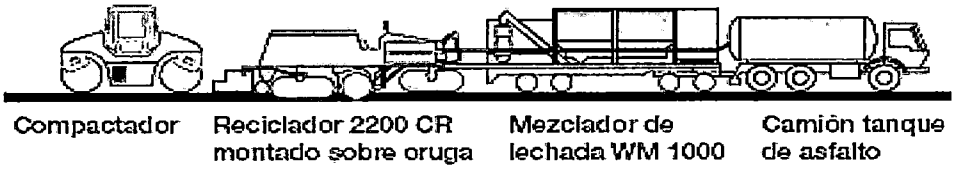


Figura N°2. 35. Tren típico de reciclaje con emulsión asfáltica

Fuente: (Roblez Diaz, 2009)

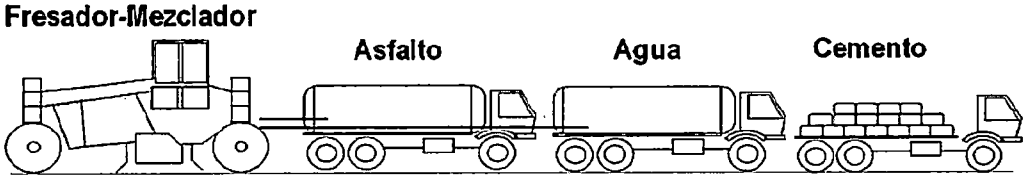


Figura N°2. 36. Tren típico de reciclaje con asfalto espumado y cemento.

Fuente: (Thenoux Z, Halles A. , Nuñez V. , Gonzales H., & Osorio L., 2003)

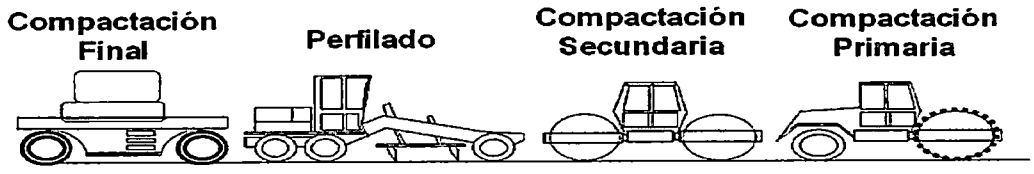


Figura N°2. 37. Tren de compactación

Fuente: (Thenoux Z, Halles A. , Nuñez V. , Gonzales H., & Osorio L., 2003)

2.3.4.4 Categorías del reciclaje en frío

Para pavimentos flexibles el reciclaje en frío se encuentra clasificado en dos categorías: reciclaje profundo y reciclaje superficial o de capas delgadas.

2.3.4.4.1 Reciclado profundo

Este tipo de reciclaje contempla técnicas de diseño a mediano y largo plazo, con el fin de rehabilitar el pavimento deteriorado. El reciclaje profundo mejora las propiedades de funcionalidad de las capas que revisten la capa reciclada, incrementando su resistencia al deslizamiento y su índice de servicio. Esta técnica es comúnmente utilizada en espesores de pavimentos que superan los 150 mm. El reciclaje profundo puede ser utilizado en la rehabilitación de pavimentos con capas asfálticas gruesas o delgadas. La Figura N°2. 38 ilustra dos ejemplos de reciclaje profundo en donde la profundidad de reciclaje es de 300 mm para ambos casos. La diferencia es que el ejemplo (a) representa una capa asfáltica gruesa, mientras que el ejemplo (b) muestra una capa asfáltica delgada.

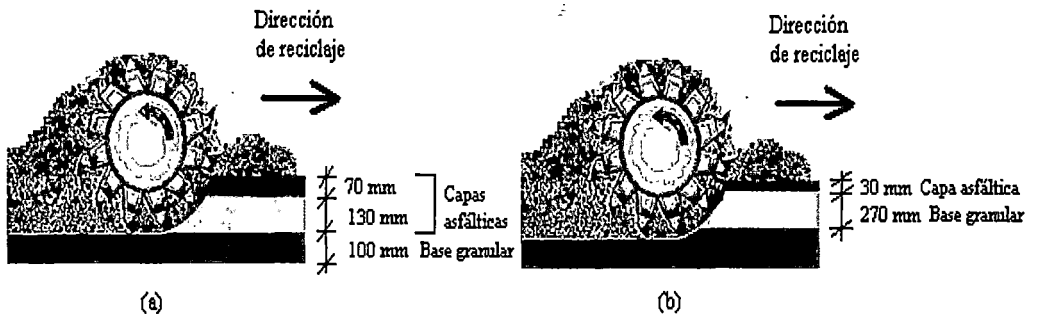


Figura N°2. 38. Reciclaje profundo a 300 mm con diferentes espesores de capa asfáltica (a) capa asfáltica gruesa (b) capa asfáltica delgada.

Fuente: (Loudon, A. A. y Partners., 1998, pág. 30)

2.3.4.4.2 Reciclaje superficial o de capas delgadas

El objetivo principal de esta técnica de reciclaje es corregir el agrietamiento desarrollado sobre las capas asfálticas, y de esta forma mejorar el índice de servicio. El reciclaje superficial es un método muy usado como mantenimiento de la vía a corto plazo, aunque en muchos casos puede emplearse para reforzar aquellas capas superiores que se han debilitado. Generalmente los

espesores del reciclaje superficial están en un rango de 80 a 150 mm. Al corregir el agrietamiento generado sobre la superficie asfáltica se está impidiendo el paso del agua a las capas inferiores, lo que se ve reflejado en el mejoramiento de la capacidad estructural y, a largo plazo, en la prolongación de la vida del pavimento.

2.3.4.5 Ventajas del reciclado en frío

El Reciclado tiene una serie de ventajas "potenciales" respecto a las alternativas tradicionales de rehabilitación (Wirtgen GmbH, 2004).

- **Calidad de las capas recicladas**: La mezcla de materiales con el agua y agentes estabilizadores es manejable, consistente y de alta calidad, debido a que todos los procesos son controlados por microprocesadores. Estos últimos dosifican (de acuerdo al diseño establecido en laboratorio) en la medida exacta la cantidad de agua y de agentes estabilizadores a la cámara mezcladora, la cual realiza una enérgica mezcla de todos los componentes obteniendo así una excelente mezcla.

- **Integridad estructural**: Como producto final del reciclaje en frío se obtiene capas unidas de gran calibre, contrario a lo que se observa en los pavimentos construidos convencionalmente, en los que las capas delgadas tienen uniones muy débiles.

- **Inalterabilidad de la subrasante es mínima**: Debido a que el reciclaje en frío es una operación de una sola pasada, se exponen las subrasantes pobres a una menor alteración que la que sufren, cuando se usan equipos de construcción convencionales. Las subrasantes tienen que soportar una sola pasada de la recicladora, ya sea de orugas o de ruedas de alta flotación; mientras que los equipos convencionales someten las subrasantes a altos y repetidos esfuerzos, que se traducen en levantamientos obligando a reemplazar con material importado de cantera.

- **Factores medio ambientales**: La totalidad del material existente es usado, por lo cual no se hace necesario la utilización de botaderos y, de esta

manera, se minimiza la cantidad de material nuevo a importar. El daño que causa a las montañas en la explotación de las canteras se minimiza además de la reducción del transporte de materiales (que a su vez disminuye el tráfico en los corredores viales). En el Cuadro N°2. 11 se muestra las ventajas de tipo ecológico del reciclado en frío.

Cuadro N°2. 11. Ventajas del tipo ecológico del reciclaje en frío

Actividades y/o Otros	Método Convencional	Método del Reciclado
Transporte de la excavadora	Necesario	No necesario
Excavadora para levantamiento de la vía	Necesario	No necesario
Camiones para retirar el material	Necesarios. Costos elevados	No necesario
Costos del botadero	Muy elevados y difícil de encontrar	Se prescinde
Camiones para transportar	Necesarios. Costos elevados	Solo en casos excepcionales
Niveladora para extender el material	Siempre necesario. Costos elevados	Solo necesario sino se dispone de regla
Maquinaria de compactación	Necesario	Necesario
Duración de los trabajos	Considerable	Corta
Daños adicionales en las vías como consecuencia de los trabajos	Muy alta	Mínimo

Fuente: (Múnera, Sergio, 1999, pág. 12).

- **Menor tiempo de construcción**: Debido a la alta productividad de las máquinas recicladoras modernas, la interrupción al tráfico es por un tiempo muy pequeño, beneficiando así a los usuarios.

- **Seguridad del tráfico**: Este es uno de los más importantes beneficios que ofrece el reciclaje en frío. El tren de reciclado configurado puede ser fácilmente acoplado a un solo carril de la carretera, lo que permite, en vías de dos carriles, que el segundo carril siga en funcionamiento normalmente. Adicionalmente, el carril reciclado durante el día puede abrirse al servicio

al atardecer, permitiendo que la totalidad de la vía sea utilizada en óptimas condiciones.

- **Economía**: Si se tienen en cuenta todos los beneficios descritos anteriormente, el reciclaje en frío puede constituir una buena herramienta a considerar, en proyectos de rehabilitación de pavimentos obteniendo excelentes resultados de una manera económica.

2.3.4.6 Principales factores que afectan el reciclado en frio

Cuando se decide rehabilitar un pavimento, los métodos que poseen una mejor relación costo-efectividad tienden a ser especificados para cada proyecto. Cada proyecto es único en términos de la estructura del pavimento existente y la calidad de los materiales que conforman los mismos. Por lo tanto, es importante utilizar la solución más apropiada y práctica para cada proyecto, tomando en cuenta los siguientes factores (Wirtgen GmbH, 2004).

- **Ubicación**: La solución más efectiva para cada zona está definida por el medio ambiente local, así como las condiciones de tráfico del proyecto. Si este es una calle urbana de alto tráfico donde sólo el trabajo nocturno está permitido, o si es un camino rural secundario sin pavimentar (camino básico), y se debe aumentar su estándar. Soluciones y estándares de servicio muy distintos son requeridos en ambos casos extremos. Es Importante tomar conocimiento de los estándares locales de la construcción de caminos, así como la percepción y aceptación de la población local de los niveles de servicio.

- **Medio ambiente físico**: La topografía y la geología deberían ser tomadas en consideración cuando se determina el método apropiado para la rehabilitación de un camino. Específicamente, pendientes pronunciadas que pueden hacer que algunos tipos de técnicas constructivas sean imposibles de aplicar en la práctica. El clima también juega un rol importante en la elección y aplicación de distintas soluciones. Las condiciones y soluciones en regiones desérticas con una escasa o nula precipitación serán distintas a las requeridas en proyectos de zonas

lluviosas. El efecto de temperaturas extremas, como el agrietamiento térmico inducido por los ciclos hielo - deshielo, también influyen en el tipo de solución adoptada.

- **Disponibilidad de materiales**: La factibilidad de varias opciones de rehabilitación es significativamente influenciada por la disponibilidad de materiales, especialmente de los agentes estabilizadores. Estos deben ser provistos en cantidades suficientes y que alcancen niveles adecuados de calidad y consistencia. Las recicladoras utilizan grandes volúmenes de agentes estabilizadores y es necesario establecer una fuente de abastecimiento confiable de estos materiales.

2.4 TECNOLOGÍA DE ASFALTO ESPUMADO

2.4.1 Antecedentes

La primera persona en darse cuenta del potencial de usar asfalto espumado como agente estabilizador fue el Dr. Ladis H. Csanyi, profesor de la Estación Experimental de Ingeniería (Engineering Experiment Station) en la Universidad Estatal de Iowa (Iowa State University) en el año 1956. Luego Vio la posibilidad de usar el asfalto espumado en la estabilización de suelos (Wirtgen GmbH, 2004). Espumar el asfalto reduce su viscosidad considerablemente y aumenta sus propiedades adherentes haciéndolo apto para mezclar con agregados fríos y húmedos.

Los primeros reportes de aplicaciones de asfalto espumado datan del año 1957 y corresponden a aplicaciones realizadas en una carretera estatal de Iowa (USA). En años posteriores se reportan varias aplicaciones, entre las que destacan: Arizona (USA) en el año 1960 y en Nipawin (Canadá) en el año 1962 (Thenoux Z. & Jamet A., 2002).

En el año 1968, Mobil Oil Australia modificó el procedimiento original, agregando agua fría en lugar de vapor, en una corriente de asfalto caliente con un sistema de baja presión. Esto hizo el proceso mucho más práctico y económico. La espuma se formaba dentro de una cámara de expansión luego

de lo cual era dispersada a través de una serie de picos sobre el conjunto de los agregados. Sin embargo, los picos eran propensos a obstruirse y el fabricante no pudo controlar las características de la espuma. A pesar de ser una tecnología del año 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 Australia

El interés en esta tecnología fue despertado con el advenimiento del sistema Wirtgen en 1996. El mercado global respondió rápidamente y, a pesar de que el primer sistema fue insertado a una recicladora WR 2500 cientos de sistemas incorporados a distintos modelos de recicladoras tanto en planta como en sitio han sido puestos en marcha. El número de kilómetros de pistas deterioradas que son rehabilitados anualmente a través del reciclado con asfalto espumado se incrementa año a año, incluyendo tanto caminos de bajo volumen de tránsito como carreteras de múltiples pistas con tráfico pesado. Sin embargo, las iniciativas de investigación no han podido seguir el mismo ritmo de desarrollo (Thenoux Z. & Jamet A., 2002).

En el año 2000, una serie de ensayos con el Simulador de Vehículos Pesados (HVS, Heavy Vehicle Simulator) fueron realizados en Sudáfrica en un pavimento reciclado con una combinación de cemento y asfalto espumado. Los resultados formaron la base de un documento guía que fue posteriormente publicado por la Asphalt Academy en la segunda mitad del año 2002, llamado "TG2: Guía Técnica Provisoria: Diseño y Uso de Materiales Tratados con Asfalto Espumado" ("TG2: Interim Technical Guideline: The Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials"). En esta publicación se incluyeron recomendaciones de diseño en conjunto con funciones de transferencia (fatiga) para estimar la capacidad estructural de los pavimentos construidos de material reciclado estabilizado con asfalto espumado. Como se establece en el título, este documento es "provisorio" ya que fue basado en muy poca investigación. Más ensayos de HVS y otros estudios continúan realizándose y es inminente una versión modificada de la guía TG2 (Wirtgen GmbH, 2004). La segunda edición de TG2, fue publicado en mayo del año

2009 en donde los estudios realizados ya incorporan a emulsiones asfálticas en la estabilización de los materiales.

De acuerdo con lo señalado por Thenoux Z. & Jamet A.(2002) en los años 2000 y 2001, la Dirección de Obras Públicas de Chile, a través de su programa financiamiento para proyectos de innovación tecnológica permitió la realización de una investigación de transferencia de la tecnología de asfalto espumado que permite hoy, poder hacer uso de esta técnica que presenta importantes ventajas ambientales, económicas y de calidad. La investigación de transferencia fue realizada por Dictuc S. A., a través del Centro de Investigación e Ingeniería Vial (CIIV), perteneciente al Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Universidad Católica de Chile.

2.4.2 Definición de asfalto espumado

El asfalto espumado (también conocido como asfalto celular), se logra mediante un proceso, en el cual se inyecta una pequeña cantidad de agua fría (1 a 3% del peso del asfalto) y aire comprimido a una masa de asfalto caliente (160° C - 180° C), dentro de una cámara de expansión (ver Figura N°2. 39), generando espontáneamente espuma (un estado temporal de baja viscosidad) (Thenoux Z. & Jamet A., 2002).

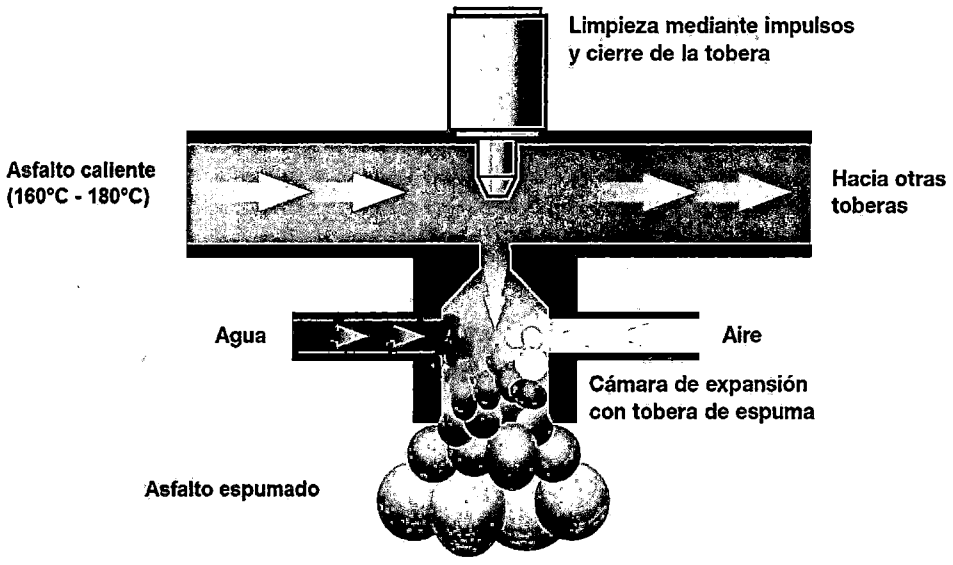


Figura N°2. 39. Producción del asfalto espumado

Fuente: Wirtgen GmbH , 2004, pág. 89

El proceso de expansión se puede explicar de la siguiente manera: en el momento en que las gotas de agua fría toman 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 (punto de ebullición del agua), 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 (Jenkins, Van de Ven, & Groot J, 1999).

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. (Jenkins et al., 1999).

El asfalto espumado, al colapsar, se distribuye exclusivamente a las partículas finas, produciendo "puntos de soldadura" de masillas de gotitas de asfalto y finos, uniendo así todo el conjunto (Asphalt Academy, 2009). En la Figura N°2. 40 esquematiza este comportamiento.

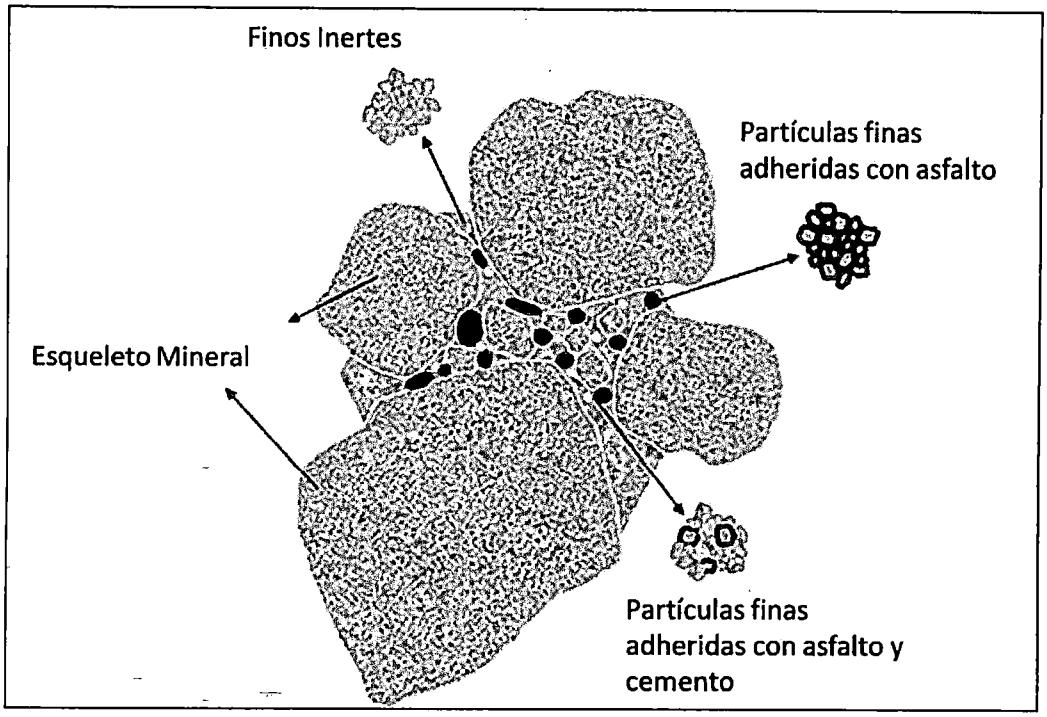


Figura N°2. 40. Composición de la mezcla con asfalto espumado

Fuente: (Paniagua , Halles, Thenoux Z., & González, 2013, pág. 3)

2.4.3 Características del asfalto espumado

El asfalto espumado se caracteriza en función de dos propiedades empíricas:

- Razón de Expansión (R_E), Es la razón entre el volumen de asfalto espumado y el volumen del asfalto original. La razón de expansión indica la trabajabilidad de la espuma, y su capacidad de cubrimiento y mezclado con los agregados y se determina utilizando la siguiente ecuación (ver la Figura N°2. 41).

  Ecuación N°2. 7 $$R_E = \frac{V_{máx}}{V_{Residuo}}$$

- Vida Media ($T_{1/2}$), Es el tiempo, en segundos, que tarda el asfalto en reducir su volumen a la mitad del volumen expandido. La vida media es un indicador de 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 y se determina aplicando la siguiente relación (ver la Figura N°2. 41).

  Ecuación N°2. 8. $$V_{Media} = t_s(segundos)$$

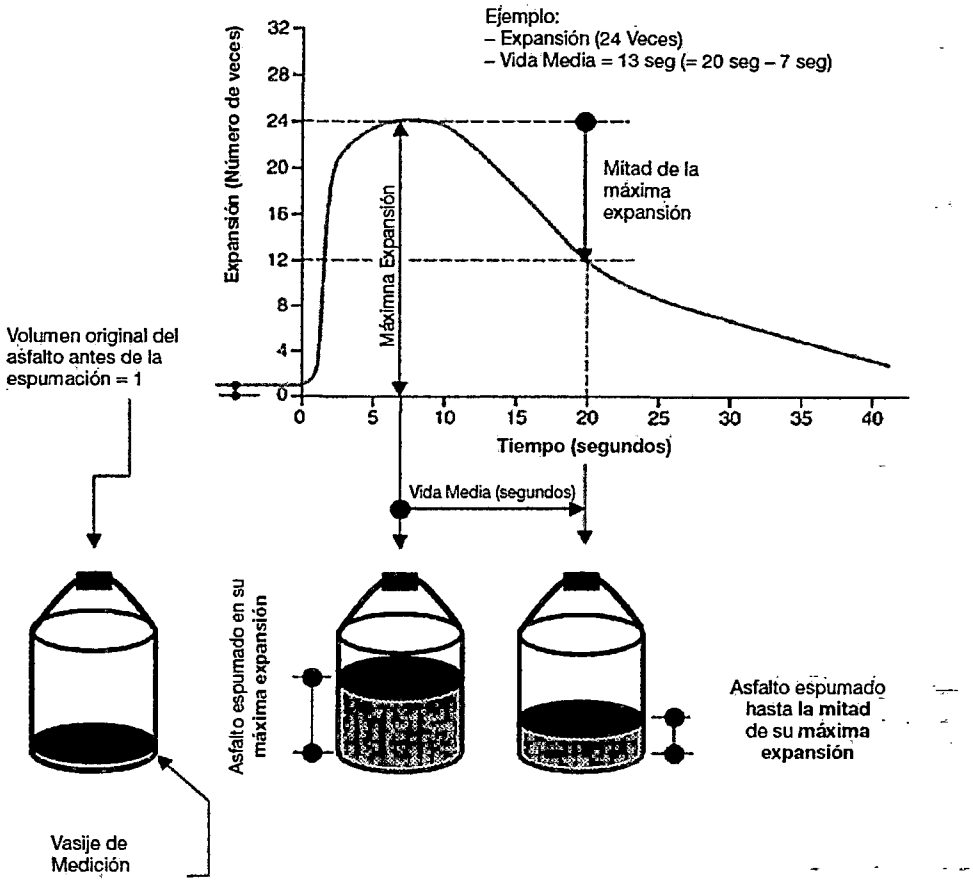


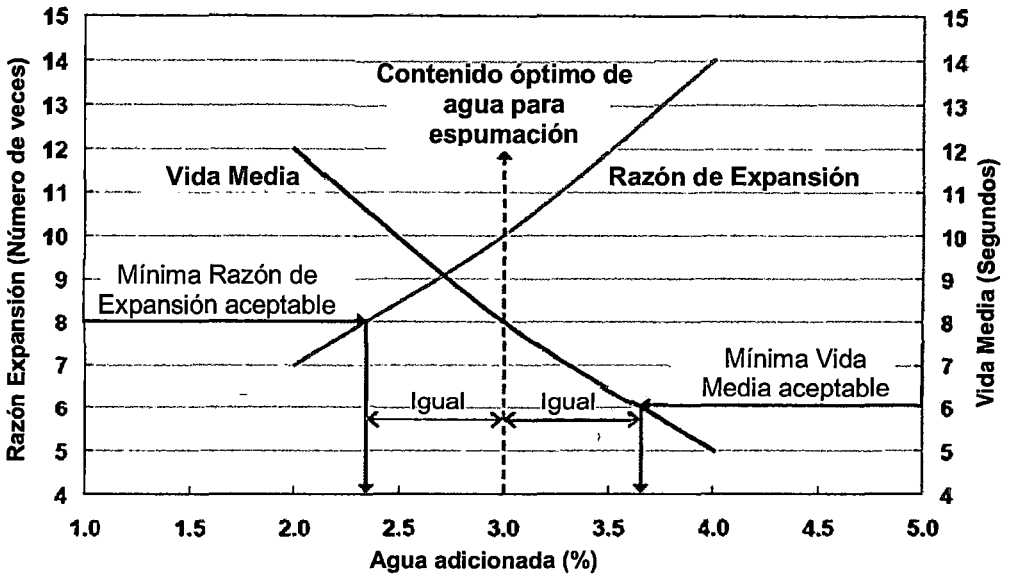
Figura N°2. 41. Características del asfalto espumado

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 83)

La razón de expansión y vida media son propiedades que dependen de muchos factores, siendo los principales la temperatura del asfalto y la dosis de agua (Thenoux Z. & Jamet A., 2002).

A mayores temperaturas de espumado y mayor cantidad de agua, se incrementa la Razón de Expansión, así mismo este aumento en la adición de agua causa una reducción en la Vida Media. Sin embargo el mejor espumado es generalmente considerado como aquel que optimiza tanto las propiedades de Razón de Expansión como la Vida Media. Para llevar a cabo dicha optimización es necesario graficar ambas propiedades en una sola gráfica, como se muestra en el Grafico N°2. 3, para distintas cantidades de agua y diferentes temperaturas. En general no existen especificaciones estándar para optimizar estas propiedades, pero es recomendable aumentar levemente el valor óptimo de la Vida Media, a partir del punto de intersección, aun en desmedro de la Razón de Expansión.

Grafico N°2. 3. Determinación del contenido óptimo de agua para la espumación



Fuente: (Asphalt Academy, 2009).

Las características de espumado (Razón de Expansión y Vida Media) no son medidas exactas, sino más bien órdenes de magnitud. En general se recomienda una Razón de Expansión entre 8 - 15, y al menos 15 segundos de Vida Media (Macarrone S., Holleran G. , Leonard D., & Hey S., 1994).

2.4.3.1 Factores que influyen a las propiedades de la espuma

Se considera que la mejor espumación del asfalto, se lograra cuando se optimiza tanto la Razón de Expansión como la Vida Media y están afectadas por los siguientes factores (Wirtgen GmbH, 2004).

2.4.3.1.1 Adición de agua

Incrementar la cantidad de agua empleada para generar asfalto espumado, aumenta efectivamente el volumen de la espuma, en una magnitud de 1500 veces. Por lo tanto al aumentar el tamaño de las burbujas creadas, causa un incremento en la Razón de Expansión. Sin embargo, el aumentar el tamaño individual de las burbujas reduce el espesor de la película del asfalto que las rodea, haciéndolas menos estables, resultando en una reducción de la Vida Media. Por ello la Razón de Expansión y la Vida Media están relacionadas de forma inversa a la cantidad de agua que es añadida, como se muestra en el Grafico N°2. 3.

2.4.3.1.2 Tipo de asfalto

Generalmente se usan asfaltos con valores de penetración entre 80 y 150 para la espumación, pero existen asfaltos más rígidos que cumplen con los requisitos mínimos de espumación, estos fueron utilizados en el pasado, cuando se iniciaba el desarrollo de la tecnología del asfalto espumado. Por razones prácticas, los asfaltos más rígidos son generalmente evitados porque producen una espuma de peor calidad, generando una dispersión más pobre.

Tabla N°2. 1. Valores de Razón de Expansión y Vida Media, por el tipo de asfalto

Penetración del Asfalto	Razón de Expansión	Vida Media (seg)
60/70	10 - 12	8 - 12
80/100	10 - 15	9 - 14
150/200	15 - 22	12 - 18

Fuente: (Loudon A & Partners, 1998)

2.4.3.1.3 Fuente de asfalto

Algunos tipos de asfaltos tienen una mejor espumación que otros debido a su composición química. Por ejemplo las propiedades espumantes de los asfaltos en Venezuela exceden enormemente a aquellos de otras fuentes. Se sabe además que algunas refinerías introducen agentes anti – espumantes al asfalto durante el proceso de manufactura, ya que la espumación del asfalto es considerada una molestia en el proceso de refinado.

2.4.3.1.4 Temperatura del asfalto

La viscosidad del asfalto goza de una relación inversa con la temperatura; a medida que la temperatura aumenta la viscosidad se reduce. Si la viscosidad del asfalto se reduce, mayor será el tamaño de la burbuja que se formara cuando el agua cambie de estado físico, en el proceso de formación de la espuma. Debido a que el agua adicionada emplea la energía del asfalto, en el intercambio de energía, la temperatura del asfalto antes de la espumación debe exceder la temperatura establecida en el laboratorio o por lo menos los 160 °C para poder obtener un producto satisfactorio. El rango de temperaturas en donde se debería trabajar en el laboratorio (para obtener la temperatura deseada que satisfaga la optimización de los parámetros de espumación, mencionados anteriormente) varía entre los 160 °C y 180 °C.

2.4.3.1.5 Presión del asfalto y del agua

El asfalto y el agua son inyectados en la cámara de expansión a través de pequeñas aberturas. El incrementar la presión en las tuberías de suministro, causa que el flujo que pasa a través de estas aberturas se atomice. Mientras más pequeñas son las partículas individuales mayor es el área de contacto disponible, mejorando así la uniformidad de la espuma. Bajas presiones (menores a 3 bares) afectan negativamente tanto a la Razón de Expansión como a la Vida Media.

2.4.3.1.6 Aditivos

Existen muchos productos en el mercado que van a afectar las propiedades espumantes del asfalto, tanto negativa (agentes anti – espumantes, como la silicona) como positivamente (agentes espumantes). Usualmente, los agentes espumantes son sólo requeridos cuando el asfalto ha sido tratado con un agente anti – espumante (normalmente durante el proceso de refinado).

La mayoría de los agentes espumantes son añadidos al asfalto antes de calentar a las temperaturas de aplicación y estos tienden a ser sensibles a la temperatura, siendo su vida efectiva bastante corta. Para obtener los beneficios de añadir un agente espumante, el asfalto debe ser utilizado dentro pocas horas.

2.4.3.2 Características aceptables de espumado

No hay límites superiores para las propiedades del espumado y el objetivo siempre debiera apuntar a producir la mejor calidad de espuma requerida para la estabilización. Solamente se encuentran problemas cuando un asfalto no produce una "buena" espuma, generando la necesidad de proveer límites inferiores.

De acuerdo con lo señalado por Wirtgen GmbH (2010) recomienda una razón de expansión superior a 8 veces y al menos 6 segundos de vida media para estabilizar un material a 25 °C, tal como se observa en la Tabla N°2. 2.

Tabla N°2. 2. Valores mínimos de los parámetros del asfalto espumando

Temperatura del Agregado	10 ° C a 25 ° C	Mayor a 25 ° C
Razón de Expansión	10	8
Vida Media (seg)	6	6

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2010, pág. 137)

2.4.3.2.1 Índice de espumación (IE)

En la actualidad, el asfalto espumado se caracteriza mediante sus propiedades empíricas (Razón de Expansión y Vida Media). Estudios actuales demuestran que estos dos parámetros y la manera en la cual ellos son generalmente determinados no son suficientes para una adecuada caracterización del asfalto espumado (Jenkins et al., 1999).

El Índice de Espumación se define como el área bajo la curva de la Razón de Expansión y Tiempo de Colapso (Jenkins et. al., 1999). La curva que se obtiene de esta gráfica (Grafico N°2. 6) corresponde a la curva de colapso, la cual es un indicador del tiempo disponible para el mezclado. El área (A=IE) formada por la intersección de la curva, el eje de las ordenadas y la recta correspondiente a una razón de expansión 4.0 se conoce como Indice de Espumación. La Razón de Expansión 4.0 es considerada como la mínima para obtener mezclas con propiedades consideradas como aceptables (Shell Bitumen, 1990).

Jenkins et al.(1999) desarrollaron la Ecuación N°2. 9 para describir la desintegración de la espuma de asfalto.

Ecuación N°2. 9: $$ER_{(t)} = ER_m \cdot e^{\frac{-\ln 2}{t_{1/2}} \cdot t}$$

Donde:

$\mathbf{ER_{(t)}}$ = Razón de Expansión con respecto al tiempo después de la descarga de la espuma

$\mathbf{ER_m}$ = Maxima Razón de Expansión medida (medida inmediatamente después de la descarga de espuma)

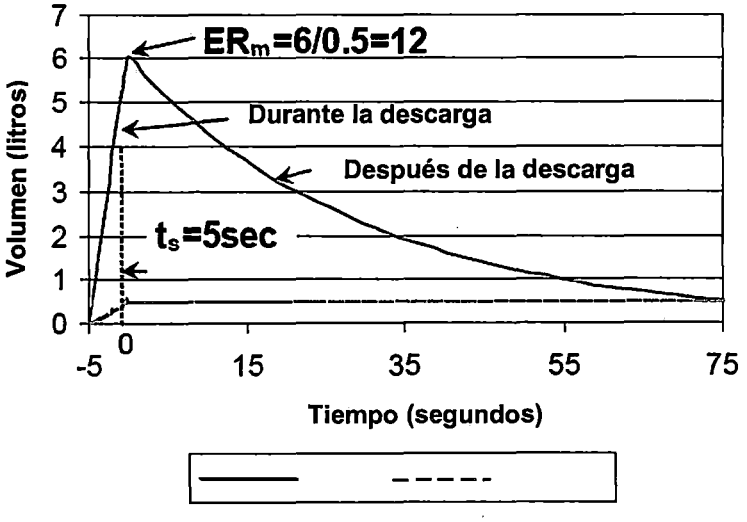
$\mathbf{t_{1/2}}$ = Vida media (segundos)

$\mathbf{t}$ = Tiempo medido a partir del momomento en que toda la espuma es descargado (seg.)

Jenkins et al.(1999) señala que una importante característica en la generación de la espuma, obtenida en laboratorio, ha sido ignorada; la desintegración de la espuma durante la descarga, pero antes de que el volumen sea medido. Esta es una de las debilidades de las técnicas utilizadas actualmente para la caracterización de asfalto espumado y que tiene una influencia particularmente significativa en los asfaltos con una baja Vida Media. En la mayoría de los casos, el asfalto ha estado decayendo durante un máximo de 5 segundos antes de que se mida la Razón de Expansión (ver el Grafico N°2. 4), es decir, la Razón de expansión máxima medida ERm, no es la máxima Razón de expansión ERa de la espuma, por lo tanto ERm ≠ ERa.

Además Jenkins et al. (1999) explica esta diferencia utilizando la relación gradual de la curva de desintegración del asfalto espumado durante la descarga de la boquilla; la Razón de Expansión Máxima Real ERa es una proporción requerida para obtener la máxima expansión medida ERm, esta relación encontrada en el laboratorio se puede volver a calcular. No es posible medir la Razón de Expansión Real, debido a la desintegración durante la descarga, pero es posible calcularla de nuevo. En la Tabla N°2. 3 se proporciona un análisis de sensibilidad del ERa vs ERm para diferentes Vidas Medias y tiempos de descarga. Por tanto, es imperativo tener en cuenta este factor del asfalto con valores relativamente bajos de Vida Media.

Grafico N°2. 4. Ciclo de vida del asfalto espumado.



Fuente: (Jenkins, Van de Ven, & Groot J, 1999, pág. 8)

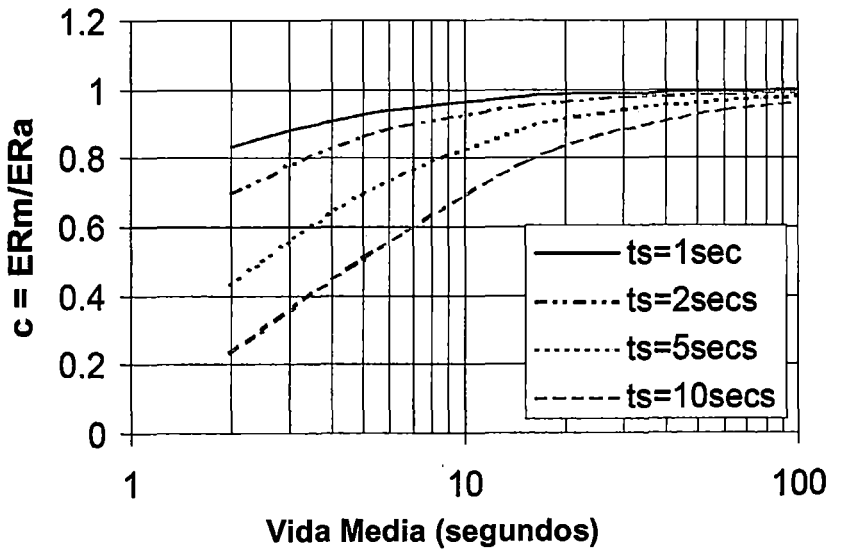
Tabla N°2. 3. Relación entre la Razón de Expansión real (ERa) y la Razón Expansión máxima medida (ERm)

		Razón de expansión real (Era)				
Tiempo de descarga (t_s)	Razón de expansión medido (ERm)	$\tau_{1/2}$=2 (seg)	$\tau_{1/2}$=5 (seg)	$\tau_{1/2}$=15 (seg)	$\tau_{1/2}$=30 (seg)	$\tau_{1/2}$=60 (seg)
	5	6.02	5.39	5.13	5.06	5.03
1 seg	15	18.05	16.17	15.38	15.19	15.10
	25	30.05	26.95	25.64	25.32	25.15
	5	11.50	7.20	5.66	5.30	5.20
5 seg	15	34.40	21.48	16.98	16.00	15.50
	25	57.20	35.80	28.30	26.60	25.80
	5	21.34	9.88	6.38	5.66	5.33
10 seg	15	63.98	29.64	19.14	16.98	15.97
	25	106.63	49.39	31.89	28.30	26.61

Fuente: (Jenkins, Van de Ven, & Groot J, 1999)

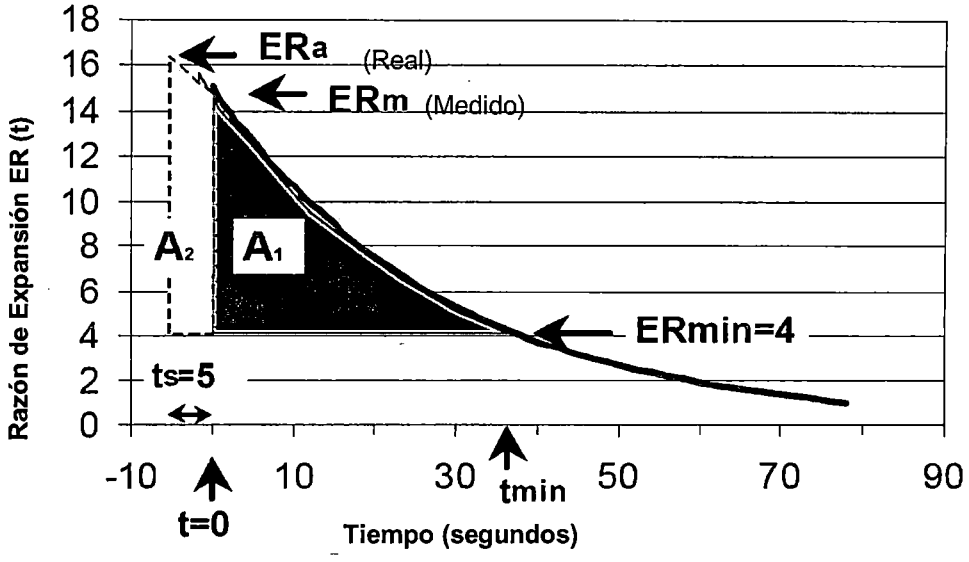
Una relación más amplia entre la ERa y ERm se muestra en el Grafico N°2. 5. Dado por un ts (tiempo de descarga del asfalto espumado) y t1/2 (Vida Media) y el factor de corrección c (= ERm / ERa), este factor de corrección se puede utilizar para obtener la Razón de Expansión Real (ERa) a partir de la máxima Razón de Expansión Medida (ERm).

Grafico N°2. 5. Relación entre la razón de expansión real (ERa) y la razón expansión máxima medida (ERm) con la vida media



Fuente: (Jenkins, Van de Ven, & Groot J, 1999)

Grafico N°2. 6. Índice de espumación (IE=A1+A2) para la caracterizacion de la espumabilidad



Fuente: (Jenkins, Van de Ven, & Groot J, 1999)

La integración de la ecuación de decaimiento en la zona del área A2, A1 y el cálculo geométrico, ofrece la siguiente expresión para el índice de espuma de espumación.

Ecuación N°2. 10:

$$\text{Indice de Espumación (IE)} = \frac{-\tau_{\frac{1}{2}}}{\ln 2} * \left[4 - \text{ER}_m - 4 * \ln\left(\frac{4}{\text{ER}_m}\right)\right] + \left(\frac{1+c}{2c}\right) * \text{ER}_m * t_s$$

Donde:

$\tau_{1/2}$ = Vida media de la espuma

ER_m = Razon de Expansion media

c = Razón entre razón de expansión medida y calculada

t_s = Tiempo de descarga de asfalto espumado

Para entender la aplicación de la Ecuación N°2. 10 desarrollamos un ejemplo con los siguientes propiedades medidas en el laboratorio: ts = 5 segundos, ERm = 15 y t1/2 = 10 seg, c = ERm / ERa = 0.83 (obtenido del Grafico N°2. 5), donde se obtiene un Índice de Espumación (IE= 165.1).

2.4.3.3 Dispersión del asfalto espumado

El material estabilizado con asfalto espumado no tiene un aspecto de color negro, ver la Figura N°2. 42, a diferencia de las mezclas asfálticas en caliente o mezclas empleando emulsión asfáltica.

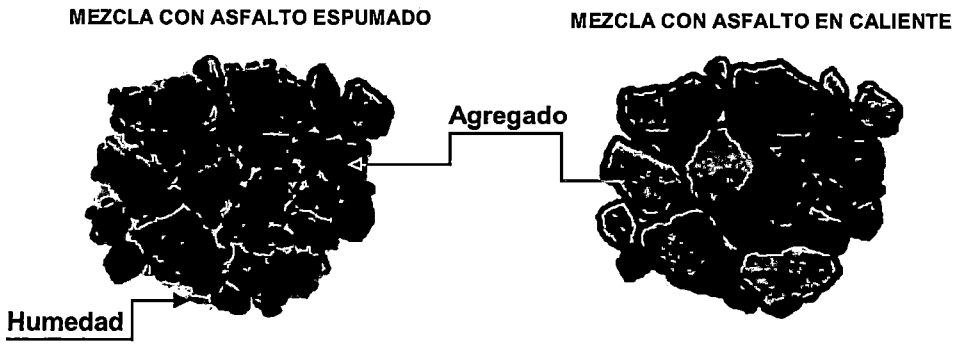


Figura N°2. 42. Aspecto de la mezcla con asfalto espumado y asfalto en caliente
Fuente: (Wirtgen GmbH, 2010, pág. 20)

En la Figura N°2. 42 se muestra la diferencia notable del cubrimiento del asfalto con el agregado, esto se debe a que las partículas más gruesas del agregado no se cubren totalmente con el asfalto. Cuando el asfalto espumado entra en contacto con el agregado, las burbujas de asfalto revientan en millones de pequeñas gotas de asfalto que se adhieren a las partículas finas, específicamente la fracción menor a 0.075 mm (pasa el tamiz de la malla N° 200).

Las pequeñas gotas 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 una pasta de filler ligado con asfalto que actúa como mortero entre las partículas gruesas, tal como se observa en la Figura N°2. 43.

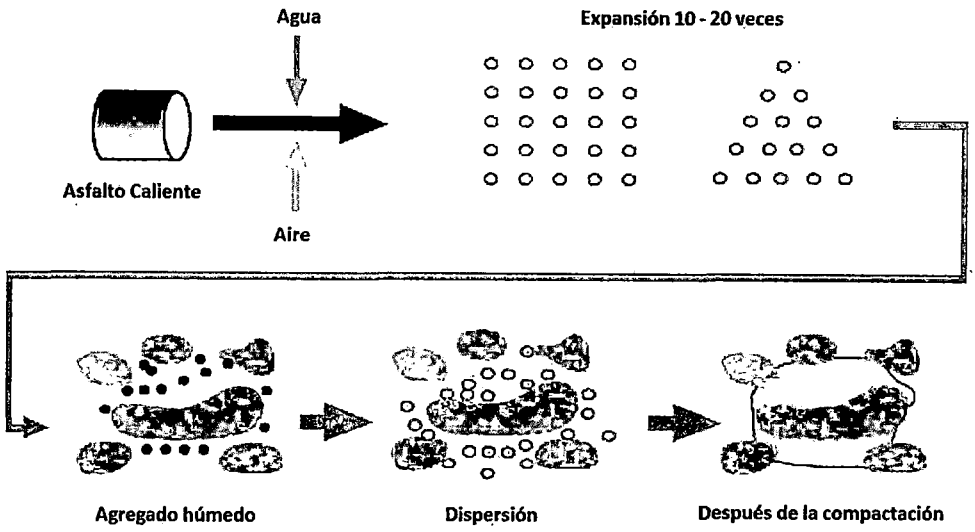


Figura N°2. 43. Proceso de mezcla con los agregados

Fuente: (Thenoux Z. & Jamet A., 2002, pág. 27)

Por ende, hay un ligero oscurecimiento del color del material después del tratamiento, ver la Figura N°2. 44. La adición de cemento, cal o algún material fino similar (100% que pasa el tamiz de 0,075 mm) ayuda a dispersar el asfalto, particularmente donde el material reciclado es deficiente en finos (por ejemplo, menos del 5% pasando el tamiz 0.075 mm).

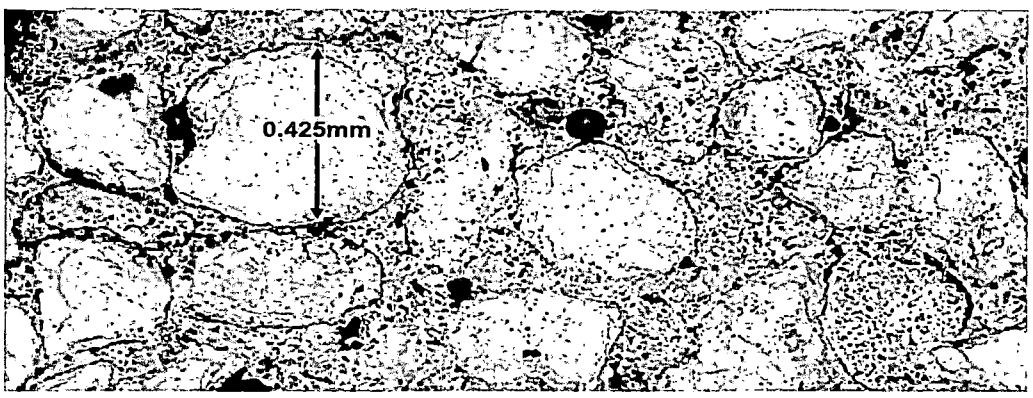


Figura N°2. 44. Dispersión del asfalto

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 65)

2.4.4 Material adecuado para tratamiento con asfalto espumado

La tecnología de asfalto espumado 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 en forma satisfactoria en el proceso de

reciclado. Estos materiales deben ser caracterizados considerando dos propiedades: su distribución granulométrica y el Índice de Plasticidad.

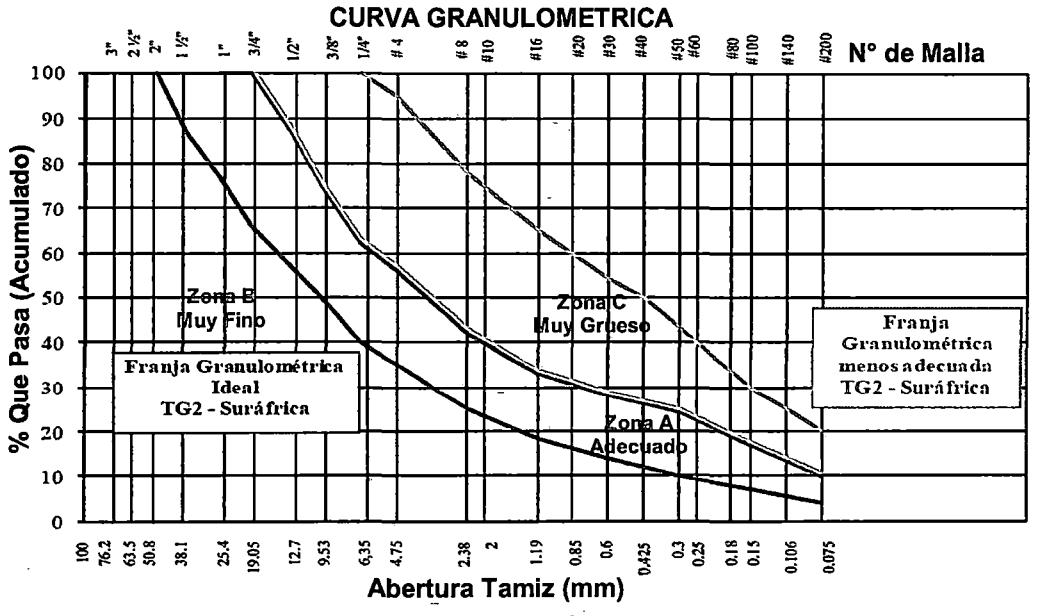
Los materiales que son pobres en finos no se mezclan en forma adecuada con el asfalto espumado. El porcentaje mínimo de finos requerido es del 5%, considerando como finos la fracción del material que pasa la malla de 0,075 mm (No. 200) (Wirtgen GmbH, 2004).

Cuando un 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" de asfalto (aglomeraciones de material fino con asfalto), los que varían en tamaño dependiendo de la escasez de finos. Un porcentaje de finos muy bajo producirá largos filamentos, los que en la mezcla actuarán como lubricante y producirán una disminución en la resistencia y estabilidad del material. A continuación en el Grafico N°2. 7, se indica la clasificación de materiales granulares empleados para estabilización de suelos con asfalto espumado, realizada por Akeroyd & Hicks para Mobil Oil en 1988.

Si el material se encuentra en la Zona A de esta clasificación, es apropiado para ser empleado en carreteras con tráfico pesado. Los materiales de la Zona B son apropiados para tráfico liviano, pero su comportamiento puede ser mejorado mediante la adición de fracciones gruesas. Los materiales de la Zona C son deficientes en finos y no son apropiados para la estabilización a menos que su graduación sea mejorada mediante la adición de finos (cemento o cal) (Thenoux Z. & Jamet A., 2002).

Así mismo Ruckel et al. (1982) señalan que el contenido de finos del agregado, es un parámetro fundamental debido a la influencia que tiene en el proceso de dispersión del asfalto y en general debe encontrarse sobre un 5%.

Grafico N°2. 7. Recomendación granulométrica experiencia Sudafricana.



Fuente: (Conalvias Perú, 2010)

Las bandas granulométricas presentadas en él Grafico N°2. 7 tienen un amplio rango de tolerancia y pueden ser ajustadas con el objetivo de obtener una granulometría que entregue la cantidad mínima de vacíos en el agregado mineral. Si se logra producir mezclas con un bajo contenido de vacíos, se obtiene un material estabilizado con asfalto espumado con excelentes propiedades. Una relación única para conseguir la cantidad mínima de vacíos, que permite la variación en el contenido de filler, se presenta en la Ecuación N°2. 11. Esta ecuación es útil, puesto que entrega flexibilidad respecto al contenido de finos de la mezcla. Un valor de n=0.45 se requiere para obtener el mínimo de vacíos.

Ecuación N°2. 11: Para calcular el peso del material que pasa el tamiz de tamaño (d):$P = \frac{(100-F)(d^n - 0.075^n)}{(D^n - 0.075^n)} + F$

Donde:

d = tamaño seleccionado del tamiz (mm)

p = porcentaje en peso del material que pasa el tamiz de tamaño (d)

D = tamaño maximo del agregado (mm)

F = porcentaje del contenido de finos (inertes y activos)

n = variable que depende de las caracteriticas del agregado

No obstante, los materiales cohesivos deben ser tratados con cuidado. Si bien los ensayos de laboratorio de estos materiales pueden arrojar un alto porcentaje de finos que pasan la malla de 0.075 mm de diámetro, generalmente la calidad de mezclado conseguida en terreno es deficiente.

Este fenómeno 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. Por ende, es el Índice de Plasticidad (IP) un indicador de la capacidad que tienen los finos para ser mezclados con el asfalto espumado. Dependiendo de los valores que alcance este índice se recomienda el uso de pequeñas cantidades de cemento o cal de acuerdo con la clasificación mostrada en el Cuadro N°2. 12.

Cuadro N°2. 12. Recomendaciones para la incorporación de cemento o cal hidratada a la mezcla, mediante el índice de plasticidad

Índice de Plasticidad – Menor que 10	**Índice de Plasticidad - Mayor que 10 y menor que 16**	**Índice de Plasticidad – Mayor que 16**
Agregar 1 % de Cemento Portland	Agregar 1 % de Cal Hidratada	Tratar previamente con 2 % de Cal Hidratada

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 181)

Por lo expuesto anteriormente, es importante obtener una granulometría continua, en mejor de los casos con el tamaño del agregado menor a 2 mm, debido a la dispersión del asfalto espumado y a la facilidad en la compactación, ya que se reducen los vacíos y por lo tanto la susceptibilidad al ingreso de agua. Cuando sea necesario, se debe considerar la posibilidad de mezclar dos materiales para mejorar una granulometría deficiente.

También es aconsejable el empleo de fillers activos (cemento, cal u otro material que pase en un 100% la malla N° 200) para reemplazar al filler natural, sin embargo si se emplease cemento, debe evitarse una dosificación de cemento superior al 1,5%, porque un porcentaje mayor de cemento tiene un efecto negativo, ya que produce la perdida de flexibilidad en la capa estabilizada. El contenido de RAP que posea el agregado, también es un factor que influye tanto en las propiedades estructurales de la mezcla como

en el contenido óptimo de asfalto, por lo cual es necesario evaluar esta influencia en laboratorio (Thenoux Z. & Jamet A., 2002).

2.4.5 Propiedades de materiales estabilizados con asfalto espumado

En esta sección se describirá las propiedades de ingeniería más importantes aplicables a los materiales estabilizados con asfalto espumado. Dichas propiedades se obtendrán cuando la aplicación del asfalto espumado es óptima. En la Tabla N°2. 4 se muestran rangos de aplicación del asfalto espumado, estos valores serán útiles para definir un contenido asfaltico aproximado en el diseño de mezclas (estos rangos de aplicación generalmente son aplicables cuando se utilizan un 1% de filler activo, cal o cemento, en las mezclas).

Los contenidos de asfalto espumado presentados en la Tabla N°2. 4 son valores aproximados. El contenido óptimo de asfalto está definido por muchos otros factores además de la granulometría del agregado, y por lo tanto es importante que un diseño de mezclas sea efectuado para determinar el contenido óptimo de cada material. También se debe tomar en cuenta que, no es un requisito aplicar siempre el contenido óptimo de asfalto cuando se estabiliza con asfalto espumado. Dependiendo de la aproximación del diseño, un rango de contenido asfáltico bajo el óptimo puede ser suficiente para conseguir las propiedades requeridas. A este rango de aplicación se denomina "contenido mínimo de asfalto" (Wirtgen GmbH , 2004).

Tabla N°2. 4. Contenido de asfalto espumado relativo a la granulometría del agregado

Porcentaje que pasa por la malla: (%)		**Porcentaje de asfalto espumado (% en peso sobre el agregado seco)**
4.75 mm (Malla # 4)	0.075 mm (Malla # 200)	
Menor que el 50 %	3.0 – 5.0	2.0 a 2.5
	5.0 – 7.5	2.0 a 3.0
	7.5 – 10.0	2.5 a 3.5
	Mayor a 10	3.0 a 4.0
Mayor que el 50 %	3.0 – 5.0	2.0 a 3.0
	5.0 – 7.5	2.5 a 3.5
	7.5 – 10.0	3.0 a 4.0
	Mayor a 10	3.5 a 4.5

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 90)

2.4.5.1 Resistencia

La evaluación de la resistencia de los materiales estabilizados con asfalto espumado se realizara empleando la Resistencia a la Tracción Indirecta, en adelante ITS por sus siglas en inglés (Indirect Tensile Strength). En la Tabla N°2. 5 se muestra los valores de la resistencia de algunos materiales estabilizados con asfalto espumado.

Tabla N°2. 5. Resistencia a la tracción indirecta de materiales estabilizados con asfalto espumado

Tipo de material	Probeta de 100 mm Marshall		Probeta de 150 mm Proctor
	ITS seco (kPa)	TSR (Razón)	
RAP / piedra chancada (mezcla 50/50)	250 a 600	0.8 a 1.0	120 a 250
Piedra chancada graduada	200 a 500	0.6 a 0.9	120 a 200
Grava natural (IP<10, CBR<30)	150 a 450	0.3 a 0.75	80 a 150

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 91)

El ensayo del ITS puede ser realizado en probetas de 100 mm o 150 mm de diámetro, confeccionados y curados siguiendo los procedimientos señalados en la sección 3.4. Además la susceptibilidad a la humedad del material será determinada en términos de la Resistencia a la Tracción Retenida, en adelante TSR por sus siglas en inglés (Tensile Strength Retained), el cual será ensayado en probetas de 100 mm mediante la Ecuación N°2. 12.

Ecuación N°2. 12: Calcular la Resistencia a la Tracción Retenida.

$$\mathrm{TSR} = \frac{\mathrm{ITS}_{\mathrm{saturado}}}{\mathrm{ITS}_{\mathrm{seco}}}$$

El valor de ITS saturado se obtiene sumergiendo las probetas curadas en agua después de 24 horas antes de realizar en el ensayo como se describe en la sección 3.4.

Investigaciones recientes han introducido la Resistencia a la Compresión no Confinada, en adelante UCS por sus siglas en inglés (Unconfined Compressive Strength). El resultado de este ensayo es importante especialmente cuando se estabiliza material de baja calidad. Wirtgen GmbH (2004) propone un valor mínimo de UCS de 700 kPa para una probeta de 150

mm de diámetro, confeccionada con un esfuerzo de compactación del 100 % del Proctor Modificado (curado y ensayado con el contenido óptimo de humedad).

2.4.5.2 Rigidez

La rigidez de un pavimento o de un material estabilizado se mide a través del Módulo Resilente, en adelante Mr, el cual puede ser medido en el laboratorio si se somete a un ensayo de carga repetitiva. El ensayo de probetas Marshall de 100 mm de diámetro (curado y seco) a tracción indirecta a 10 Hz. y 25 ° C entrega los valores de la Tabla N°2. 6, los cuales muestran los rangos de valores generalmente obtenidos.

Tabla N°2. 6. Rangos de Mr, típicos para material estabilizado con asfalto espumado, ensayos en laboratorio

Tipo de material	Módulo Resilente (MPa.)
RAP/Piedra chancada (mezcla 50/50)	2500 a 4000
Piedra granular chancada	2000 a 3000
Grava natural (IP <10; CBR <30)	1500 a 3000

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 21)

2.4.5.3 Tiempo de mezclado

No existe un período de tiempo específico para trabajar el material estabilizado con asfalto espumado. Este dependerá fundamentalmente del contenido de humedad que el material mantenga. Entre más tiempo se mantenga al contenido óptimo de humedad, el período en que se puede trabajar es mayor.

2.4.5.4 Densidad

La compactación deberá apuntar siempre a obtener la máxima densidad posible bajo las condiciones prevalecientes en terreno (denominado densidad máxima).

Wirtgen GmbH (2004) menciona una densidad mínima requerida, como un porcentaje de la densidad AASHTO modificada, generalmente entre un 98% y un 102% para bases estabilizadas con asfalto espumado; a veces se

permitirá 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 es especificada en 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.

2.4.6 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 (Thenoux Z, Halles A. , Nuñez V. , Gonzales H., & Osorio L., 2003).

2.4.6.1 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.

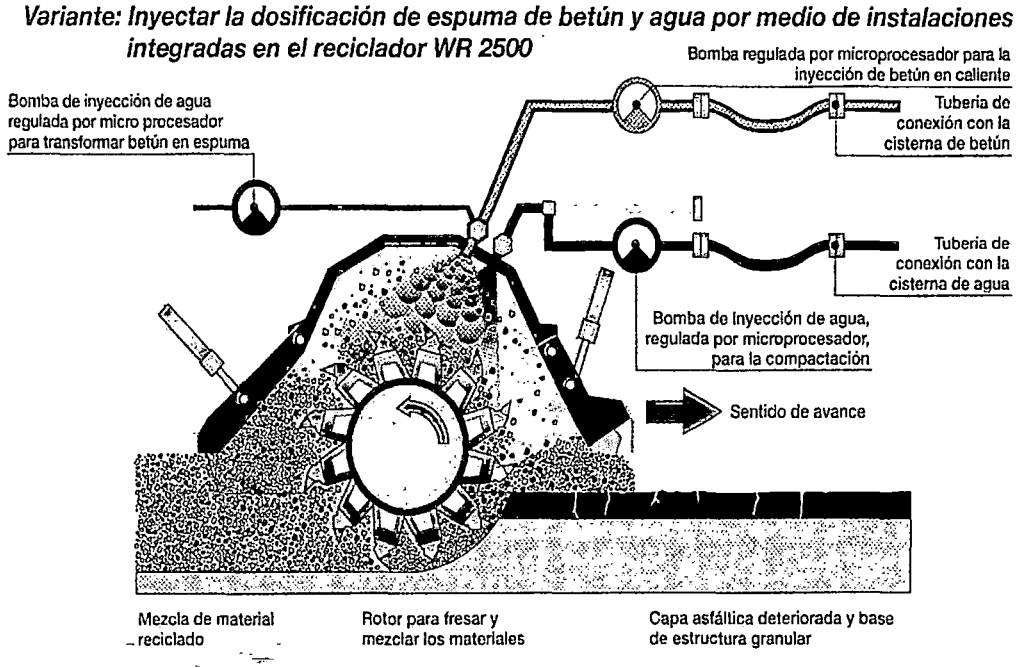


Figura N°2. 45. Aplicación de asfalto espumado en reciclado de pavimentos flexibles con equipo fresador-mezclador

Fuente: (Thenoux Z et al., 2003)

2.4.6.2 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 material de una carretera sin pavimentar o de material proveniente 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.

La estabilización para cada suelo en particular debe ser estudiada en forma independiente. Se debe conocer la granulometría, plasticidad, densidad y otras propiedades del suelo para diseñar el tratamiento más adecuado. Normalmente se requiere adicionar un porcentaje de cemento Portland para incorporar material fino o aumentar la resistencia de la mezcla final.

Una de las ventajas más importantes de la estabilización de suelos con asfalto espumado es su aplicabilidad en materiales granulares con un amplio rango

de granulometrías, lo que permite estabilizar directamente en terreno varios tipos de suelos.

Ambas aplicaciones pueden ejecutarse mediante tecnología en sitio y en planta:

- La tecnología en sitio requiere de un equipo fresador – mezclador. Existen varios modelos y configuraciones para este tipo de equipos, pero en general todos poseen un tambor fresador – mezclador, en el cual el material es removido desde la superficie, triturado, mezclado con el asfalto espumado y extendido. La inyección del asfalto espumado en el agregado se realiza simultáneamente a través de varias cámaras de expansión individuales. Dependiendo de los aditamentos del equipo de reciclado, la mezcla puede quedar acordonada, extendida o extendida y nivelada. En este último caso se puede prescindir de motoniveladora.

- En la tecnología en planta el material es fresado, retirado y transportado hasta una planta donde se incorpora el asfalto espumado y se homogeniza la mezcla. Luego la mezcla se transporta hasta el frente de trabajo, donde es extendida por medio de motoniveladoras o preferentemente con pavimentadoras (ya que no se requerirá de nivelación) para luego ser compactada. Los tipos de plantas utilizadas permiten su instalación en lugares inmediatos al frente de trabajo. Esto, permite reducir significativamente las distancias de transporte de materiales, además la tecnología en planta permite un mejor control de calidad de la mezcla mediante un control de su dosificación.

Tanto en el reciclado en frío de pavimentos asfálticos, como en la estabilización de suelos se coloca sobre la base asfáltica una carpeta de rodado del tipo sello de agregados, lechada asfáltica o una carpeta asfáltica. En caminos de menor importancia, la colocación de la carpeta de rodado puede incluso no ser necesaria.

El proceso del asfalto espumado ha mostrado ser, en otros países, una manera favorablemente económica de mezclar el asfalto con los agregados. No hay costo por el calentamiento del agregado, el cual es significativo en el costo de producción del asfalto. No hay ningún costo de manufactura, lo cual hace a la emulsión asfáltica relativamente costosa. El proceso de asfalto espumado emplea solamente asfalto en un grado de penetración constante, y agua.

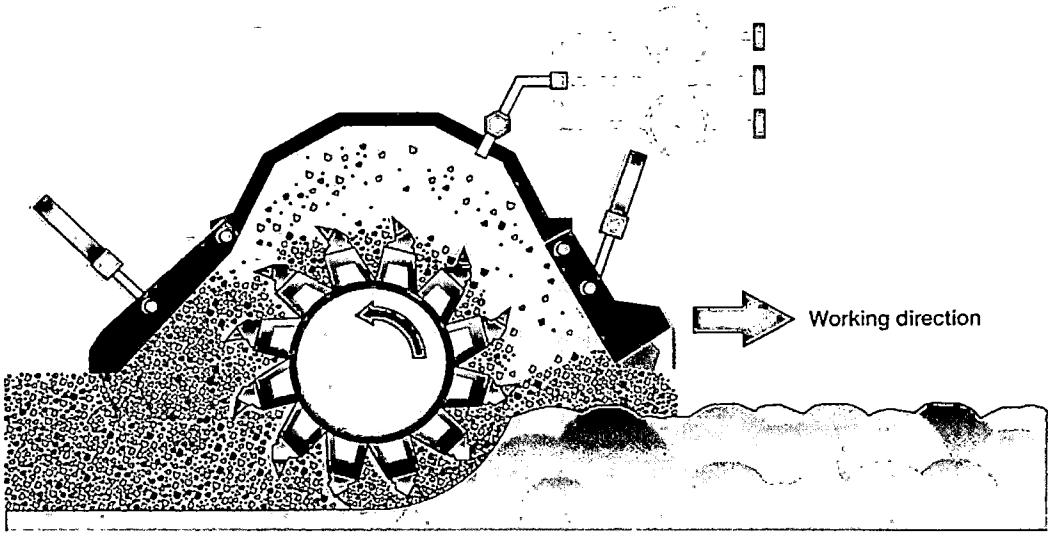


Figura N°2. 46. Aplicación de asfalto espumado en estabilización de bases o suelos con equipo fresador – mezclador.

Fuente: (Thenoux Z et al., 2003)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE MEZCLAS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

3.1 GENERALIDADES

Los diseños de mezclas se realizan con el objetivo de determinar el contenido óptimo de estabilizador (agua, cemento asfáltico), mezclado con los agregados que permitan obtener las propiedades deseadas. Sin embargo, no hay ningún método de diseño de mezcla para el reciclado de mezcla en frío con asfalto espumado aceptado universalmente. En general, pruebas de laboratorio, formulas empíricas o experiencias pasadas con proyectos idénticos son usados para establecer el contenido inicial de asfalto.

Además es muy importante tener en cuenta el equipo que se utiliza para realizar el diseño de mezclas con asfalto espumado. El equipo de laboratorio utilizado para la generación de la espuma es el WLB 10S de Wirtgen (ver la Figura N°3. 1), en donde se puede realizar una serie de mediciones precisas para determinar las propiedades optimas del asfalto espumado y, en combinación con la mezcladora de laboratorio WLM30, que permite determinar rápidamente la composición apropiada del aglomerado.

Figura N°3. 1. Mini planta de laboratorio WLB 10S y WLM 30
Fuente: (Wirtgen GmbH, 2010)

La potente mezcladora de laboratorio WLM30 mezcla el aglomerado muy homogéneamente, siendo posible variar y ajustar por separado el tiempo de mezcla. Un motor eléctrico acciona la WLM 30; el número de giros variable de la mezcladora asciende a 110 r.p.m. La elevada intensidad de mezcla corresponde a los mecanismos mezcladores de las recicladoras en frío que se emplean en las obras viales. Con ello quedan garantizadas unas condiciones idénticas durante todo el proceso.

Figura N°3. 2. Proceso de mezcla en la mezcladora Pugmill - WLM30
Fuente: (Wirtgen GmbH, 2010)

Por otro lado la vida de un pavimento asfáltico está directamente relacionada con los criterios que se utilizan al momento de diseñar la estructura del pavimento, es por ello en esta sección se detallarán los parámetros que se

utilizan en la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimento de AASHTO, la cual tiene como base los ensayos del "Road Test" realizados en Ottowa, Illinois. En el cual se estableció que el diseño estructural está basado primordialmente en encontrar un numero estructural SN requerido que se compara con el SN propuesto para el pavimento flexible, estructurado de tal manera que pueda soportar las cargas de tráfico solicitadas en el periodo de vida útil, con los suelos de fundación existentes, otorgándole un nivel de confort adecuado y determinado para el usuario.

3.2 CONSIDERACIONES BASICAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

En las siguientes líneas se presenta un resumen de los aspectos más importantes a considerar en el diseño de una mezcla con asfalto espumado, los cuales se detallan a continuación.

3.2.1 Características de agregado

La gradación de la base reciclada deberá de cumplir con el Huso Granulométrico Sudafricana TG-2, de acuerdo a la Tabla N°3. 1 de la presente especificación.

Tabla N°3. 1. Distribución granulométrica recomendada por la experiencia Sudafricana

Tamaño Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa	
	Ideal	Menos adecuado
50	100	---
37.5	87 – 100	---
26.5	77 – 100	100
19	66 – 99	99 – 100
13.2	67 – 87	87 – 100
9.6	49 – 74	74 – 100
6.7	40 – 62	62 – 100
4.75	35 – 56	56 – 95
2.36	25 – 42	42 – 78
1.18	18 – 33	33 – 65
0.6	14 – 28	28 – 54
0.425	12 – 26	26 – 50
0.3	10 – 24	24 – 43
0.15	7 – 17	17 – 30
0.075	4 – 10	10 – 20

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2010, pág. 131)

La gradación de la base adicionada (mezcla de trabajo) será dentro del rango indicado en la Tablá N°3. 2, cuando se ha probado de acuerdo con ASTM C 117 y ASTM C 136. La graduación final que se tome entre los límites indicados deberá ser bien graduado de grueso a fino y no variara del límite inferior en una malla superior de las mallas adyacentes y viceversa, en donde las muestras serán tomadas de acuerdo con ASTM D 75.

Tabla N°3. 2. Requisito para la gradación del material granular adicionada

Tamaño Tamiz (mm)	Rango de Diseño Porcentaje en Peso que Pasan las Mallas
50	100
25	-
9.5	30-65
4.75	25-55
2.00	15-40
0.425	8-20
0.075	2-8

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Con respecto a los ensayos y frecuencias que se deberán efectuar al material de adicionamiento de material granular, será como se indica en el siguiente Cuadro N°3. 1.

Cuadro N°3. 1. Ensayo para material granular

Características	Ensayo	ASTM	AASHTO	(1)	Muestra
Granulometría	MTC E204	D422	T 27	1 cada 750m3	Cantera
Límites de consistencia	MTC E111	D4348	T 89	1 cada 750m3	Cantera
Abrasión los Ángeles	MTC E207	C131	T 96	1 cada 2000m3	Cantera

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

3.2.2 Exigencias del filler activo

La adición de cemento o cal junto con el asfalto espumado, además de ayudar a la dispersión del asfalto, mejora la resistencia retenida en condiciones de humedad, mejora la trabajabilidad de la mezcla y especialmente la Cal colabora con la reducción del índice de plasticidad. Durante el proceso de diseño de mezcla se realizan ensayos adicionales sin filler activo y/o con polvo de trituración (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 181). La experiencia sudafricana sugiere el uso como máximo de cemento a 1%.

Halles A. & Thenoux Z.(2010) señalan que las mezclas recicladas con asfalto espumado y cemento presentan un mejor desempeño que las que utilizan cal como filler activo, es decir la utilización de 2% de cal genera resultados equivalentes a la utilización de 1% de cemento. Por lo tanto, si solo se consideran como parámetros los ensayos de ITS (Resistencia a la Tracción Indirecta), Modulo Resilente y Deformación Permanente Triaxial, la decisión de utilizar uno u otro filler activo, pasará por una decisión netamente económica.

Thenoux Z.G (2010) afirma que no es recomendable considerar el reemplazo de cemento por otro tipo de filler no obstante frente a situaciones especiales se debe repetir protocolos de diseno para cuando se requiera reemplazar el cemento por otro filler. La cal puede ser opcion de un filler pero se utiliza mas bien para pre-tratar suelos "imposibles.

3.2.3 Contenido óptimo de humedad de los materiales

El Optimo Contenido de Humedad (OCH), es aquel que maximiza la densidad de la mezcla y es necesario para una adecuada compactación posterior; por lo que se recomienda una humedad comprendida entre 70% a 80% de la humedad óptima de los agregados.

Las mezclas con bajas densidades son consecuencia de bajos contenido de humedad, lo que se traduce en una inadecuada dispersión del asfalto espumado (Bowering, 1970). Asi mismo Thenoux Z. & Jamet (2002) recomiendan que para el diseño de mezclas usar como contenido óptimo de humedad, el 75% de la humedad óptima de compactación obtenida mediante el ensayo Proctor Modificado. Luego de la dispersión se debe completar el 25% de contenido de humedad para alcanzar la máxima densidad de compactación.

3.2.4 Temperatura de los agregados

La temperatura óptima del agregado debe estar entre 13 °C – 20 °C, temperaturas muy bajas, reducen la efectividad de la espuma (Thenoux Z. & Jamet, 2002). De acuerdo con lo señalado por Wirtgen GmbH (2004) el trabajo

con asfalto espumado no se debería realizar cuando la temperatura del agregado esté bajo los 10 °C.

Cuadro N°3. 2. Facilidad del asfalto espumado para dispersarse (capacidad de mezclado)

Índice de espumación	Razón de Expansión	Temperatura del agregado (°C)		
		< 10 °C	10 °C a 25 °C	> 25 °C
< 75	< 8	Muy mala	Mala	Moderada
75 a 150	8 a 12	Moderada	Buena	Buena
> 150	> 12	Buena	Muy buena	Muy buena

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 88)

3.2.5 Contenido óptimo de asfalto

Para determinar el contenido óptimo de asfalto, deben ser confeccionadas un mínimo de 5 mezclas con distintos contenidos asfálticos (1% – 3 % de asfalto con incrementos de 0.5%), y evaluar el comportamiento de cada una de ellas en función de la Tracción Indirecta (o tracción por compresión diametral), determinada tanto en estado seco como saturado. El valor óptimo se obtiene en base al ensayo de hendimiento o resistencia indirecta a la tracción (Thenoux Z. & Jamet, 2002).

3.3 PROCEDIMIENTO PARA PREPARACIÓN DE MATERIALES ESTABILIZADOS CON ASFALTO ESPUMADO

La metodología a emplear para la toma de muestras, del material que va a ser estabilizado con asfalto espumado, es muy importante, ya que en un control inadecuado o deficiente en la toma de muestra se traduce en ensayos no representativos que entregarán resultados erróneos, lo que puede traer serias consecuencias. Por lo tanto, debe tenerse conocimiento de tres factores importantes para la toma de muestras de dosificación:

- Profundidad del reciclado, y las proporciones de cada capa in-situ que será mezclada y conformará la capa compuesta.

- Variabilidad del material en la longitud de la carretera y la profundidad del pavimento existente. Esto significa que deben realizarse suficientes

diseños de mezclas como para considerar esta variación. En los casos donde la variabilidad es significativa, el material de cada capa debería ser separado en sus fracciones correspondientes, y luego ser mezclado en las proporciones requeridas. De esta forma, puede obtenerse una mezcla óptima y luego estudiar la influencia de la granulometría en la variabilidad de la mezcla tratada con asfalto espumado.

- Se debe preparar el material del pavimento que existe, para el proceso de mezcla. La utilización de una máquina pequeña de fresado para el muestreo del material asfáltico es el procedimiento más adecuado para obtener muestras representativas.

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas que serán realizadas durante la fase de experimentación en campo. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

3.3.1 Preparación de las muestras para el tratamiento con asfalto espumado

- **PASO 1.-** Colocar la cantidad de muestra requerida dentro de un contenedor mezclador adecuado (10 kg para elaborar probetas de 100 mm de diámetro, o 20 kg para probetas de 150 mm de diámetro).

- **PASO 2.-** Determinar la masa seca de la muestra usando la siguiente ecuación.

Ecuación N°3. 1 $$\mathbf{M_{Seca}} = \frac{\mathbf{M_{Nat}}}{\left(1+\left(\frac{\mathbf{H_{Nat}}}{100}\right)\right)}$$

Donde:

$\mathbf{M_{seca}}$ = Masa seca de la muestra (gr)

$\mathbf{M_{Nat}}$ = Masa seca al aire con humedad natural (gr)

$\mathbf{H_{Nat}}$ = Humedad natural del material (%)

- **PASO 3.-** Determinar el porcentaje requerido de filler activo (cal o cemento) usando la siguiente ecuación.

Ecuación N°3. 2 $$M_{cemento} = \left(\frac{P_{Cemento}}{100}\right) * (M_{Seca})$$

Donde:

$\mathbf{M_{cemento}}$ = Masa de cemento requerido (gr)

$\mathbf{P_{Cemento}}$ = Porcentaje de cemento portland a incorporar (%)

$\mathbf{M_{Seca}}$ = Masa seca de la muestra (gr)

- **PASO 4.-** Determinar la masa de agua a ser agregada a la muestra usando la ecuación.

Ecuación N°3. 3 $$M_{agua\ mezclado} = \left(\frac{P_{OCH}}{100}\right) * \left(\frac{H_{Proctor} - H_{Nat}}{100}\right) * (M_{Seca} + M_{cemento})$$

Donde:

$\mathbf{p_{OCH}}$ = Porcentaje de optimo contenido de humedad (%)

$\mathbf{M_{agua}}$ = Masa de agua para el mezclado (gr)

- **PASO 5.-** Mezclar el material, el filler activo, y el agua en un mezclador hasta que esté uniforme.

- **PASO 6.-** Determinar el asfalto espumado a ser agregado usando la siguiente ecuación.

Ecuación N°3. 4 $$M_{asfalto} = \left(\frac{P_{Asfalto}}{100}\right) * (M_{Seca} + M_{cemento})$$

Donde:

$\mathbf{M_{asfalto}}$ = Masa de asfalto agregado (gr)

$\mathbf{P_{Asfalto}}$ = Contenido de asfalto espumado (%)

- **PASO 7.-** Determinar el ajuste del temporizador en el Wirtgen WLB 10S usando la siguiente ecuación.

Ecuación N°3. 5 $$T = \frac{\frac{P_{Asf.}}{100} * \left((M_{seco} + M_{Cemento}) * \left(1 + \frac{F_{perdida}}{100}\right)\right)}{Cte.}$$

Donde:

$\mathbf{T}$ = Tiempo de ajuste en el temporizador del WLB 10S (s)

$\mathbf{M_{asfalt}}$ = Masa de asfalto agregado (gr)

Cte. = Constante asociado al flujo masico de calibración de equipo WLB 10S ($^{gr}/_{s}$)

$\mathbf{F_{perdida}}$ = Valor asociado a la perdida en recipiente y mezclador

- **PASO 8.-** Colocar el mezclador mecánico adyacente al laboratorio de espumado de modo que el asfalto espumado pueda ser descargado directamente en el mezclador.

- **PASO 9.-** Comenzar el mezclado y dejar mezclando durante al menos 10 segundos antes de descargar la masa de asfalto espumado requerida dentro del mezclador. Seguir mezclando durante 30 segundos más, después de que el asfalto espumado se ha descargado dentro del mezclador.

- **PASO 10.-** Determinar la cantidad de agua requerida para que la muestra alcance el contenido de humedad óptimo usando la siguiente ecuación.

Ecuación N°3. 6 $$M_{plus} = (M_{Agua(OCH)} - M_{Agua\ mezclado})$$

Donde:

$\mathbf{M_{Agua(OCH)}}$ = Masa de optimo contenido de humedad de la muestra (gr)

$\mathbf{M_{plus}}$ = Masa de agua requerida para que la muestra alcance el contenido de humedad optimo (gr)

- **PASO 11.-** Agregar la cantidad de agua adicional y mezcle hasta que quede uniforme.

- **PASO 12.-** Traspasar el material tratado con asfalto espumado a un contenedor y sellarlo inmediatamente para conservar la humedad. Para reducir al mínimo la pérdida de humedad de la muestra preparada, elaborar cuanto antes las probetas siguiendo los procedimientos pertinentes para probetas de 100 mm o 150 mm de diámetro, como se describe en la Sección.3.3.2 .

Se añadirá suficiente agua, de manera que el contenido de humedad más el contenido de ligante añadido sean iguales al contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo modificado de compactación. El mezclador mecánico debe ser colocado de manera que la espuma sea descargada directamente al recipiente de mezcla. Los agregados y el agua se mezclan aproximadamente durante un minuto. Posteriormente, sin parar el mezclador, se descarga la masa requerida de asfalto espumado en el recipiente de mezcla y se continúa el proceso de mezclado durante los siguientes 30 segundos.

3.3.2 Fabricación de probetas de 100 mm de diámetro

3.3.2.1 Compactación

- **PASO 1.-** Preparar el molde y martillo Marshall limpiando el molde, collar, plato base y la cara de compactación del martillo. El equipo de compactación no debe ser previamente calentado, sino mantenerse a temperatura ambiente.

- **PASO 2.-** Pesar material suficiente para alcanzar una altura de compactación de 63.5 mm ± 1.5 mm (usualmente 1150 g). Punzar 15 veces la mezcla con una espátula alrededor del perímetro y 10 veces en la superficie, dejando la superficie levemente redondeada.

- **PASO 3.-** Compactar la mezcla aplicando 75 golpes con el martillo de compactación. Debe asegurarse que el martillo caiga libremente.

- **PASO 4.-** Retirar el molde y el collar del pedestal, invertir la probeta (dar vuelta). Volver a colocar y presionar firmemente para asegurar que descanse firmemente sobre el plato base. Compactar la otra cara de la probeta aplicando nuevamente 75 golpes.

- **PASO 5.-** Después de la compactación, retirar el molde del plato base y desmoldar la probeta por medio de un extrusor.

Con ciertos materiales que carecen de cohesión, puede ser necesario dejar las probetas en el molde durante 24 horas para desarrollar la resistencia antes de extraerlas.

3.3.2.2 Procedimiento de curado

Otro aspecto importante a ser tenido en cuenta en la tecnología de los asfaltos espumados, es el curado de las mezclas y el efecto de las condiciones del mismo, sobre las propiedades mecánicas del material tratado. El curado es el proceso mediante el cual la mezcla del agregado con asfalto espumado gana gradualmente resistencia con el tiempo, mientras se presenta la reducción en el contenido de humedad. La temperatura del curado, su duración y por lo tanto las condiciones de humedad, afectan severamente la resistencia de las mezclas con asfalto espumado.

De manera similar a lo que sucede con las mezclas en frio, elaboradas con emulsiones asfálticas, las mezclas con asfalto espumado desarrollan su resistencia con el tiempo, aunque se requiere un periodo relativamente menor para alcanzar su resistencia final. Con el objeto de reproducir en el laboratorio las condiciones de humedad y así mismo la resistencia obtenida de material tratado en obra, a diferentes edades: corto, mediano y largo plazo se propone algunos procedimientos de curado en el Cuadro N°3. 3 (Montejo Fonseca, 2002). Asimismo Wirtgen GmbH (2004) propone colocar las probetas sobre una bandeja plana y curar en un horno con aire forzado durante 72 horas a 40 °C. Retirar del horno después de 72 horas y dejar enfriar a temperatura ambiente. Esto es un procedimiento similar a lo propuesto en el Cuadro N°3. 3 para una edad a largo plazo.

Cuadro N°3. 3. Procedimientos propuestos para el curado de las mezclas con asfalto espumado

Termino	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
Duración en Laboratorio	24 horas	48 horas	96 horas
Condición de curado	Dentro de los moldes	24 horas dentro de los moldes y 24 horas fuera de los moldes	24 horas dentro de los moldes y 72 horas fuera de los moldes
Temperatura	Ambiente	40 °C	40 °C
Similitud con la obra:			
– Duración después de extendida la capa	1 día	7 a 14 días	30 días
– Condición climática	Seca	Seca	Seca

Fuente: (Montejo Fonseca, 2002, pág. 648)

3.3.2.3 Determinación de la densidad bruta

Después de enfriar cada probeta a temperatura ambiente:

- **PASO 1.-** Determinar la masa.
- **PASO 2.-** Medir la altura en cuatro sitios uniformemente espaciados alrededor de la circunferencia y calcule la altura promedio.
- **PASO 3.-** Mida el diámetro.
- **PASO 4.-** Calcule la densidad bruta usando la siguiente ecuación.

Ecuación N°3. 7 $$D = \frac{(4*M_{Probeta})}{(\pi \times d^2 \times h)} * 1000$$

Donde:

$\mathbf{D} = \text{Densidad}\left({}^{Kg}/_{m^3}\right)$

$\mathbf{M_{Probeta}} = \text{Masa de la probeta (gr)}$

$\mathbf{h} = \text{altura promedio de la probeta (cm)}$

$\mathbf{d} = \text{Diametro de la probeta (cm)}$

La densidad puede ser verificada usando el método de "peso en aire/peso en agua". Se excluirá cualquier probeta cuya densidad bruta difiera del promedio en más de 50 Kg / m^3.

3.4 ENSAYOS

Las probetas de 100 mm de diámetro son ensayadas por resistencia a la tracción indirecta bajo condición seca y saturada siguiendo el procedimiento descrito en la Sección 3.4.1 . Los resultados de los ensayos de ITS seco y saturado son graficados con respecto al contenido de asfalto respectivo que fue agregado. El contenido de asfalto óptimo es aquel que permite alcanzar las mejores propiedades deseadas.

3.4.1 Determinación de la resistencia a la tracción indirecta (ITS)

El ITS es usado para ensayar probetas bajo diferentes condiciones de humedad: seco, saturado y contenido de humedad de equilibrio. El ITS es determinado midiendo la carga última de falla de una probeta sujeta a una razón de deformación constante de 50.8 mm/minutos sobre su eje diametral. El procedimiento es el siguiente:

- **PASO 1.-** Ubicar la probeta en el cabezal para ensayos de ITS. Colocar la probeta tal que las bandas de carga estén paralelas y centradas en el plano vertical diametral.

- **PASO 2.-** Ubicar el plato de transferencia de carga sobre la banda superior y colocar el cabezal de ensayo ensamblado de manera que quede centrado bajo el pistón de carga de la máquina de compresión.

- **PASO 3.-** Aplicar carga a la probeta a una razón de avance de 50,8 mm por minuto hasta alcanzar la carga máxima. Registrar la carga máxima P (en kN), con aproximación a 0.1 kN.

- **PASO 4.-** Inmediatamente después de ensayar la probeta, romperla y tomar una muestra de 1.000 g aproximadamente para determinar el contenido de humedad (W_{Briq}). Este contenido de humedad es usado en la
- Ecuación N°3. 10 para determinar la densidad seca de la probeta.

- **PASO 5.-** Calcule el ITS de la probeta con aproximación a 1 kPa usando la siguiente expresión.

Ecuación N°3. 8 $$ITS = \frac{(2xP)}{(\pi xhxd)} \times 1000$$

Donde:

ITS = Resistencia a la Tracción Indirecta (kPa)

P = Carga máxima aplicada (kN)

h = altura promedio de la probeta (cm)

d = Diametro de la probeta (cm)

- **PASO 6.-** Para determinar el ITS saturado, coloque las probetas bajo agua a 25 °C ± 1 °C por 24 horas. Saque las probetas del agua, séquelas superficialmente y repita los pasos 1 al 5.

La Resistencia a la Tracción Retenida (TSR) es la relación entre el ITS seco y el ITS saturado para un conjunto específico de probetas, expresada como porcentaje usando la siguiente ecuación.

Ecuación N°3. 9 $$TSR = \frac{ITS_{Saturado}}{ITS_{Seco}} \times 100$$

3.4.2 Determinación de la densidad seca

Utilizando el contenido de humedad determinado en cada uno de los ensayos descritos anteriormente, calcule la densidad seca usando la siguiente ecuación.

Ecuación N°3. 10 $$DS = \left(\frac{M_{Probeta}}{Vol}\right) \times \left(\frac{100}{W_{Briq} + 100}\right) \times 1000$$

Donde:

DS = Densidad seca $\left({}^{Kg}/_{m^3}\right)$

$\mathbf{M_{Probeta}}$ = Masa de la probeta (gr)

Vol = Volumen de la probeta (cm^3)

$\mathbf{W_{Briq}}$ = Contenido de humedad de la probeta (%)

3.4.3 Determinación del contenido de asfalto de diseño

Para todas las muestras (tanto las ensayadas en seco como bajo saturación), se dibuja una gráfica que represente el contenido de asfalto (abscisas) contra la resistencia a la tensión indirecta (ordenadas), en el mismo juego de ejes. También se dibujaran las gráficas que represente el contenido de asfalto (abscisas) contra la resistencia a la tracción retenida (ordenadas) y la densidad (ordenadas), en el mismo juego de ejes. El contenido de asfalto para el cual las probetas ensayadas alcanzan la máxima resistencia a la tracción bajo saturación, es el contenido de asfalto óptimo de la mezcla con asfalto espumado. Se determina si esta resistencia y la correspondiente en seco para el mismo contenido de ligante satisfacen las especificaciones. Si no lo hacen, se deberá diseñar una nueva mezcla.

En resumen Thenoux Z. & Jamet (2002) recomiendan algunos valores de resistencia a la Tracción Indirecta como guía para la selección del óptimo contenido de asfalto en la mezcla reciclada y en el control de calidad en obra. Para la resistencia de probetas curadas en seco (ITS_{seco}) ≥ 200 kPa, en tanto que para la resistencia de probetas curadas en húmedo ($ITS_{saturado}$) ≥ 100 kPa y como último paso la resistencia a la tracción retenida conservada tras curado húmedo (TSR) ≥ 50 %.

3.5 DISEÑO DE MEZCLAS

3.5.1 Antecedentes

El proceso de diseño se inició con el estudio de los componentes del paquete estructural existente en la carretera, mediante la prospección de calicatas en la plataforma para la identificación y caracterización de los materiales disponibles para el reciclado, los cuales serán parte primordial de los diseños de mezcla con asfalto espumado. La metodología se basó en la extracción (en tres bolillos) de muestras de cada capa de material, desde la superficie de rodadura y la base granular (involucrados en el reciclado) hasta la subrasante, con espaciamiento de 0.5 km para calicatas superficiales y de 1.0 km para calicatas profundas, a lo largo de todo el tramo de la vía.

Producto de los respectivos ensayos de laboratorio ejecutados en dichas muestras, se determinó que el 94.0 % de los suelos de la capa subyacente a la rodadura existente pertenecen al tipo A-I-a (0) y el 6.0 % corresponde a materiales del tipo A-2-4 (0); es decir, que no solo se cuenta con materiales de buena calidad sino que además, existe la adecuada homogeneidad para elaborar los diseños de mezcla con asfalto espumado.

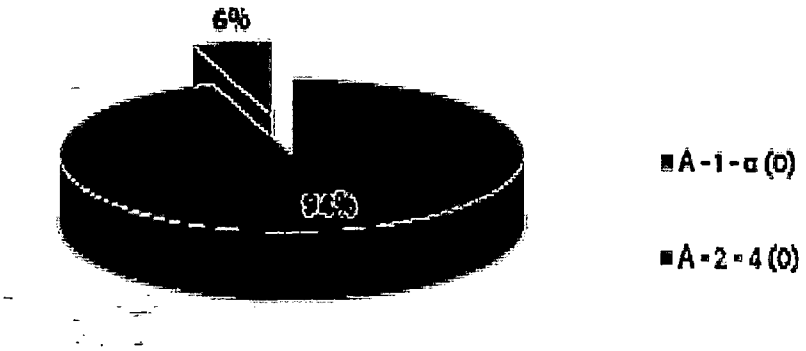


Figura N°3. 3. Clasificación de la base granular
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

En base al conocimiento de la calidad de los materiales a reciclar (determinado en la fase de exploración), y mediante el análisis del peso unitario de sus componentes y la relación del espesor de cada uno respecto al espesor total del paquete de reciclado (0.175 m. y 0.20 m de acuerdo a cada zona determinada en el diseño estructural) se determinó, como se muestra en las Tabla N°3. 3 y Tabla N°3. 4, los porcentajes de aporte para las mezclas a ser recreadas en laboratorio WBL10S para los diseños de mezcla con asfalto espumado.

Las proporciones determinados fueron: 43.34 % de material de superficie de rodadura y de 56.66 % de material de base granular existentes para los sectores con espesores de diseño de 0.175 m. Asimismo, en los sectores que según ha sido determinado en el dimensionamiento de capas, recibirán un aporte de 0.03 m. de material de base, las proporciones son de 14.90 % de aporte granular, 35.44 % y 49.66 % de material de rodadura y base existente, respectivamente.

Tabla N°3. 3. Proporciones de aporte de materiales para diseños de mezcla e=0.175

Material Componente	Peso Unitario	Espesor a Reciclar	Aporte en Mezcla
Rodadura Existente	2.284	0.075	43.34 %
Base Granular Existente	2.240	0.10	56.66%

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2010)

Tabla N°3. 4. Proporciones de aporte de materiales para diseños de mezcla e=0.20

Material Componente	Peso Unitario	Espesor a Reciclar	Aporte en Mezcla
Aporte de Base Granular	2.240	0.03	14.90%
Rodadura Existente	2.284	0.07	35.44 %
Base Granular Existente	2.240	0.10	49.66 %

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2010)

Además se utilizó el cemento asfaltico PEN 85/100 para espumar, descartándose asfaltos blandos por su mayor susceptibilidad al envejecimiento prematuro y asfaltos duros pues producen espuma de mala calidad, generando una dispersión pobre y es compatible con los agregados pétreos, el cual cumplió con los requisitos de calidad establecidos en las Especificaciones Técnicas Generales (EG – 2000) (ver Anexo N°3.1).

También se realizó el análisis granulométrico según el huso granulométrico desarrollado en Sudáfrica - TG2 para la (Zona A), siendo adecuado para tratamientos con materiales de amplia variabilidad en su gradación (ver la Grafica N°5.3), su aplicación en el tramo Conococha - Huaraz es factible y verificable en base a la estadística de los resultados de calicatas superficiales y profundas del estudio geotécnico de los suelos realizados en la etapa pre operativa del proyecto. Para representar fielmente la granulometría de los agregados se realizaron muestreos de los tramos de prueba que fueron fresados con la recicladora Wirtgen WR 2500-S (ver la Figura N° 2.28), sin la incorporación de agentes estabilizadores. En el Anexo N°3.2 se visualiza los resultados de las propiedades físicas determinados en laboratorio para la base reciclada.

El ensayo de Proctor Modificado de la mezcla de diseño considerado para el ejemplo de la presente tesis es de reciclado de 100% de RAP, se obtuvo una humedad óptima de 4.9% y CDMS de 2.151 gr/cm3 (ver Anexo N°3.3). Para

lograr el valor de la cantidad de agua a agregar en la compactación se debe descontar la humedad natural del material en terreno.

De acuerdo al estudio de suelos y pavimentos, el cual indica que los materiales a reciclar en su conjunto presentan un índice de plasticidad característico IP=3.36, que corresponde a incorporar 1.0% de Cemento Portland tipo I (ver la Tabla N°2.12), el cual se esparció sobre la superficie a reciclar por un periodo de al menos 2 horas antes de iniciar el proceso de reciclado.

3.5.2 Diseño de la espuma óptima

En esta etapa son determinadas la temperatura del asfalto y la cantidad de agua de inyección que optimizan la razón de expansión y la vida media.

Para la obtención de valores correctos de cantidad de asfalto y agua inyectada se debe calibrar el equipo según las especificaciones del equipo de laboratorio de espumado, después de obtenidos los parámetros del equipo se procede a poner en marcha el equipo de espumado (ver Figura N°3. 1) y lograr los flujos correctos de agua inyectada para cada variación de porcentaje aplicada a un flujo constante de asfalto. El ajuste de flujómetro se efectúa en forma manual.

Para este ajuste de flujo de agua se obtiene primero el flujo de asfalto mediante la Ecuación N°3. 11, posteriormente se aplica la Ecuación N°3. 12 para obtener valores de ajuste.

Ecuación N°3. 11. Flujo de Asfalto

$$Q_{Asfalto}(g/s) = \text{Medición real de } \frac{\text{Peso}}{\text{Tiempo}}$$

Ecuación N°3. 12. Flujo de Agua

$$Q_{Agua}(lt/hr) = \frac{Q_{Asf}\,(g/s) * \%_{Agua} * 3{,}600}{1000}$$

Para este proyecto en particular emplearemos el valor de ts =5 segundos (tiempo de descarga del asfalto) porque la cantidad de asfalto a utilizar por cada ensayo es de 555g, 563g y 562g, a un flujo de asfalto de 111g/s, 112.6g/s y 112.4g/s calculado utilizando la Ecuación N°3. 11. A continuación se muestra el proceso teórico de la calibración del agua inyectada, en la Tabla N°3. 5, utilizando para ello la Ecuación N°3. 11 y Ecuación N°3. 12.

Tabla N°3. 5. Flujo de agua inyectada

Flujos de agua estandarizados relativos al flujo de asfalto y porcentaje de agua inyectada

Flujo asfalto (g/s)	% Agua inyectada								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
111	4.00	5.99	7.99	9.99	11.99	13.99	15.98	17.98	19.98
112.6	4.05	6.08	8.11	10.13	12.16	14.19	16.21	18.24	20.27
112.4	4.05	6.07	8.09	10.12	12.14	14.16	16.19	18.21	20.23

Fuente: Elaboración Propia

La tabla anteriormente expuesta muestra los valores recomendados por el fabricante para cada flujo de asfalto, según la calibración del equipo, el flujo de asfalto es de 112 (g/s), por lo cual se interpolan los valores y así lograr los flujos de agua inyectada correspondientes a cada porcentaje de agua, que son los que se ven en la siguiente tabla.

Tabla N°3. 6. Flujo de agua inyectada (lt/h) para el equipo calibrado

Flujo calibrado de agua para un determinado flujo de asfalto.				
Flujo asfalto (g/s)	**% Agua inyectada**			
	1.0	2.0	3.0	4.0
112	**4.03**	**8.06**	**12.10**	**16.13**

Fuente: Elaboración Propia

Ya calibrado el equipo y sus flujos se procede a realizar el diseño óptimo de espuma de asfalto. En seguida se exponen los resultados del diseño óptimo. Cabe señalar que la búsqueda de los valores de espuma óptima se hizo variar la temperatura (160-180°C) de asfalto con diversos contenidos de agua (1.5 - 3.0 %) a fin de encontrar el mejor índice de espumación. En el Anexo N°3.4 se observa las gráficas de diseño para determinación de espumabilidad para temperaturas de T=160°C, T=170°C y T=180°C.

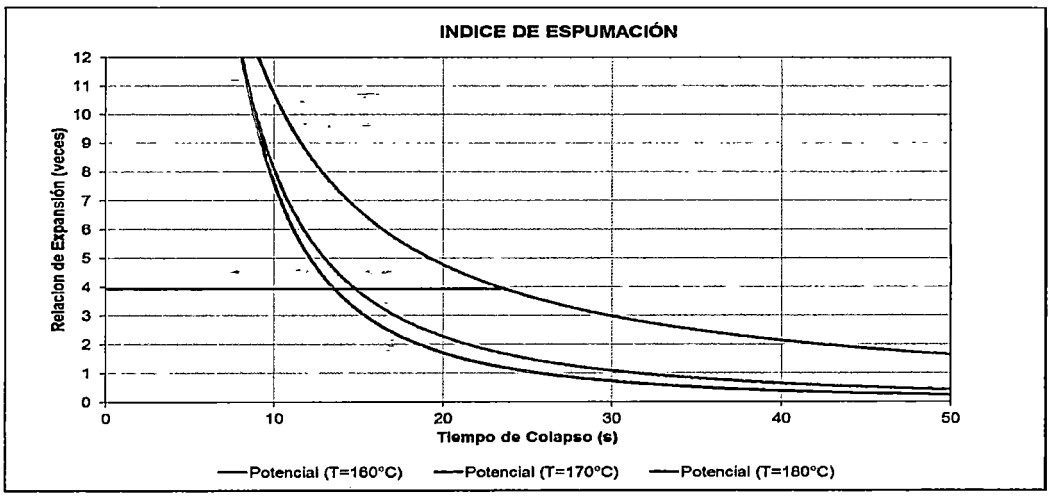
A continuación en la Tabla N°3. 7 se presentan los resultados de Razón de Expansión y Vida Media obtenidos en el laboratorio WBL10S para este proyecto.

Tabla N°3. 7. Resumen de ensayos de espumación, razón de expansión y vida media

Contenido de Agua (%)	T=160°C		T=170°C		T=180°C	
	Expansión	Vida Media	Expansión	Vida Media	Expansión	Vida Media
1.5	7.7	12.6	9.7	8.0	11.7	6.8
2.0	11.7	9.4	13.3	7.0	14.7	6.3
2.5	16.0	6.0	16.7	5.7	17.3	5.3
3.0	19.7	4.5	21.0	4.0	23.3	4.0

Fuente: Elaboración Propia

Grafico N°3. 1. Determinación de índice de espumación

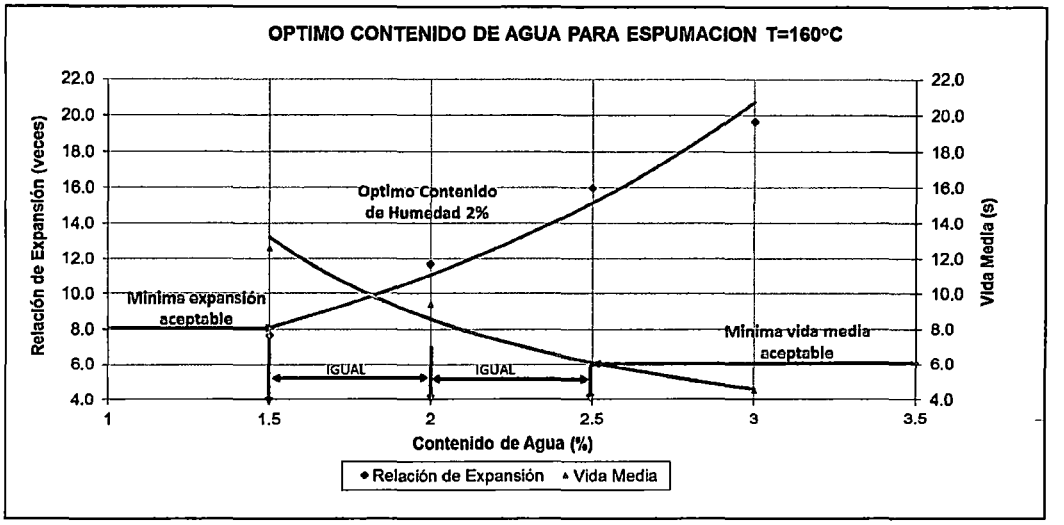


Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar en el Grafico N°3. 1 la mayor área delimitada por la curva de colapso, el eje de ordenadas y la mínima expansión aceptable (4.0 veces), es obtenida a 160 °C, es decir el índice de espumación mayor corresponde a dicha temperatura. De misma manera se corrobora utilizando la Ecuación N°2.10, en donde IE= 110.70 está en el rango 75 a 150, esto quiere decir que la calidad de la espuma es de moderada a buena y la dispersión de la espuma en el agregado ha de moverse entre los rangos de moderada a buena, dependiendo de la temperatura.

En el Grafico N°3. 2 se muestra la determinación del óptimo contenido de agua de espumación a 2.00% para la mejor espuma obtenida a 160° C, a presiones de 4.5 bares en aire y 5 bares para agua.

Grafico N°3. 2. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación para T=160°C



Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en el Cuadro N°3. 4 tenemos los resultados de las condiciones idóneas de espumación. Las cuales han sido usados en el procedimiento del Diseño de Mezclas

Cuadro N°3. 4. Resumen de condiciones óptimas de espumación para la carretera Conococha – Huaraz

Condiciones Óptimas de Espumación	
Proveedor de asfalto	PETRO PERU
Asfalto	PEN 85/100
Temperatura	160° C
% Agua de espumación	2.00 %
Razón de Expansión Promedio	11.7 > 8 min.
Vida Media Promedio	9.4 > 6 min.
Índice de espumación	110.70 (75<IE<150)

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2010)

3.5.2.1 Preparación de la mezcla

A continuación, se intenta encontrar la cantidad que maximiza la resistencia a la Tracción Indirecta tanto seca como saturada, de una probeta tipo Marshall fabricada con material reciclado y asfalto espumado. Para conseguir este propósito se sigue el procedimiento de diseño descrito en la sección 3.3 . Para ello se utilizó los siguientes datos descritos en los párrafos anteriores.

- $P_{Cemento}$: Porcentaje de cemento portland a incorporar $= 1.0\ \%$

- M_{Nat}: Masa seca al aire con humedad natural $= 10{,}100$ gr
- H_{Nat}: Humedad natural del material $= 1.0$ %
- $H_{Proctor}$: Contenido de humedad optimo $= 4.9$ %

Luego se procede a calcular el peso seco del material y de cemento utilizando la

Ecuación N°3. 1, después se mezcló en seco los agregados con el cemento portland por un minuto en una mezcladora tipo Pugmill, a 60 r.p.m.

$$M_{Seca} = \frac{M_{Nat}}{\left(1 + \frac{H_{Nat}}{100}\right)} = \frac{10{,}100}{\left(1 + \frac{1}{100}\right)} = 10{,}000 \text{ gr}$$

$$M_{Cemento} = \left(\frac{P_{cemento}}{100}\right) * (M_{seca}) = \left(\frac{1}{100}\right) * 10{,}00 = 100 \text{ gr}$$

$$M_{Seca} + M_{Cemento} = 10{,}000 + 100 = 10{,}100 \text{ gr}$$

Con el dato obtenido de la ecuación anterior, se calcula el contenido de humedad para la compactación. Después se verifico el agua para mezclar con los agregados y el cemento portland por 2 minutos, a 110 r.p.m. luego se dejó reposar por un periodo de 2 minutos.

$$M_{agua} = 0.75 * \left(\frac{H_{Proctor} - H_{Nat}}{100}\right) * (M_{seca} + M_{Cemento}) = 0.75 * \left(\frac{4.9 - 1}{100}\right) * 10100 = 292.5 \text{ gr}$$

Ya obtenidos los datos necesarios para el acondicionamiento del material se obtiene el tiempo de asfalto (tiempo de flujo de asfalto) para variaciones a cada 0.5% desde 1.0% hasta 2.5% hasta determinar el porcentaje adecuado de asfalto, como ejemplo práctico empezamos analizando para 1% de asfalto.

- P_{Asf}: Contenido de asfalto a inyectarse $= 1.0$ %
- $F_{perdida}$: Valor asociado a la perdida en recipiente y mezclador $=$ 10 % (Boquilla de inyección)
- Cte. : Constante asociado al flujo másico de calibración de equipo $=$ 112 g/s

$$T_{Asfalto} = \frac{\frac{P_{Asf}}{100} * \left((M_{seco} + M_{Cemento}) * \left(1 + \frac{F_{perdida}}{100}\right)\right)}{Cte.} = \frac{\frac{1}{100} * \left(10100 * \left(1 + \frac{10}{100}\right)\right)}{112} = 0.99 \text{ seg}$$

El mismo procedimiento se sigue para los demás porcentajes de asfalto 1.5%, 2%, y 2.5%. En la Tabla N°3. 8 se muestra el resumen de tiempo de inyección para los demás porcentajes de asfalto.

Tabla N°3. 8. Tiempo de flujo de asfalto (seg)

$\%_{Asfaltos}$	$M_{Seca} + M_{Cemento}$	$T_{Asfalto}$ incl. % Desperdicios
1.0	101.0	0.99
1.5	151.5	1.49
2.0	202.0	1.98
2.5	252.5	2.48

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2010)

En una tabla resumen se muestran los datos suficientes y necesarios para lograr realizar la mezcla de RAP con asfalto espumado y fabricar las probetas Marshall.

Tabla N°3. 9. Resumen de datos necesarios para el diseño

Pavimento Asfaltico Recuperado (RAP)	
Masa seca de RAP	10,100 gr
Masa de agua a agregar.	292.5 gr.
Flujo másico fijo de asfalto.	112 gr./s
Flujo óptimo de agua para espumado	8.01 lt./h

Fuente: Elaboración Propia

Los últimos valores de la Tabla N°3. 9 son los parámetros que han de ir fijos en el laboratorio móvil WLB 10S (parámetros de calibración), para cada uno de los seis lotes escogidos de 10,100 gr.

3.5.2.2 Curado de la mezcla

Con los datos de la Tabla N°3. 8 y Tabla N°3. 9 se fabrican las probetas Marshall para RAP y asfalto espumado (ver Anexo N°3.5). Luego de 24h de su fabricación se desmoldan las seis probetas, realizados por cada % de asfalto inyectado (1 - 2.5%), para medir sus espesores y su volumen por desplazamiento en agua, para luego ser curados en horno por 72 horas a 40°C. Después tres de las probetas son retiradas del horno, para ser ensayados a Tracción Indirecta en seco y las tres restantes para sumergir en

baño maría a 25°C para el curado en húmedo por 24 h más. En resumen los resultados obtenidos se presentan en la Tabla N°3. 10.

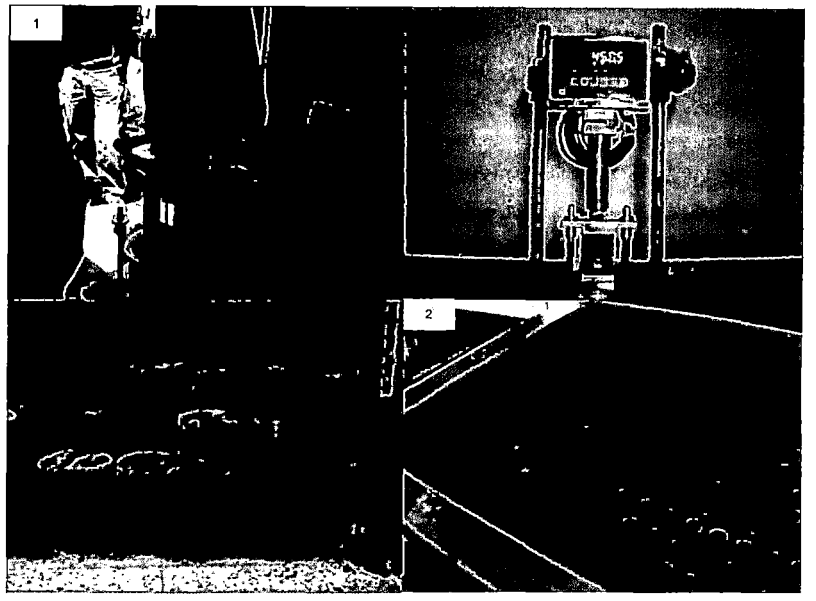


Figura N°3. 4. (1) Compactación Marshall (75 golpes por cara), ensayo de tracción indirecta y (2) curado de las mezclas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°3. 10. Resumen de resistencia a la tracción indirecta obtenidos de los diseños de mezcla

Contenido (%) de Asfalto Espumado	Densidad (gr/cm3)	Resistencia Tracción Indirecta		Resistencia Conservada (%)
		Condición Seca (min 200 Kpa)	Condición Húmeda (min 100 Kpa)	
1,00	2.261	338	319	94
1,50	2.243	350	292	83
2,00	2.228	375	297	79
2,50	2.518	408	337	83

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2010)

Como se puede apreciar, los resultados de la resistencia a la tracción indirecta (ensayo al que fueron sometidos los seis testigos moldeados de cada mezcla), sobrepasan los requerimientos mínimos exigidos de 200 Kpa en condición seca y 100 Kpa en condición húmeda (tres probetas para cada condición).

Asimismo, los resultados obtenidos en resistencia conservada (TSR) promedio deben ser el 70 % minimo de resistencia conservada, para

reciclados en zonas sobre los 3,000 m.s.n.m, asegurando así un óptimo comportamiento ante las gradientes terminas y precipitaciones severas que imperan esta zona (Fernández Machado, 2010).

El criterio de optimización de inyección de asfalto espumado utilizado para el presente diseño de mezclas, está basado en garantizar el soporte estructural del pavimento, de los coeficientes estructurales recomendado por Wirtgen y del diseño del pavimento para la carretera en estudio, es necesario asegurar el coeficiente estructural de 0.26/pulg, para un ITS de 300 Kpa (ver el Grafico N°3. 6), por lo que el contenido de inyección de asfalto se establece en 1.5%.

Por lo tanto el tipo de cemento asfaltico adecuado, por altitud y temperatura es PEN 85/100. El porcentaje de agua de espumacion 2.0% a 160°C. La mezcla ideal para implementar en pista es 1.00% de cemento Portland Tipo I, con 1.50% de asfalto espumado el aporte de material de base asegura mayores resistencias a la tracción indirecta, por el incremento del coeficiente de fricción.

3.6 DISEÑO ESTRUCTURAL

Para el diseño del pavimento de la vía AASHTO 1993 establece que la estructura de un pavimento debe satisfacer un determinado Número Estructural, el cual se calcula en función de los parámetros a desarrollar a continuación.

3.6.1 Parámetros generales de diseño

3.6.1.1 Periodo de diseño

El periodo de diseño a ser empleado en general es de 10 años para caminos de bajo volumen de tráfico, periodo de diseño por dos etapas de 10 años, y el periodo de diseño en una etapa de 20 años. Para conservaciones viales 5 años (caso de la carretera Conococha – Huaraz).

Tabla N°3. 11. Periodos típicos de diseño

Condiciones de Carreteras	Período de Análisis
Vías urbanas con alto volumen	30-50
Vías rurales con alto volumen	20-50
Pavimentadas con bajo volumen	15-25
Superficie granular con bajo volumen	10-20

Fuente: (AASHTO, 1993)

3.6.1.2 Tráfico (W_{18})

Para el cálculo del tráfico, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lbs (8.2 ton) acumulados durante el periodo de diseño. La Ecuación N°3. 13 puede ser usada para calcular el parámetro del tráfico W_{18}.

Ecuación N°3. 13 $$W_{18} = D_D \times D_L \times w_{18}$$

Donde:

W_{18} : Transito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton, en el carril de diseño.

D_D : Factor de distribución direccional

w_{18} : Ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones.

D_L : Factor de distribución por carril

El factor de distribución direccional D_D generalmente es 0.5 (50%) para la mayoría de las carreteras; sin embargo, este puede variar de 0.3 a 0.7 dependiendo de la incidencia de tráfico en una dirección. Los factores de distribución por carril, D_L, recomendados por AASHTO se muestran en la Tabla N°3. 12.

Tabla N°3. 12. Factor de distribución por carril DL

N° carriles en una dirección	%ESAL en carril diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: (AASHTO, 1993)

Para la carretera Conococha – Huaraz, el estudio de tráfico, fue monitoreado en las estaciones de Conococha, Catac y Ticapampa en el año 2010, para determinar el

IMDA. En cada estación se realizaron conteos de 7 días durante 24 horas. Los resultados obtenidos permitieron calcular el ESALs (ver la Tabla N°3. 13), el cual se utilizó para realizar el diseño estructural de pavimento.

Tabla N°3. 13. Número de ejes equivalentes de 8.2 ton

Tramo	Periodo de diseño (5 años)
Conococha - Cátac (km 491+760) - Pte Parco (km 536+176)	1.518×10^6
Catac –Huaraz (km 536+176) – Pte Tacllan (km 570+266)	2.303×10^6

Fuente: Elaboración Propia

3.6.1.3 Factor de confiabilidad (R)

Con el parámetro de Confiabilidad, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, duren como mínimo el periodo de diseño. De acuerdo a las características e importancia de la vía, por tratarse de una carretera longitudinal de la sierra, se recomienda, un nivel de confiabilidad de 90 %, que corresponde a arterias colectoras. El factor (R), muestra el grado de confianza al proceso de diseño que garantiza el rendimiento del pavimento proyectado.

Tabla N°3. 14. Niveles sugeridos de confiabilidad

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85-99,9	80-99,9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectores	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

Fuente: (AASHTO, 1993)

3.6.1.4 Desviación estándar normal (Z_r)

La desviación estándar normal está en función de la confiabilidad del proyecto (R%). En la Tabla N°3. 15 se muestran los valores de desviación estándar correspondiente a diferentes niveles de confiabilidad.

Tabla N°3. 15. Desviación standard del error combinado en la (Zr)

Confiabilidad (R %)	Desviación Estándar Normal (Zr)
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: (AASHTO, 1993)

3.6.1.5 Desviación estándar (S_0)

Es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento, como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de S_0 comprendidos entre 0.40 y 0.50. En el manual de MTC (MTC-2014) se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45 (utilizado para el diseño de pavimento en la carretera Conococha – Huaraz).

3.6.1.6 Módulo resilencia (M_r)

El Modulo de Resilencia es (Mr) es una medida de la rigidez del suelo de subrasante, el cual para su cálculo se empleará la ecuación, que correlaciona con el CBR, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide). En la Ecuación N°3. 14 se muestra la correlación entre CBR y Módulos de Resiliencia Mr.

Ecuación N°3. 14. $Mr\ (psi)=2555 \times CBR^{0.64}$

3.6.1.7 Pérdida de serviciabilidad

La serviciabilidad representa el confort o comodidad de circulación que la vía ofrece al usuario, su valor está comprendido entre 5 (condición máxima ideal) y 0 para una condición de completo deterioro.

La pérdida de serviciabilidad es la diferencia entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. La serviciabilidad inicial (p_o) es la condición que alcanza la vía inmediatamente después de ser construida y depende de la calidad de construcción, las condiciones topográficas y la estructuración del pavimento. El valor típico para una p_0 nuevo pavimento es de 4.5 a 3.8. Mientras que la serviciabilidad final (p_t) es la condición mínima que se espera alcanzar al concluir el periodo de diseño. Los valores recomendados de p_t son 3.0, 2.5 o 2.0 autopistas, caminos intermedios y caminos secundarios, respectivamente (Menéndez Acurio, 2013, pág. 79).

La guía AASHTO 93 usa la variación total del índice de serviciabilidad (ΔPSI) como criterio de diseño, que se define como:

Ecuación N°3. 15. $$\Delta PSI = p_0 - p_t$$

Donde:

p_0 : índice de serviciabilidad inicial

p_t : índice de serviciabilidad final, que es el más bajo índice tolerable antes de la rehabilitación.

3.6.1.8 Coeficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje es la relación que existe entre el módulo resilente en una condición de humedad optima con respecto al módulo para una cierta condición de humedad.

El valor 1.0 representa que las condiciones de drenaje son similares a las de la pista de prueba de AASHO, mientras que valores por encima de 1.0 se trata de condiciones mejores que las obtenidas durante la puesta de pruebas (Menéndez Acurio, 2013, pág. 80).

Tabla N°3. 16. Coeficiente de drenaje de bases y sub base granulares

Calidad del drenaje	Agua eliminada en	Humedades cercanas a la saturación			
		< 1%	1-5%	5 - 25%	>25%
excelente	2 horas	1.40 -1.35	1.35-1.30	1.30 -1.20	1.20
bueno	1 día	1.35 -1.25	1.25 -1.15	1.15-1.00	1.00
regular	1 semana	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
pobre	1 mes	1.15-1.05	1.05 0.80	0.80 -	0.60
muy pobre	no drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 -	0.40

Fuente: (AASHTO, 1993)

Tomando en cuenta las condiciones topográficas existentes, precipitaciones pluviales anuales medias y para un suelo de permeabilidad media en la carretera Conococha – Huaraz, se estimó para el diseño de la estructura del pavimento, que el pavimento estará expuesta a niveles cercanos a la saturación mayor al 25% (ver la Tabla N°3. 16), recomendándose los siguientes valores:

- Para la base reciclada m_2= 1.00
- Para la base granular m_3= 1.10
- Para la sub base granular m_4= 1.10

3.6.2 Diseño de espesor

3.6.2.1 Cálculo del número (SN)

El método AASHTO 1993 utiliza el número estructural SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinada capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad. Con cualquiera de las herramientas mencionadas como la Ecuación N°3. 16, el Monograma de la Figura N°3. 5 y el Software Aashto.exe, de diseño empírica usada en AASHTO 93, se busca el número estructural requerido para el proyecto en estudio.

Ecuación N°3. 16 Para calcular el número estructural requerido (SN_r)

$$\mathrm{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r S_0 + 9.36 * \mathrm{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\mathrm{Log}_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \mathrm{Log}_{10}(M_r) - 8.07$$

Donde:

W_{18} : Número Total de Ejes Equivalentes, para el período de diseño.

ΔPSI : $p_0 - pt$: Pérdida de serviciabilidad prevista

p_0 : Serviciabilidad inicial.

pt : Serviciabilidad final.

M_r : Módulo de Resilencia de la Subrasante

S_0 : Error estándar por efecto del tráfico y comportamiento

Z_r : Desviación Standard del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural.

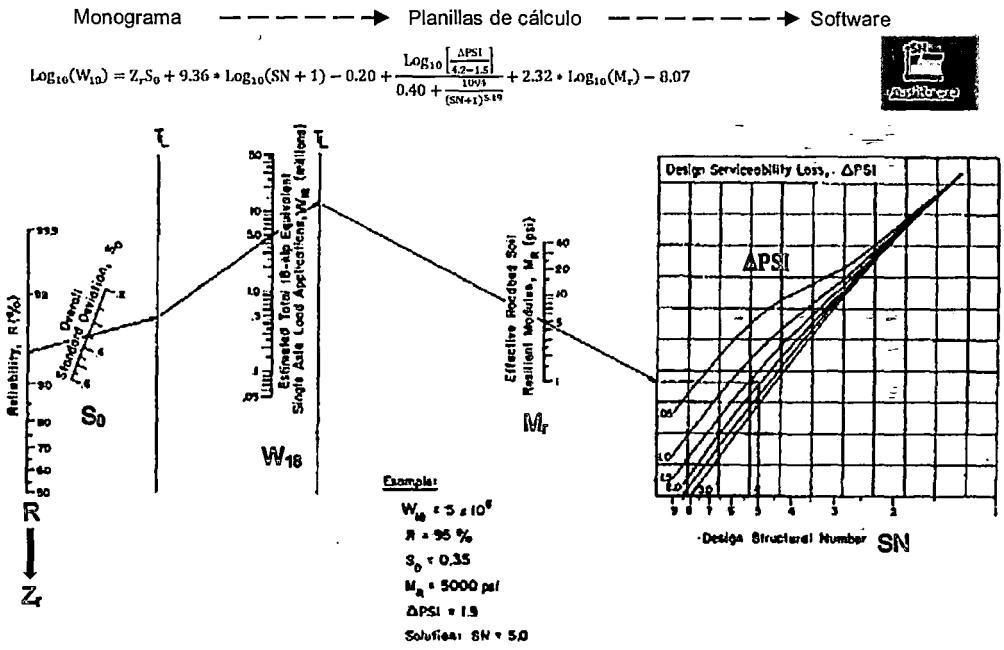


Figura N°3. 5. Evolución AASHTO en el cálculo de SN_r

Fuente: (AASHTO, 1993)

Una vez que se ha definido el Número Estructural de diseño (SN) para una estructura de pavimento inicial, es necesario identificar un grupo de espesores de capas de pavimentos, que cuando son combinados proporcionaran la capacidad de carga correspondiente al SN de diseño. La Ecuación N°3. 17 proporciona la base para convertir un SN en espesores reales de superficie, base y subbase.

Ecuación N°3. 17 $SN = a_1 d_1 + a_2 m_2 d_2 + a_3 m_3 d_3$

Donde:

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.

m_2, m_3 : Coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente.

d_1, d_2, d_3 : Espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente.

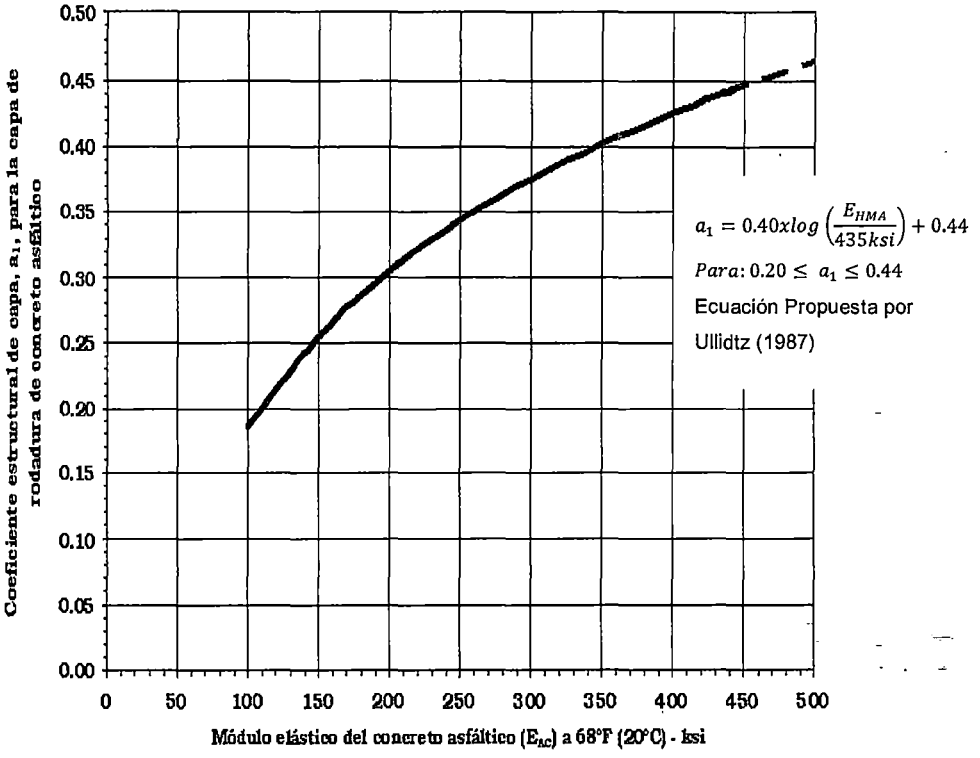
Según AASHTO 1993 la Ecuación N°3. 17 no tiene una solución única, es decir hay muchas combinaciones de espesores de cada capa que dan una solución satisfactoria. El Ingeniero Proyectista, debe realizar un análisis de comportamiento de las alternativas de estructuras de pavimento seleccionadas, de tal manera que permita decidir por la alternativa que presente los mejores valores de niveles de servicio, funcionales y estructurales, menores a los admisibles, en relación al tránsito que debe soportar la calzada.

Conocido el Número Estructural requerido (SN_r), deberá ser menor o igual al Número Estructural Total (SN) y que deberá satisfacer la estructura total del pavimento, el dimensionamiento, en general, se reduce a un problema de tipo aritmético, ya que, a_1, a_2, a_3, m_2 y m_3, son valores conocidos, y, d_1, d_2, d_3 son valores asumidos de tal manera que, efectuadas las operaciones indicadas en la Ecuación N°3. 17, se deberá cumplir con la siguiente desigualdad.

$$SN_{req} \leq SN_{Final} = SN_{Propuesto}$$

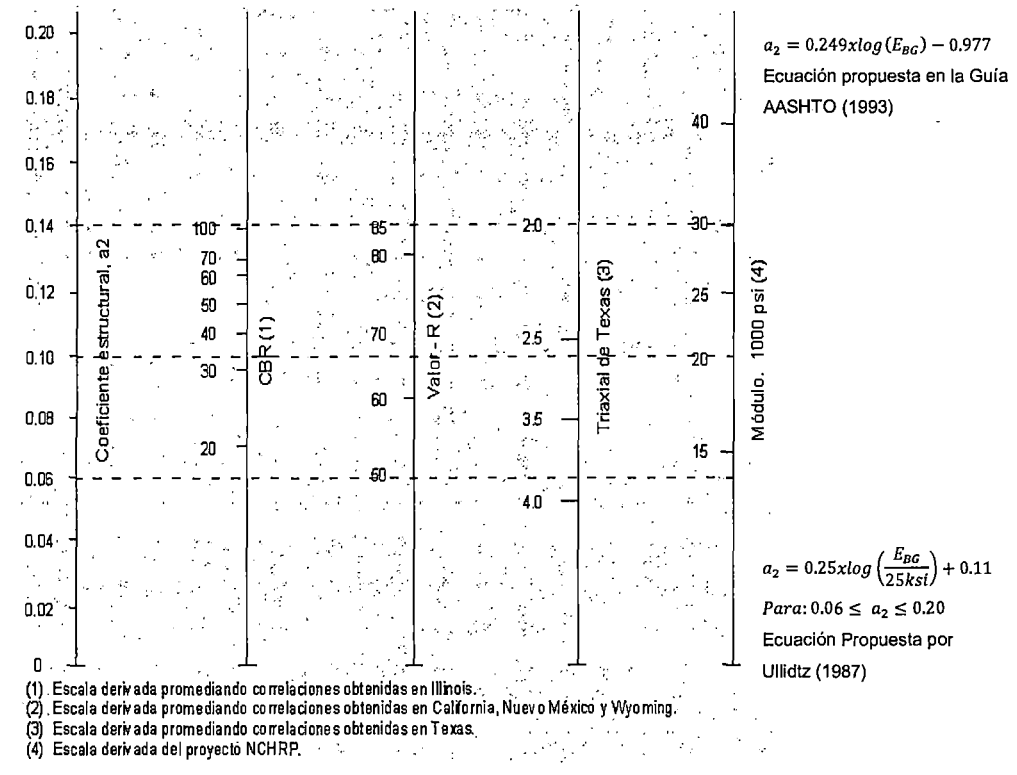
Para la obtención de los coeficientes estructurales de capa deberán utilizarse el Grafico N°3. 3, Grafico N°3. 4 y Grafico N°3. 5, en donde se representan valores de correlaciones hasta de cinco diferentes pruebas de laboratorio: Módulo Elástico, Texas Triaxial, CBR y Estabilidad Marshall. Para obtener el Coeficiente Estructural de Materiales Estabilizados con Asfalto Espumado se utilizó la Grafico N°3. 6.

Grafico N°3. 3. Coeficiente estructural de capa para el concreto asfáltico



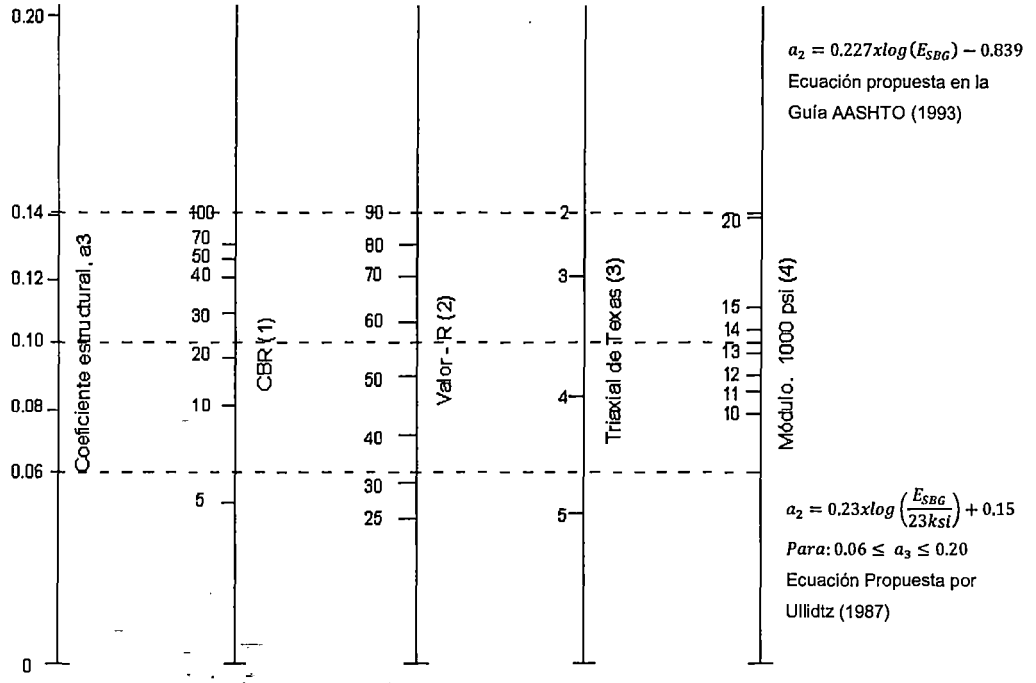
Fuente: (Vásquez Varela, 2014, pág. 40)

Grafico N°3. 4. Coeficiente estructural de capa para la base granular



Fuente: (Vásquez Varela, 2014, pág. 41)

Grafico N°3. 5. Coeficiente estructural de capa para la subbase granular



(1) Escala derivada de correlación obtenida en Illinois.
(2) Escala derivada de correlaciones obtenidas por el Asphalt Institute, California, New México y Wyoming.
(3) Escala derivada de correlaciones obtenidas en Texas.
(4) Escala derivada del proyecto NCHRP.

Fuente: (Vásquez Varela, 2014, pág. 43)

Grafico N°3. 6. Coeficiente estructural recomendado para materiales estabilizados con asfalto espumado

pro cm	0,051	0,063	0,083	0,103	0,120	0,140
pro inch	0,13	0,16	0,21	0,26	0,30	0,35
COEFICIENTES ESTRUCTURALES DESPUÉS DE LA ESTABILIZACION						
RANGOS REPRESENTATIVOS DE RIGIDEZ						
Rigidez Inicial Fase 1 (MPa)	500	750	1000	1500	2000	3000
Rigidez Permanente Fase 2 (MPa)	250	450	600	800	1000	1500
Resistencia a la tracción indirecta (kPa)	100	150	200	300	400	500

CARACTERÍSTICAS ESPERADAS DEL MATERIAL (DESPUÉS DE LA ESTABILIZACIÓN)

Nota:
1. Para un tráfico de diseño mayor a 300.000 ESALs la resistencia a la tracción indirecta (ITS) siempre debería obtenerse a partir de un diseño de mezclas en laboratorio.
2. Ver la tabla de abajo para una Razón de Tensiones adecuada (TSR)

Fuente: (Wirtgen GmbH, 2004, pág. 201)

3.6.2.2 Aplicación del método de diseño AASHTO 1993

Se verifico el diseño estructural del pavimento realizado en la fase pre operativa al aplicar el reciclado de pavimentos con la tecnología de asfalto espumado (RPTAE) con los parámetros definidos en la sección 3.6.1 , para un periodo de 5 años, en donde se estableció que la alternativa de colocar la base granular estabilizada con asfalto espumado y mortero asfaltico (micropavimento), según los espesores propuestos resultan los más adecuados para cubrir las solicitaciones de carga por tráfico, clima y geografía, que son característicos de la vía en estudio para ese periodo de diseño.

Para el caso de la técnica convencional se realizó el diseño estructural de pavimentos considerando los mismos parámetros definidos en la sección 3.6.1 , en donde se asumió colocar un base granular y en la carpeta de rodadura una mezcla asfáltica en caliente (MAC), la sub base granular para ambas técnicas es considerada inalterable, puesto que se ha mantenido la sub base existente del proyecto. Los coeficientes estructurales de los materiales considerados en el diseño estructural del pavimento de ambas técnicas se indican en la Tabla N°3. 17.

Tabla N°3. 17. Coeficiente estructural para ambas técnicas

Técnica convencional		**Técnica de RPTAE**	
Capas	**Coeficiente**	**Capas**	**Coeficiente**
Sub Base Granular	0.11	Sub Base Granular	0.11
Base Granular	0.13	Base Estabilizado	0.26
MAC	0.40	Mortero Asfaltico	0.00

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2010)

Elaboración Propia

El resumen del diseño estructural para la técnica del reciclado se detalla en la Tabla N°3. 18 y Tabla N°3. 19, en ella se observa los datos y resultados obtenidos de los espesores de la Base Estabilizada con Asfalto Espumado las cuales serán utilizados para el cálculo de metrado y presupuesto. Así mismo en la Tabla N°3. 20 y Tabla N°3. 21 se visualiza los datos y resultados obtenidos para la técnica convencional, que serán utilizados para realizar el análisis comparativo con la técnica de reciclado.

Tabla N°3. 18. Resumen de diseño estructural para RPTAE, tramo Conococha – Catac

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - METODOLOGIA AASHTO 1993								
TRAMO:	: CONOCOCHA - CATAC				**UBICACIÓN**	:ANCASH - PERU		
ENTIDAD	: MTC - PROYECTO PERU				**ALTERNATIVA**	:RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO		
CONSTRUYE	: CCT				**HECHO POR**	:HILARIO E. ABAD QUITO		
VARIABLES ANALIZADAS		ALTERNATIVA DE DISEÑO CON ASFALTO ESPUMADO						
		SECTOR 1	**SECTOR 2**	**SECTOR 3**	**SECTOR 4**	**SECTOR 4.1**	**SECTOR 5**	**SECTOR 6**
		491+760.00	496+980.00	505+980.00	512+300.00	512+770.00	529+580.00	534+970.00
		496+980.00	505+980.00	512+300.00	529+580.00	514+820.00	534+970.00	536+176.00
Longitud de Análisis	(m)	5,220	9,000	6,320	15,230	2,050	5,390	1,206
Periodo de Análisis	(años)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis	R (%)	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%
Desvacion Estándar Normal	Zr	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Variabilidad	S0	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
EAL para la 1° Etapa	W18	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06
Modulo Resilente de la Subrasante (Mr)	(psi)	8,181	9,839	7,932	8,799	9,615	6,513	11,727
Serviciabilidad Inicial	P0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Serviciabilidad Final	Pt	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Perdida de Serviciabilidad	ΔPSI	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Número Estructural Requerido	(SNr)	**3.49**	**3.26**	**3.52**	**3.40**	**3.29**	**3.78**	**3.06**
Solucion de la Formula	Log_{10} (W18)	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18
Solución de la Formula AASHTO		6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18
Comprobación		**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**
ESTRUCTURA EXISTENTE								
Coeficientes de Reduccion Estructurales								
Coeficiente de reduccion superficie de rodadura		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coeficiente de reduccion Base Granular	(CBR 80%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Coeficiente de reduccion Sub Base Granular	(CBR 30%)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11
Coeficiente de Drenaje								
Coeficiente de Drenaje Base Granular		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Coeficiente de Drenaje Sub Base Granular		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Espesores Existente del Pavimento								
Superficie de Rodadura	(cm)	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	2.00
Base Granular	(cm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Sub Base Granular	(cm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	25.00	20.00
Espesor total del Pavimento Existente	(cm)	**47.50**	**47.50**	**47.50**	**47.50**	**47.50**	**52.50**	**42.00**
Espesores a Retirar / Reciclar								
Adición de Material Granular	(cm)	3.00	3.00	3.00	3.00	0.00	3.00	3.00
Superficie de Rodadura	(cm)	7.50	7.50	7.50	7.50	0.00	7.50	2.00
Base Granular	(cm)	9.50	9.50	9.50	7.00	0.00	9.50	12.50
Sub Base Granular	(cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espesor total del Pavimento a Retirar	(cm)	**20.00**	**20.00**	**20.00**	**17.50**	**0.00**	**20.00**	**17.50**
Espesores Efectivos Remanentes								
Superficie de Rodadura	(cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Base Granular	(cm)	10.50	10.50	10.50	13.00	20.00	10.50	7.50
Sub Base Granular	(cm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	25.00	20.00
Espesor total Efectivo del Pavimento Existente	(cm)	**30.50**	**30.50**	**30.50**	**33.00**	**40.00**	**35.50**	**27.50**
SN eff Remanente (existente)		**1.54**	**1.54**	**1.54**	**1.68**	**2.17**	**1.78**	**1.38**
ESTRUCTURA PROPUESTA								
Coeficientes Estructurales								
Reciclado con Asfalto Espumado + Cemento		0.26	0.26	0.26	0.26	0.40	0.26	0.26
Coeficienes de Drenaje								
Coeficientes de Drenaje Base Reciclado		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Espesores Propuestos								
Micropaviemnto Tipo III	(cm)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Conservar la Carpeta Asfaltica Existente	(cm)					7.5		
Reciclado con Asfalto Espumado + Cemento	(cm)	20.00	20.00	20.00	17.50	0.00	20.00	17.50
SN calculado (a colocar)		**2.05**	**2.05**	**2.05**	**1.79**	**1.18**	**2.05**	**1.79**
SN final (Total)		**3.59**	**3.59**	**3.59**	**3.48**	**3.35**	**3.83**	**3.17**
Comprobación		**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**
ESPESOR TOTAL A COLOCAR	**(cm)**	**20**	**20**	**20**	**17.5**	**0**	**20**	**17.5**

Nota: El Micropavimento considrado dentro del dimensionamiento de espesores como la nueva superficie de rodadura tiene un coeficiente de aporte estructural despreciable: por lo tanto, no incide en el analisis del sistema de capas propuesto.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°3. 19. Resumen de diseño estructural para RPTAE, tramo Catac - Huaraz

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - METODOLOGIA AASHTO 1993								
TRAMO:	: CATAC-HUARAZ			**UBICACIÓN**	:ANCASH - PERU			
ENTIDAD	: MTC - PROYECTO PERU			**ALTERNATIVA**	:RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO			
CONSTRUYE	: CCT			**HECHO POR**	:HILARIO E. ABAD QUITO			
VARIABLES ANALIZADAS		ALTERNATIVA DE DISEÑO CON ASFALTO ESPUMADO						
		SECTOR 1	**SECTOR 2**	**SECTOR 3**	**SECTOR 4**	**SECTOR 5**	**SECTOR 6**	**SECTOR 7**
		536+176.00	537+050.00	538+550.00	546+550.00	560+150.00	564+000.00	567+700.00
		537+050.00	538+550.00	546+550.00	560+150.00	564+000.00	567+700.00	570+266.00
Longitud de Análisis	(m)	874.00	1500.00	8000.00	13600.00	3850.00	3700.00	2566.00
Periodo de Análisis	(años)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis	R (%)	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%
Desvacion Estándar Normal	Zr	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Variabilidad	S0	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
EAL para la 1° Etapa	W18	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06
CBR de Diseño a Nivel de Subrasante	(%)	23.00	17.32	17.70	20.84	22.94	21.50	56.70
Modulo Resilente de ka Subrasante (Mr)	(psi)	13805.15	19150.38	19422.44	13378.52	13793.85	13513.40	17708.41
Serviciabilidad Inicial	P0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Serviciabilidad Final	Pt	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Perdida de Serviciabilidad	ΔPSI	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Número Estructural Requerido	(SNr)	**3.09**	**2.74**	**2.72**	**3.12**	**3.09**	**3.11**	**2.82**
Solucion de la Formula	Log_{10} (W18)	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36
Solución de la Formula AASHTO		6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36
Comprobación		**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**
ESTRUCTURA EXISTENTE								
Coeficientes de Reduccion Estructurales								
Coeficiente de reduccion superficie de rodadura		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coeficiente de reduccion Base Granular	(CBR 80%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Coeficiente de reduccion Sub Base Granular	(CBR 30%)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Coeficiente de Drenaje								
Coeficiente de Drenaje Base Granular		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Coeficiente de Drenaje Sub Base Granular		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Espesores Existente del Pavimento								
Superficie de Rodadura	(cm)	3.00	3.00	4.00	3.00	5.00	5.00	4.00
Base Granular	(cm)	20.00	15.00	15.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Sub Base Granular	(cm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Espesor total del Pavimento Existente	(cm)	**43.00**	**38.00**	**39.00**	**43.00**	**45.00**	**45.00**	**44.00**
Espesores a Retirar / Reciclar								
Adición de Material Granular	(cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Superficie de Rodadura	(cm)	3.00	3.00	4.00	3.00	5.00	5.00	4.00
Base Granular	(cm)	17.00	14.00	13.00	17.00	12.00	12.00	13.00
Sub Base Granular	(cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espesor total del Pavimento a Retirar	(cm)	**20.00**	**17.00**	**17.00**	**20.00**	**17.00**	**17.00**	**17.00**
Espesores Efectivos Remanentes								
Superficie de Rodadura	(cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Base Granular	(cm)	3.00	1.00	2.00	3.00	8.00	8.00	7.00
Sub Base Granular	(cm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Espesor total Efectivo del Pavimento Existente	(cm)	**23.00**	**21.00**	**22.00**	**23.00**	**28.00**	**28.00**	**27.00**
SN eff Remanente (existente)		**1.122**	**1.009**	**1.065**	**1.122**	**1.403**	**1.403**	**1.347**
ESTRUCTURA PROPUESTA								
Coeficientes Estructurales								
Reciclado con Asfalto Espumado + Cemento		0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
Coeficienes de Drenaje								
Coeficientes de Drenaje Base Reciclado		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Espesores Propuestos								
Micropavimento Tipo III	(cm)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Reciclado con Asfalto Espumado + Cemento	(cm)	20.00	17.00	17.00	20.00	17.00	17.00	17.00
SN calculado (a colocar)		**2.05**	**1.74**	**1.74**	**2.05**	**1.74**	**1.74**	**1.74**
SN final (Total)		3.17	2.75	2.81	3.17	3.14	3.14	3.09
Comprobación		**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**
ESPESOR TOTAL A COLOCAR	(cm)	**20**	**17**	**17**	**20**	**17**	**17**	**17**

Nota: El Micropavimento considrado dentro del dimensionamiento de espesores como la nueva superficie de rodadura tiene un coeficiente de aporte estructural despreciable; por lo tanto, no incide en el analisis del sistema de capas propuesto.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°3. 20. Resumen diseño estructural técnica convencional, tramo Conococha - Catac

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - METODOLOGIA AASHTO 1993								
TRAMO:	: CONOCOCHA - CATAC			**UBICACIÓN**	:ANCASH - PERU			
ENTIDAD	: MTC - PROYECTO PERU			**ALTERNATIVA**	TECNICA CONVENCIONAL			
CONSTRUYE	: CCT			**HECHO POR**	:HILARIO E. ABAD QUITO			
VARIABLES ANALIZADAS		ALTERNATIVA DE DISEÑO TÉCNICA CONVENCIONAL						
		SECTOR 1	**SECTOR 2**	**SECTOR 3**	**SECTOR 4**	**SECTOR 4.1**	**SECTOR 5**	**SECTOR 6**
		491+760.00	496+980.00	505+980.00	512+300.00	512+770.00	529+580.00	534+970.00
		496+980.00	505+980.00	512+300.00	529+580.00	514+820.00	534+970.00	536+176.00
Longitud de Análisis	(m)	5,220	9,000	6,320	15,230	2,050	5,390	1,206
Periodo de Análisis	(años)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis	R (%)	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%
Desvacion Estándar Normal	Zr	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Variabilidad	S0	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
EAL para la 1° Etapa	W18	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06	1.52E+06
Modulo Resiliente de la Subrasante (Mr)	(psi)	8,181	9,839	7,932	8,799	9,615	6,513	11,727
Serviciabilidad Inicial	P0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Serviciabilidad Final	Pt	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Perdida de Serviciabilidad	ΔPSI	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Número Estructural Requerido	(SNr)	**3.49**	**3.26**	**3.52**	**3.40**	**3.29**	**3.78**	**3.06**
Solucion de la Formula	Log_{10} (W18)	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18
Solución de la Formula AASHTO		6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18	6.18
Comprobación		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
COEFICIENTE ESTRUCTURAL								
Coeficientes Estructurales								
Coeficiente de superficie de rodadura		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Coeficiente de Base Granular	(CBR 80%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Coeficiente de Sub Base Granular	(CBR 30%)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11
Coeficiente de Drenaje								
Coeficiente de Drenaje Base Granular		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Coeficiente de Drenaje Sub Base Granular		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
ESTRUCTURA PROPUESTA								
Espesores Propuestas								
Superficie de Rodadura (MAC)	(cm)	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
Base Granular	(cm)	25.00	25.00	25.00	25.00	20.00	27.50	25.00
Sub Base Granular	(cm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	25.00	20.00
Espesor total Efectivo del Pavimento	(cm)	52.50	52.50	52.50	52.50	47.50	60.00	52.50
SN Final (calculado)		3.54	3.54	3.54	3.54	3.35	3.92	3.54
SN Requerido		**3.49**	**3.26**	**3.52**	**3.40**	**3.29**	**3.78**	**3.06**
SN Propuesto		**3.54**	**3.54**	**3.54**	**3.54**	**3.35**	**3.92**	**3.54**
Comprobación		**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**
ESPESOR PROPUESTO (BASE GRANULAR)	(cm)	**25.00**	**25.00**	**25.00**	**25.00**	**20.00**	**27.50**	**25.00**

Nota: El coeficiente estructural de 0.40 y 7.5 cm de espesor para MAC fueron determinados en la evaluación estructural realizado en el sector 4.1 (se encontro en buen estado), estos valores se ha asumido para el diseño de espesor de la base granular en todo el tramo.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°3. 21. Resumen diseño estructural técnica convencional, tramo Catac - Huaraz

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - METODOLOGIA AASHTO 1993								
TRAMO:	: CATAC-HUARAZ				**UBICACIÓN**	:ANCASH - PERU		
ENTIDAD	: MTC - PROYECTO PERU				**ALTERNATIVA**	:TECNICA CONVENCIONAL		
CONSTRUYE	: CCT				**HECHO POR**	:HILARIO E. ABAD QUITO		
VARIABLES ANALIZADAS		ALTERNATIVA DE DISEÑO TÉCNICA CONVENCIONAL						
		SECTOR 1	**SECTOR 2**	**SECTOR 3**	**SECTOR 4**	**SECTOR 5**	**SECTOR 6**	**SECTOR 7**
		536+176.00	537+050.00	538+550.00	546+550.00	560+150.00	564+000.00	567+700.00
		537+050.00	538+550.00	546+550.00	560+150.00	564+000.00	567+700.00	570+266.00
Longitud de Análisis	(m)	874.00	1500.00	8000.00	13600.00	3850.00	3700.00	2566.00
Periodo de Análisis	(años)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Nivel de Confiabilidad para el periodo de análisis	R (%)	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%	90.00%
Desvacion Estándar Normal	Zr	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282	-1.282
Variabilidad	S0	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
EAL para la 1° Etapa	W18	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06	2.30E+06
CBR de Diseño a Nivel de Subrasante	(%)	23.00	17.32	17.70	20.84	22.94	21.50	56.70
Modulo Resilente de ka Subrasante (Mr)	(psi)	13805.15	19150.38	19422.44	13378.52	13793.85	13513.40	17708.41
Serviciabilidad Inicial	P0	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Serviciabilidad Final	Pt	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Perdida de Serviciabilidad	ΔPSI	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Número Estructural Requerido	(SNr)	**3.09**	**2.74**	**2.72**	**3.12**	**3.09**	**3.11**	**2.82**
Solucion de la Formula	Log_{10} (W18)	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36
Solución de la Formula AASHTO		6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36
Comprobación		**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**
ESTRUCTURA EXISTENTE								
Coeficientes de Reduccion Estructurales								
Coeficiente de reduccion superficie de rodadura		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Coeficiente de reduccion Base Granular	(CBR 80%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Coeficiente de reduccion Sub Base Granular	(CBR 30%)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Coeficiente de Drenaje								
Coeficiente de Drenaje Base Granular		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Coeficiente de Drenaje Sub Base Granular		1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
ESTRUCTURA PROPUESTA								
Espesores Propuestas								
Superficie de Rodadura	(cm)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Base Granular	(cm)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Sub Base Granular	(cm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Espesor total Efectivo del Pavimento Existente	(cm)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
SN Final (calculado)		3.148	3.148	3.148	3.148	3.148	3.148	3.148
SN Requerido		**3.09**	**2.74**	**2.72**	**3.12**	**3.09**	**3.11**	**2.82**
SN Propuesto		**3.15**	**3.15**	**3.15**	**3.15**	**3.15**	**3.15**	**3.15**
Comprobación		**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**	**OK**
ESPESOR PROPUESTO (BASE GRANULAR)	(cm)	**25.00**	**25.00**	**25.00**	**25.00**	**25.00**	**25.00**	**25.00**

Nota: Se considero para el diseño estrucutral un Coeficiente Estructural de 0.40 y Espesor 5.0 cm para MAC, obtenidos de la evaluacion estructural realizados en la fase Pre Operativa

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE LA CARRETERA CONOCOCHA - HUARAZ

4.1 ANTECEDENTES

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones es el Organismo encargado de administrar, ejecutar, operar y conservar el patrimonio vial a través de sus órganos competentes mediante, residencias Departamentales, Regionales y unidades ejecutoras (llamado SINMAC antes), actualmente Provias Nacional, cuya actividad la realizaba a través de administración directa es decir con recursos propios (mano de obra, equipos e insumos); este sistema presentaba muchas deficiencias tanto en dirección Técnica, equipos e insumos lo que hacía que las intervenciones se desfasaran en el tiempo y las carreteras colapsaran en el tiempo, esto conllevaba a que tramos de carretera se rehabilitaran dos y hasta tres veces.

En el año 2007, se crea en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones: El Programa de Infraestructura Vial "Proyecto Perú", como un Programa de conservación y desarrollo de Infraestructura Vial que implementa un Nuevo Sistema de Gestión Vial en el País; entendiéndose por Gestión Vial, a la Construcción, Rehabilitación, Mejoramiento, Conservación, Atención de

Emergencias Viales, Relevamiento de Información y Operación de la Red Vial Nacional.

El "Proyecto Perú" implementa un sistema de actividades de conservación de infraestructura vial, mediante contratos en los cuales las prestaciones se controlan por niveles de servicio y plazos iguales o superiores a tres años, que se pagan por resultados y no por volumen de trabajo. Este sistema desarrolla una cultura preventiva para evitar el deterioro prematuro de las vías mediante intervenciones rutinarias y periódicas con los recursos económicos necesarios. Esto significa actuar permanentemente para mantener las carreteras en óptimas condiciones. Asimismo, desarrolla la innovación tecnológica con el uso de estabilizadores en las actividades de colocación de pavimentos básicos que son una tecnología intermedia entre afirmado y asfaltado tradicional, el mismo que busca incrementar el tráfico en los corredores.

Asimismo el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través del Proyecto especial de Infraestructura de Transportes Nacional – Provias Nacional, convocó a concurso Público N° 0034-2009-MTC/20, para la contratación del Servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera EMP 1N - Conococha – Huaraz – Caraz – Molinopampa y EMP 3N – Chiquian – Aquia – EMP 3N., con un valor referencial a S/. 180, 589,203.58 incluido el IGV a precios de Junio 2009 y con una vigencia por un periodo de 5 años.

Como resultado del citado concurso, se adjudicó la buena Pro al Consorcio Cosapi – Translei (conformado por las empresas Cosapi S.A. y Translei S.A.), suscribiéndose el contrato de Servicios N°013-2010-MTC/20 el 21 de Enero del. Año 2010 por un monto ascendente a S/. 175´638,809.40 incluido el IGV. Por consiguiente, de acuerdo al artículo 184 del Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado, aprobado por D.S. N° 184-2008-EF, el inicio del plazo de obra comienza el día 02 de Marzo del año 2010 quedando señalada como fecha de inicio de la vigencia del contrato, siendo el plazo de vigencia del contrato de 05 años, el término de la misma es fijado para el 02 de Marzo del año 2015 (MTC, 2010).

4.2 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

4.2.1 Ubicación

La carretera Conococha - Huaraz se encuentra ubicado en el Departamento de Ancash, Provincias de Recuay y Huaraz. Esta vía tiene como punto de inicio en el km 491+760 (Ruta PE-3N) en el centro poblado de Conococha que empalma con el Km 122+285.95 (Ruta PE-16) de la carretera Pativilca – Conococha perteneciente a las Provincias de Barranca y Bolognesi; y finaliza en el Km 570+260 al final del Puente Tacllan de la Provincia de Huaraz.

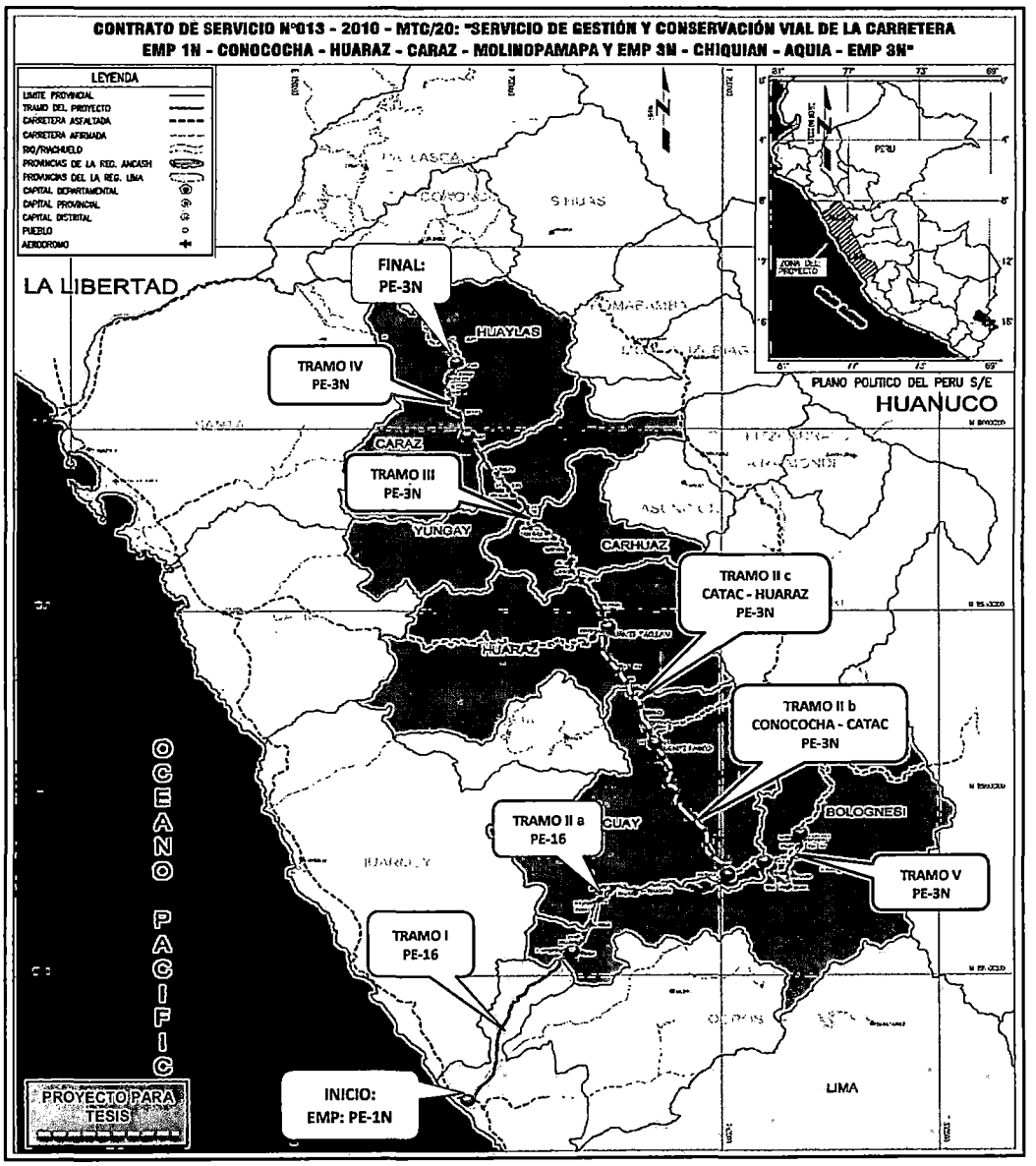


Figura N°4. 1. Plano de ubicación de carretera Conococha - Huaraz

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

4.2.2 Coordenadas y altitud

Las ubicaciones georreferénciales y longitudes referenciales de los puntos notables del Corredor Vial han sido tomadas mediante un GPS (Instrumento de la DGCF) y un Odómetro (Instrumento de Provias Nacional),replanteados en campo, junto con la Jefatura Zonal, Supervisión y el Contratista Conservador (Consorcio Cosapi - Translei), en donde se han determinado los puntos geo ubicados del inicio y final del Corredor Vial correspondientes al Punto Conococha y a Inicio de Zona Urbana (ZU) de la Provincia de Huaraz (Pte.Tacllan), en la cual se determinaron las coordenadas geográficas de la vía (ver Cuadro N°4. 1).

Cuadro N°4. 1. Georreferenciación de los puntos notables del corredor vial

Lugar	Ruta	Km	Longitud	Latitud	Altitud
Punto Conococha	PE-3N	491+760	-77.293325595	-10.121944311	4096.511
Inicio ZU-Huaraz (Pte.Tacllan)	PE-3N	570+266	-77.531781008	-9.540744375	3052.324

Fuente: (DGCF, 2014)

Elaboración Propia

4.2.3 Condiciones climáticas

La temperatura mínima promedio multianual presenta variaciones entre los 14 y 16 °C en la parte baja de la Cuenca, adyacente al mar (Provincia de Santa). En la parte media, en el valle, la temperatura mínima anual oscila entre 4 y 14 °C, y en las partes ubicadas por encima de los 4,000 m.s.n.m, correspondiente a las nacientes del Río Santa (sector Sur) y las áreas glaciares, la temperatura mínima es menor a 4 °C. La precipitación total multianual presenta valores desde 5 mm /año (parte baja de la cuenca, zona costa), hasta 1,400 mm/año (parte alta de la cuenca del Río Santa - Conococha) (SENAMHI,1988).

4.3 CLASIFICACIÓN DE LA VÍA

Según su funcionalidad, la carretera pertenece a la Ruta Nacional (PE-3N), específicamente a la carretera longitudinal de la sierra, está clasificada como una carretera que pertenece a la Red Vial Nacional (RNV).

De acuerdo a la demanda la carretera Conococha – Catac, corresponde a una clasificación de segundo clase cuyo IMDA (2000 - 400 veh/dia), en tanto que la carretera Catac – Huaraz tiene un IMDA (4000 – 2001) veh/día, que pertenece a una clasificación de primera clase. Los datos de IMDA fueron tomados del ultimo relevamiento de información (ver Cuadro N°4. 9), en tanto que para la clasificación de orografía corresponde a tipo2 (ondulado).

4.4 SITUACIÓN PREVIA A LA CONSERVACIÓN PERIODICA DE LA VÍA

Los procesos y procedimientos técnicos a los que, esta modalidad de contratación (contrato por niveles de servicio) exige en la fase Pre Operativa y fase Operativa, se mencionan en líneas abajo.

Fase Pre Operativa.- En esta etapa se realizo el diseño y elaboración del programa de conservación vial que contempla las siguientes tareas.

- Elaboración de plan de conservación vial
- Elaboración del plan de manejo socio ambiental
- Elaboración del inventario vial de la situación inicial de las rutas
- Elaboración del plan de calidad para la ejecución de los servicios.

Fase Operativa:- En esta etapa se implementó y se puso en marcha el programa de conservación vial, el cual consta de las siguientes tareas.

- Conservación periódica y/o puesta a punto
- Atención de emergencias viales hasta garantizar la transitabilidad
- Relevamiento de información
- Elaboración de informes mensuales e informes finales
- Implementación y puesta en marcha del plan de manejo ambiental y social

Para facilitar el proceso constructivo en el mantenimiento periódico el tramo en estudio se divide en dos sub tramos llamados, tramo Conococha – Catac y tramo Catac – Huaraz, en donde se trabajó de manera independiente.

4.4.1 Evaluación estructural

4.4.1.1 Deflectometria

En el tramo investigado se realizó una evaluación estructural "No Destructiva" del pavimento, lo cual implico en la medición de las deflexiones recuperables en los dos carriles a lo largo del Corredor Vial. La medición de las deflexiones se llevó a cabo mediante el uso de la Viga Benkelman, dando cumplimiento así a las exigencias contractuales estipuladas en los términos de referencias del presente proyecto en estudio.

La metodología "No Destructiva" se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un Pavimento. Estas deflexiones reflejan una respuesta global del sistema Pavimento – Subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápido y económica y no destructiva, es decir, no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema.

En particular para medir las deflexiones en la superficie del pavimento se ha utilizado una Viga Benkelman bajo la carga de un eje posterior de 8.2 toneladas y presión inflado de 75 a 85 psi. La Viga Benkelman, funciona como una palanca que rota alrededor de un eje fijo, fue usada para medir las deflexiones a varias distancias del eje de la carga obteniendo la carga de deflexiones.

Se midieron deflexiones cada 50m alternados por carril. Las deflexiones calculadas o caracteristicas (Dc) para los tramos en estudio se sectorizó agrupando por órdenes de grandeza, obteniendo las deflexiones características correspondientes a cada subtramo, ya afectadas por la corrección de temperatura para capa de rodadura. Los resultados se compararon con la deflexión máxima admisible, que para los tramos Conococha - Catac y Catac - Huaraz, resulto ser de 93.0×10^{-2} mm, 84.0×10^{-2} mm, respectivamente, valor obtenido partiendo de los resultados del estudio de tráfico que proyecta un tráfico al año 2015 de 1.518×10^{6} millones de ejes equivalentes para el tramo Conococha - Catac y para el tramo Catac - Huaraz de 2.303×10^{6} millones de ejes equivalentes (ver la sección 4.4.4).

En el Cuadro N°4. 2 y Cuadro N°4. 3 se observa los resultados por sector de cada uno de los tramos de deflexiones características y radio de curvatura que fueron obtenidos en la fase pre operativo del proyecto. Adicionalmente para el presente proyecto se utilizó el modelo de Hogg para calcular los módulos elásticos de los materiales. El modelo caracteriza a las capas del pavimento como placas de espesor delgado, con una rigidez a la flexión determinada. La subrasante está representada por un medio elástico, lineal, homogéneo e isotrópico.

Cuadro N°4. 2. Sectorización deflectométrica

Tramo	Sector N°	Sector	Deflexión Característica de (0.01 mm)
Tramo: Conococha - Catac	1	KM 491 +760 - KM 496+980	100
	2	KM 496+980 - KM 505+980	75
	3	KM 505+980 - KM 512+3050	104
	4	KM 512+305-KM 529+580	97
	5	KM 529+580 - KM 534+780	133
	6	KM 534+780 - KM 536+176	69
Tramo: Catac - Huaraz	1	Km. 536+180 - Km. 537+050	101
	2	Km. 537+050 - Km. 538+550	130
	3	Km. 538+550 - Km. 546+550	105
	4	Km. 546+550 - Km. 560+150	97
	5	Km. 560+150- Km. 564+000	112
	6	Km. 564+000 - Km. 567+700	94
	7	Km. 567+700 - Km. 570+200	107

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

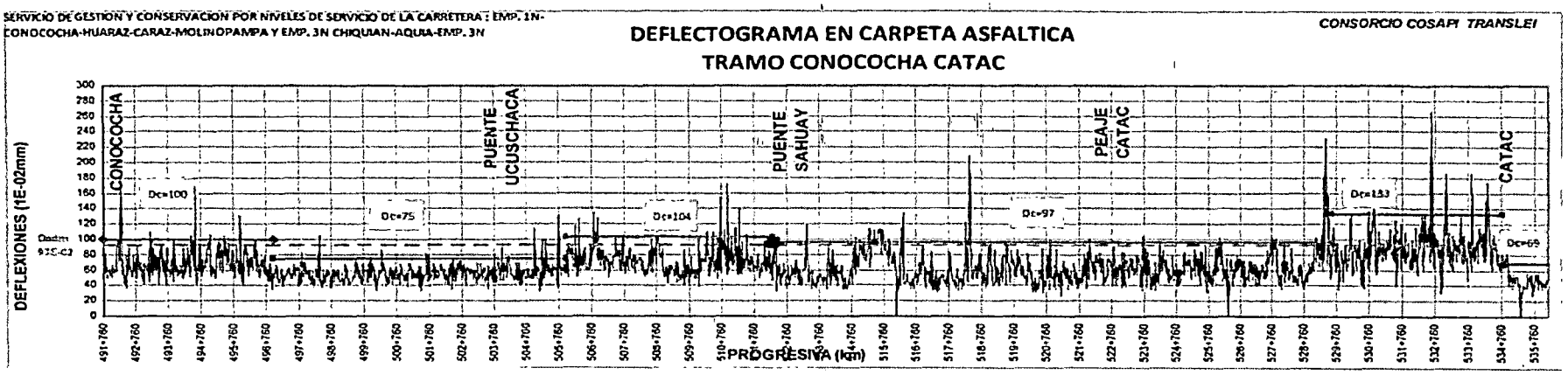
Cuadro N°4. 3. Sectorización radio de curvatura

Tramo	Sector N°	Sector	Radio de Curvatura Re (cm.)
Tramo: Conococha - Catac	1	KM 491 +760 - KM 496+980	186
	2	KM 496+980 - KM 505+980	168
	3	KM 505+980 - KM 512+3050	149
	4	KM 512+305-KM 529+580	188
	5	KM 529+580 - KM 534+780	141
	6	KM 534+780 - KM 536+176	192
Tramo: Catac - Huaraz	1	Km. 536+180 - Km. 537+050	195
	2	Km. 537+050 - Km. 538+550	165
	3	Km. 538+550 - Km. 546+550	181
	4	Km. 546+550 - Km. 560+150	213
	5	Km. 560+150- Km. 564+000	166
	6	Km. 564+000 - Km. 567+700	176
	7	Km. 567+700 - Km. 570+200	140

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

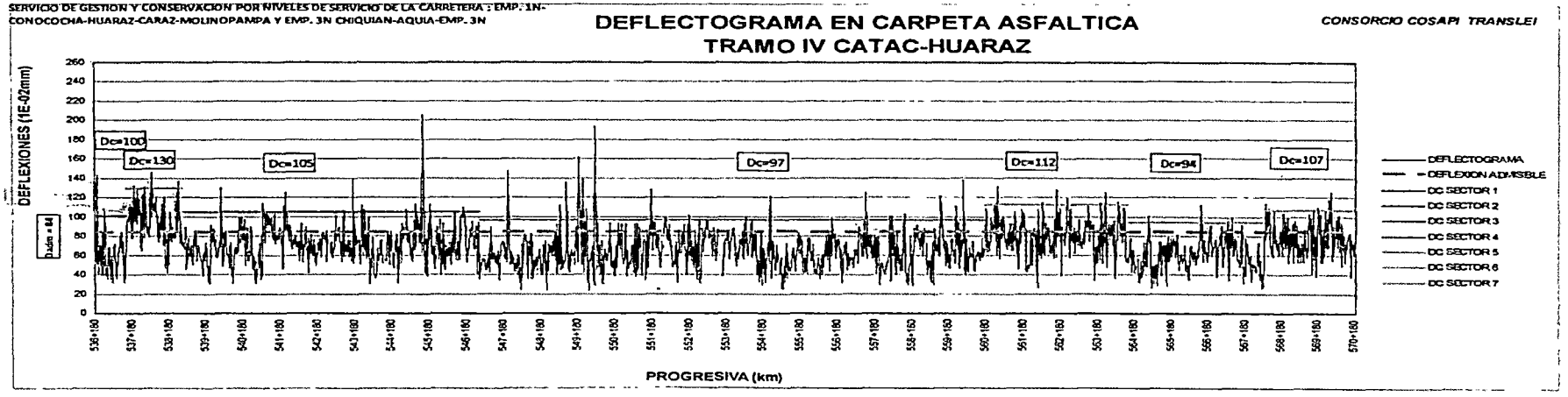
En el Grafico N°4. 1 y Grafico N°4. 2 se presenta la evolución de la deflectometría a lo largo del corredor vial del tramo Conococha - Catac y tramo Catac - Huaraz, Por su parte, en el Grafico N°4. 3 y Grafico N°4. 4 se observa la variación del estado del radio de curvatura de la vía en los tramos citados.

Grafico N°4. 1. Deflectograma en carpeta asfáltica tramo Conococha - Catac



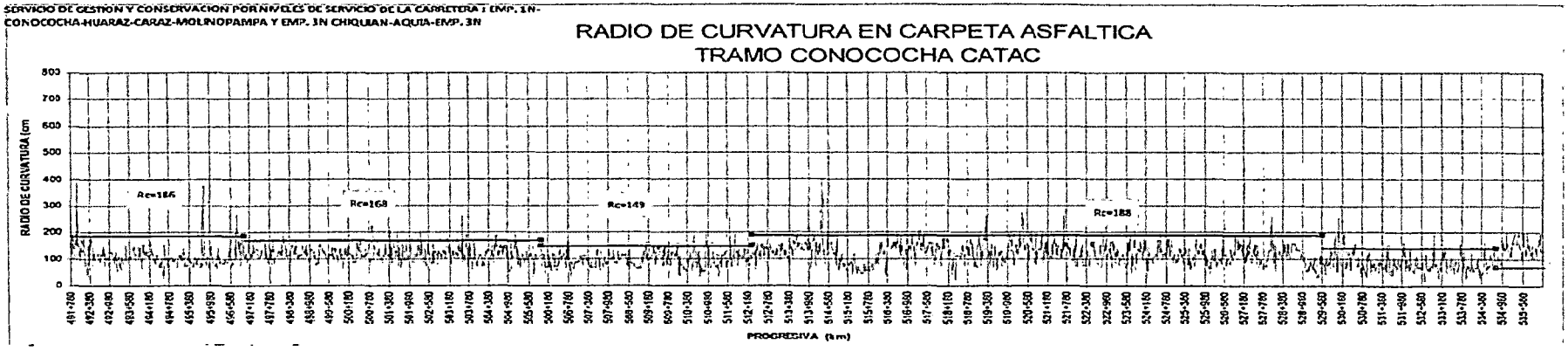
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Grafico N°4. 2. Deflectograma en carpeta asfáltica tramo Catac - Huaraz



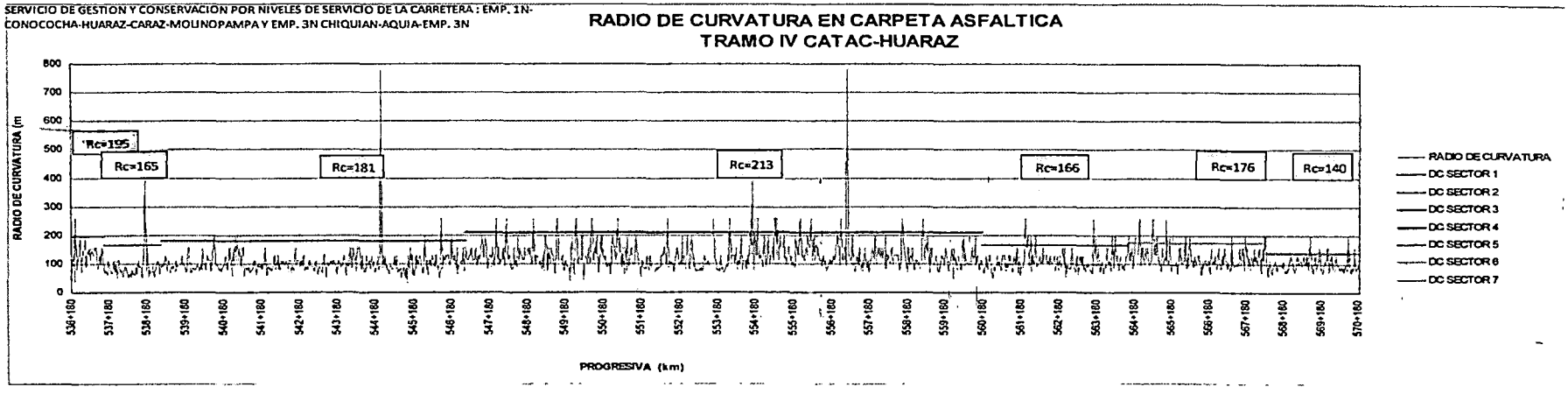
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Grafico N°4. 3. Radio de curvatura tramo Conococha - Catac



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Grafico N°4. 4. Radio de curvatura tramo Catac - Huaraz



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

4.4.1.2 Estudios Geotécnicos

En la investigación Geotécnica se ejecutó una batería de pozos de exploración a cielo abierto (Calicatas) de 1.50 m de profundidad en cada kilómetro. También se ejecutaron calicatas superficiales de 30 cm de profundidad cada 0.50 km. Adicionalmente, se realizaron calicatas, de 1.50 m de profundidad, en los lugares en los que la evaluación deflectométrica arrojaba valores de deflexiones altas, por encima de la deflexión admisible para capa de rodadura de este tramo (ver la sección 4.4.1.1).

Para el tramo Conococha - Catac se ejecutaron en total 45 calicatas profundas, 17 calicatas críticas, indicadas según puntos altos de deflexión y 45 calicatas superficiales para caracterización del material de capa de rodadura. En total 107 calicatas a lo largo de los 44.416 km que compone este primer tramo y para el tramo Catac - Huaraz se ejecutaron en total 35 calicatas profundas, 14 calicatas criticas indicadas según puntos altos de deflexión y 29 calicatas superficiales para caracterización del material de capa de rodadura. En suma 78 calicatas a lo largo de los 34.090 km que compone este segundo tramo. Estas calicatas se excavaron alternadamente en el lado izquierdo, eje y lado derecho de la vía. Los ensayos realizados fueron hechos utilizando el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del Ministerio Transporte y Comunicaciones (EM-2000) (ver el Anexo N°3.1).

4.4.2 Evaluación funcional

La evaluación de la condición funcional de la capa de rodadura de la carretera Conococha - Catac indico una transitabilidad "Mala", para ambas carriles en donde se obtuvo niveles nítidamente desaprobatorios de rugosidad, en el cual la vía del tramo Conococha - Catac tuvo un IRI generalizado para ambas carriles, de 6.13 m/km, con un valor de PSI igual a 1.64 m/km, que corresponde a una transitabilidad "Mala". Para el tramo Catac - Huaraz indico una transitabilidad "Regular" para ambos carriles en donde se tuvo niveles de IRI inadmisibles, encontrándose la vía en permanente proceso de deterioro, ocasionando una des mejoría acelerada de este parámetro medidor del confort, vinculada directamente con la rugosidad. Determinado el IRI para

cada carril se tuvo valores de IRI de 4.05 m/km y 4.30 m/km, carril derecho e izquierdo respectivamente, muy por encima del admisible 2.5, arrojando PSI de 2.39 y 2.29 (ver Cuadro N°4. 4). Señalando una transitabilidad "Regular" en franco proceso de deterioro, al disponerse de una serviciabilidad entre rango, se indicó que el tramo Catac - Huaraz requería de una intervención en la superficie de rodadura para otorgarle una regularidad superficial satisfactoria. Todo los cálculos fueron respaldados por las consideraciones de la AASHTO, situación que corrobora la necesidad de realizar una intervención en la superficie de rodadura, a fin de mejorar el confort y seguridad de la vía para el usuario, reduciendo en consecuencia los costos de operación de los vehículos que transitan por el tramo estudiado.

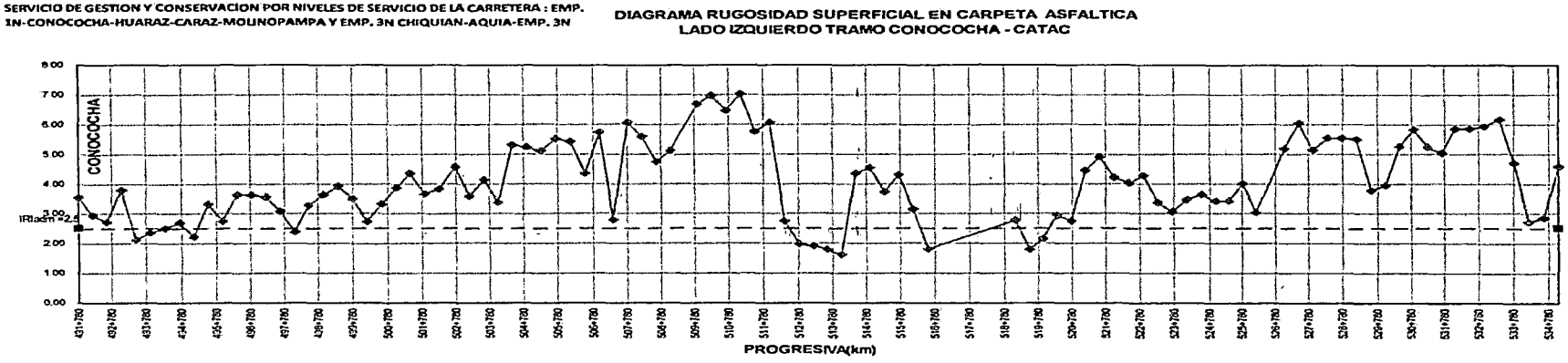
En general al disponerse de un valor de servisiabilidad menor de 2 para el caso del tramo Conococha - Catac y serviciabilidad entre rango para el caso del tramo Catac - Huaraz, se indicó que la vía estudiada requería de una intervención en la superficie de rodadura para otorgarle una regularidad superficial satisfactoria. En el Grafico N°4. 5 y Grafico N°4. 6 se observa, el IRI calculado en la fase pre operativa del proyecto, está por encima del IRIadm. Finalmente, luego de que se analizara el estado de la carretera se concluyó que se encontraba en estado "Mala" de conservación y que era necesaria una intervención periódica, para así evitar que el deterioro del pavimento se expanda de manera exponencial y en consecuencia, se pierda la inversión inicial.

Cuadro N°4. 4. Resultado de rugosidad (IRI) característico y serviciabilidad (PSI)

Tramo	Sector Evaluado				IRIc (m/km.)	(PSI)	Transitabilidad
	Sentido	Progresivas					
		Inicio	Fin	Long (Km.)			
II b	Conococha - Catac	497+760	536+176	44.3	6.13	1.64	Mala
II c	Cátac - Huaraz (der)	536+176	570+266	34.1	4.05	2.39	Regular
II c	Cátac - Huaraz (izq.)	536+176	570+266	34.1	4.30	2.29	Regular

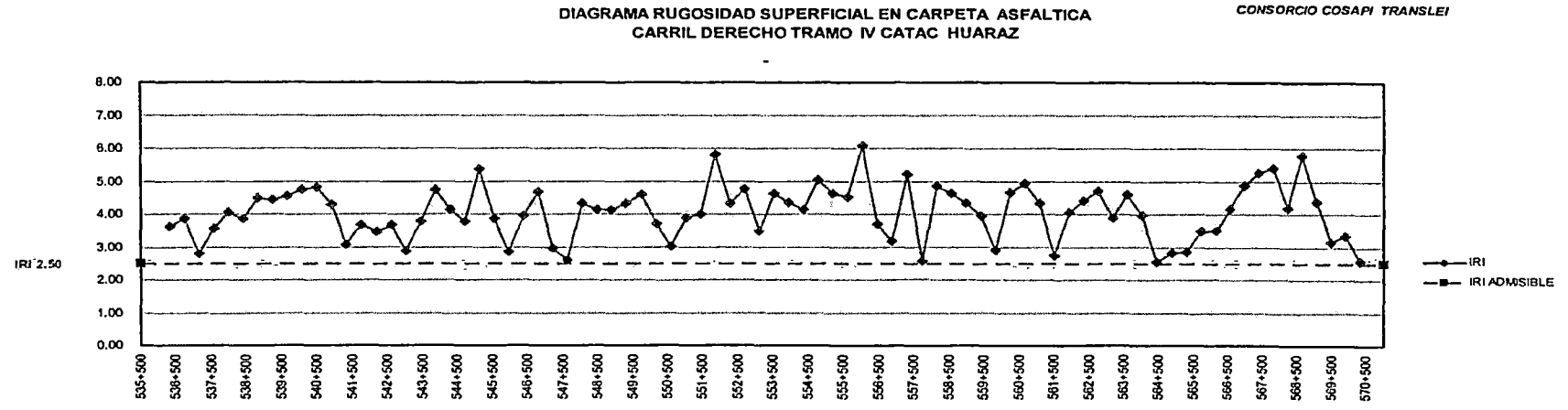
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Grafico N°4. 5. Diagrama de rugosidad superficial en carpeta asfáltica tramo Conococha - Catac



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Grafico N°4. 6. Diagrama de rugosidad superficial en carpeta asfáltica tramo Catac - Huaraz



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

4.4.3 Estudio de canteras y fuentes de agua

Para realizar los trabajos de reciclado en la carretera en estudio, se vio por conveniente seleccionar canteras que generaran materiales aptos para la construcción de las obras a realizar (ver Cuadro N°4. 5). Con este propósito la cantera se identificó, tanto por la calidad de su depósito, como por la cercanía a la zona de interés, de manera que pudiera ser funcional al proyecto.

Para establecer la caracterización de la fuente de materiales, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio sugeridos por las Especificaciones Generales de Construcción EG - 2000; granulometría, límites de consistencia, peso específico, absorción a los agregados gruesos y finos, proctor modificado, abrasión en la máquina de los ángeles, partículas chatas y alargadas, equivalente de arena, CBR.

Para la presente investigación se utilizó la Cantera Tuco (ver Anexo N°4. 1), en análisis de presupuesto, ya que esta cantera fue utilizada en el mantenimiento periódico de la vía, como fuente de abasto de material granular que se colocó en la superficie del pavimento al aplicar la técnica de reciclado.

Cuadro N°4. 5. Canteras utilizadas en el mantenimiento periódico

Tramo	Canteras	Ubicación (KM)	Lado	Usos	Observaciones
Tramo Conococha - Catac	Tuco	485+130	LD	Base Granular	Acceso 843 m
Tramo Catac - Huaraz	Recuay 1	547+380	LD	Mortero Asfaltico	Acceso 300 m
	Recuay 2	548+480	LD	Mortero Asfaltico	Acceso 300 m

Fuente: Elaboración Propia

Referente a fuentes de agua se procedió a su ubicación y a la toma de muestras representativas Las mismas que fueron remitidas a un laboratorio químico especializado de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) para los correspondientes ensayos de calidad. En el Cuadro N°4. 6 se presenta la relación de fuentes de agua permanente, las mismas que fueron sometidas a ensayos químicos con la finalidad de determinar si presentan cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis,

sales, como cloruro o sulfatos, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser nocivos para los materiales que componen el pavimento.

Cuadro N°4. 6. Fuentes de agua usados en el mantenimiento periodico

Tramo	Muestra	Fuente de Agua	Ubicación (KM)	Observaciones
Tramo Conococha - Catac	M-1	Laguna Conococha	491+780	lado derecha 1.5 km
	M-2	Rio Santa	506+180	lado derecho 1.5 km
	M-3	Rio - curso de agua	516+120	2 km
	M-4	Rio - curso de agua	520+250	2 km
	M-5	Rio Pachacoto	529+700	2 km
	M-6	Rio Santa	539+910	lado derecho 0.5 km
Tramo Catac - Huaraz	M-1	Rio Santa	550+603	lado derecha 0.5 km
	M-2	Rio	589+860	lado derecho 0.5 km

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

4.4.4 Estudio de trafico

Para la determinación del tráfico se desarrolló un conteo sistemático de tráfico y clasificación vehicular en las estaciones mostradas en el Cuadro N°4. 7, las cuales fueron establecidas conjuntamente en coordinación con Provías Nacional. En cada estación se realizaron conteos de 7 días durante 24 horas. Los conteos proporcionaron información sobre la cantidad y composición del tráfico. Además se realizó censos de carga por tipo de vehículo y por eje, durante 4 días por periodos de 12 horas consecutivas, los que permitieron analizar los factores de carga reales actuantes sobre el pavimento, la presión de llantas para obtener el factor de ajustes a los factores de carga y el factor carril y direccional de carga que permitió determinar, para el diseño de pavimentos, el número de ejes equivalentes de 8.2 tn y el número de repeticiones de ejes equivalentes para el periodo de diseño así como la composición de tráfico.

Para el caso de la carretera Conococha - Huaraz, se utilizó la estación de medición E3 Catac, lugar donde se realizaron los censos de carga y las encuestas de origen y destino (O/D) por un tiempo de 24 horas. La encuesta incluye el tipo de vehículo, marca, modelo, año número de asientos, número

de ocupantes, tipo de combustible, origen, destino, propósito de viaje, frecuencia de viaje, peso vacío, peso cargado, carga útil, producto transportado, costo de viaje al usuario (pasajeros y/o carga transportada).

Cuadro N°4. 7. Estaciones de conteo usados en todo el proyecto

Estación Conteo	Puntos Referencia (PR)	Distancia del PR al Punto	Ruta	Tramo	
E2 Conococha	122	100	PE-16		Km 64+000 - Conococha - Huaraz: Sub Tramo II.a Km 64+000 - Conococha
E3 Catac	542	550	PE-3N	Tramo II:	Km 64+000 - Conococha - Huaraz: Sub Tramo II.b Km Conococha - Catac
E4 Ticapampa	548	100	PE-3N		Km 64+000 - Conococha - Huaraz: Sub Tramo II.c Km Catac - Huaraz

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Los ejes equivalentes se han calculado para varios periodos de diseño, pero para el presente proyecto se utilizó el resultado obtenido para 5 años, por ser un proyecto de gestión y mantenimiento por niveles de servicio. En el Cuadro N°4. 8 y Cuadro N°4. 9 se visualiza los ejes equivalentes y IMDA calculados para el corredor vial en estudio, intervenido en la fase pre operativo.

Cuadro N°4. 8. Ejes equivalentes carretera Conococha - Huaraz

Tramo	Sector	Código de estación de peaje	Código de estación	Tramo		ESAL (05 años)	ESAL (10 años)	ESAL (15 años)	ESAL (20 años)
II	Km 64+000 – Conococha - Huaraz	PE-02 Catac	E2	Conococha	Mojón	2.543 E+06	5.646 E+06	9.349 E+06	1.379 E+07
			E3	Conococha	Catac	1.518 E+06	3.357 E+06	5.539 E+06	8.142 E+06
			E4	Catac	Huaraz	2.303 E+06	5.082 E+06	8.366 E+06	1.227 E+07

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Cuadro N°4. 9. IMDA carretera Conococha - Huaraz

Codigo	Localización	Inicio	Fin	IMDA (2010)	IMDA (2011)	IMDA (2012)	IMDA (2013)	IMDA (2014)	Crecimineto (%) 2010 - 2014
E2	Conococha	KM 64+000	Conococha	966	1053	1130	1043	1067	2.5%
E3	Catac	Conococha	Catac	981	1234	1419	1494	1500	11.2%
E4	Ticapampa	Catac	Huaraz	2147	2073	2143	2246	2470	3.6%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

4.5 ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS DEL RECICLADO DE PAVIMENTO CON LA TÉCNOLOGIA DEL ASFALTO ESPUMADO

4.5.1 Generalidades

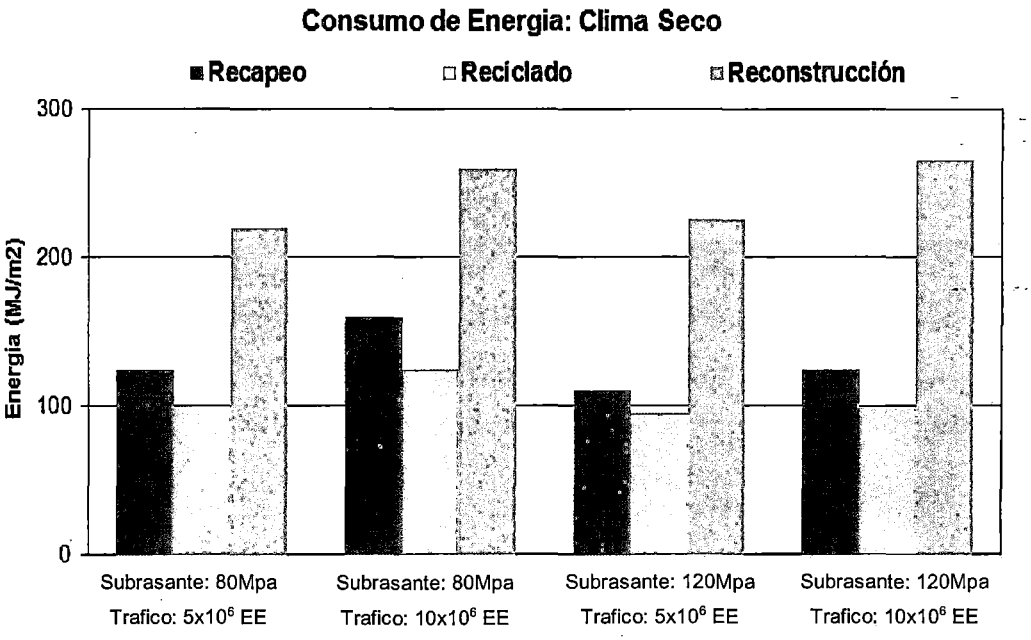
Muthen (1998) señala que la técnica de reciclado con asfalto espumado presenta ventajas, tales que aumenta la resistencia a cortante y reduce la susceptibilidad al daño por humedad de los materiales granulares estabilizados y da mayor rigidez a la capa de base volviéndola flexible y resistente a la fatiga y que además reduce los costos de transporte y ligante, pues el asfalto espumado requiere menor cantidad de ligante y agua comparado con otras técnicas de mezclas en frío. También tiene ventajas como el ahorro en los tiempos de puesta en servicio, pues se puede abrir al tránsito casi inmediatamente después de haber sido compactada la capa y en conservación de energía, solo se necesita calentar el asfalto antes de ser espumado, los agregados se pueden mezclar en frío y húmedos (no requieren de secado) y por utlimo es amigable con el ambiente, no se presenta evaporación de volátiles en todo el proceso desde el mezclado hasta el curado.

Thenoux Z. G (2010) afirma que el sistema convencional de rehabilitación de pavimentos para su proceso contempla una serie de actividades: Extracción en Cantera, Carguío en Cantera, Transportar a Chancadora, Desechar, Producir, Cargar a Obra, Transportar a Obra, Eliminar a Botadero, Esparcir y Compactar, en tanto que para el proceso de Reciclado en Frio In-situ solo se interviene actividades como el Fresado, Aplicar Agentes Estabilizadores y Agua, Mezclar y Compactar. Así mismo de lo anterior concluye que el reciclado tiene una serie de ventajas potenciales respecto a las alternativas tradicionales tales como, ahorro en áridos, eliminación de necesidad de botaderos, reducción de nuevos pozos de agregados, eficiente desde el punto de vista energético, tiempo de ejecución hasta 1km/día y mantener la cota original del pavimento.

Thenoux Z.G (2010) establece que el consumo de energía por m2 para las diferentes intervenciones de rehabilitación de pavimentos, tales como el

Recapeo, Reciclado y Reconstrucción de pavimentos, difieren en el consumo de energía (MJ/m2),en donde la técnica del reciclado tiene un consumo menor de energía (98 – 120 MJ/m2) que la técnica de reconstrucción, en el cual se usa mayor energía (260 – 215 MJ/m2), aproximadamente de un 30% a 40% de consumo de energía si se utiliza la técnica de reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica tradicional, determinados especificamente para un clima seco, a diferentes ejes equivalentes (EE) y resistencia de subrasante comprendidos entre (80 Mpa - 120 Mpa) tal como se ilustran en el Grafico N°4. 7.

Grafico N°4. 7 Ventajas de RAP en consumo de energía para obras viales



Fuente: (Thenoux Z. G. , 2010)

Elaboracion Propia

Akeroyd & Hicks B.(1988) afirman que la aplicación del asfalto espumado en la reconstrucción de pavimentos asfalticos requiere de un reducido consumo energético en comparación con los métodos tradicionales de mezclas asfáltica caliente. Para comprobar tal hipótesis realizaron en sudafrica (Dartford Kent) un tramo de prueba de un proyecto,en ella se estudió la eficiencia energética de dos alternativas de reconstrucción señaladas en el Cuadro N°4. 10.

Cuadro N°4. 10. Alternativas de reconstrucción

Alternativa de reconstrucción	Estructura de pavimento
Método tradicional	Base granular Carpeta asfáltica
Asfalto espumado	Base reciclada con asfalto espumado (tecnología en sitio) Capa de rodado

Fuente: (Thenoux Z. & Jamet A., 2002)

Ambas estructuras de pavimento son equivalentes estructuralmente. Un resumen de los resultados de esta prueba se presenta en el Cuadro N°4. 11. El consumo de energía para la aplicación con asfalto espumado en esta experiencia fue aproximadamente sólo de un 12% de la requerida por los métodos tradicionales.

Cuadro N°4. 11. Eficiencia Energetica

Reconstrucción con Métodos Tradicionales	
Excavación, carga y transporte de material (21" de espesor)	126
Proceso, transporte y colocación de subbase (13")	74
Proceso, transporte y colocación de base asfáltica (8")	283
Total	**$483*10^6$ [Joule/m2]**
Reconstrucción con Asfalto Espumado	
Fresado del material existente en terreno	29
Carga y transporte de material desde empréstito	20
Estabilización y compactación del material existente	8
Total	**$57*10^6$ [Joule/m2]**

Fuente: (Thenoux Z. & Jamet A., 2002)

Vildoso Flores & Espinoza Juro (2014) señalan que la técnica de reciclado de pavimentos con la tecnologia de asfalto espumado aplicado en el mantenimiento periódico del proyecto Conococha – Yanacancha, dio resultados beneficiosos sobre la emisión de CO_2, obteniendo un 33% de la que requiere la técnica convencional, el cual fue controlado por una empresa especializada de Antamina. Cabe mencionar además que este proyecto gano el primer lugar en la categoría de protección al entorno (gestión ambiental) del "Premio Sumajg" que otorgo Antamina.

4.5.2 Análisis de las ventajas técnicas

4.5.2.1 Proceso constructivo de alto rendimiento

Thenoux Z. G (2010) afirma que para asegurar un proceso constructivo de alto rendimiento y exitoso se requiere cumplir los 3 pasos previos: 1) Organización, 2) Capacitación, 3) Planificación, para cada uno de los equipos involucrados en la técnica de reciclado con el asfalto espumado ver la Figura N°4. 2.

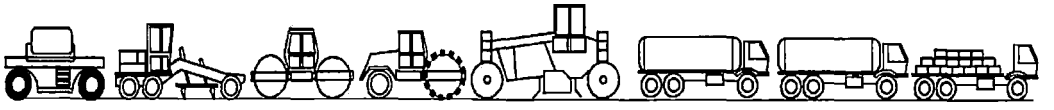


Figura N°4. 2. Planificacion del proceso constructivo
Fuente: (Thenoux Z. G. , 2010)

El reciclado de pavimentos es un método constructivo relativamente simple, sin embargo, y como en todas las operaciones de alto rendimiento, el trabajo debe ser correctamente administrado y planificado para que se pueda alcanzar y sacar provecho a los altos rendimientos que puede lograr las maquinarias empleadas. El proceso constructivo en el mantenimiento periódico del corredor vial Conococha – Huaraz estuvo definido por una serie de esquemas de trabajo las cuales se detallan en las siguientes líneas.

- Se implementó en primer lugar la logística que empezó en la capacitación del personal de campo y oficinas, realizando también programación de recursos, equipos, programación de despachos de materiales como cemento y Asfalto, a las cuadrillas de topografía de las zonas de trabajo.

- Inicialmente en campo se efectuó los trabajos de topografía en la vía existente con el fin de determinar zonas posibles de relleno (máximo 3 cm), 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 de demarcación de los carriles y sobreanchos con el fin de poder distribuir el Cemento Portland tipo I, el Asfalto y el Agua, 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 marco los anchos (ver Figura N°4. 3) en la vía haciendo coincidir con los anchos de la Recicladora y los sectores de traslapo 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 (Mangueras de flujo) a la Recicladora, al Camión Cisterna con Asfalto y al Camión Cisterna con Agua.

En la Figura N°4. 3 se muestra un croquis representativo del trabajo que se realizó en el mantenimiento periódico del corredor vial, tomando en cuenta el ancho de la vía y el ancho del tambor fresador de la recicladora. El ancho de la vía existente y el ancho del tambor de la recicladora utilizado en el mantenimiento periódico de la vía en estudio son de 7.20 m y 2.5 m respectivamente.

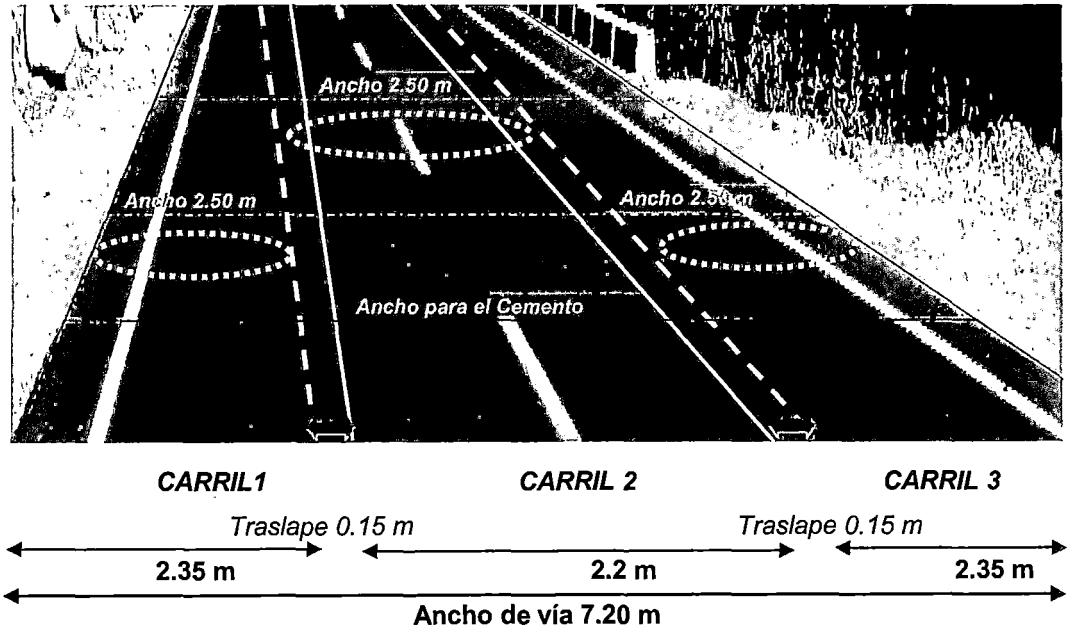


Figura N°4. 3. Delimitación de cortes y traslapos en carpeta asfáltica

Fuente: Elaboración Propia

El reciclado de pavimento con asfalto espumado se realizo en tres fajas con traslapes de 0.15 m a 0.20 m en zonas tangentes; y de 0.35 m a 0.50 m en las zonas de curva, donde por el sobreancho de la vía, fueron necesarias cuatro e incluso hasta cinco pasadas (curvas de volteo y en curvas contra curvas). El material adicionado sobre la calzada, para la base granular en tramos críticos (caso el tramo Conococha – Catac), fueron determinados a partir de la evaluación estructural y funcional de la vía en la etapa pre operativa, en la superficie del pavimento se depositaron uniformemente respetando el espesor de diseño establecido para el pavimento, el material disgregado se extendido con la Motoniveladora y compactado con el Rodillo Neumático tal como se observa en la Figura N°4. 4.

Para el espaciamiento del cemento portland tipo I se tomó las siguientes consideraciones: Espesor de cada material reciclado, peso específico de cada material reciclado, espesor total del paquete reciclado según diseño sectorizado (0.20 m y 0.170 m), Ancho de esparcido = 2.5 m y porcentaje de diseño de Cemento Portland (1.0%) y en la Figura N°4. 5 se visualiza el procedimiento de colocación del cemento portland tipo I en la superficie del pavimento. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010).

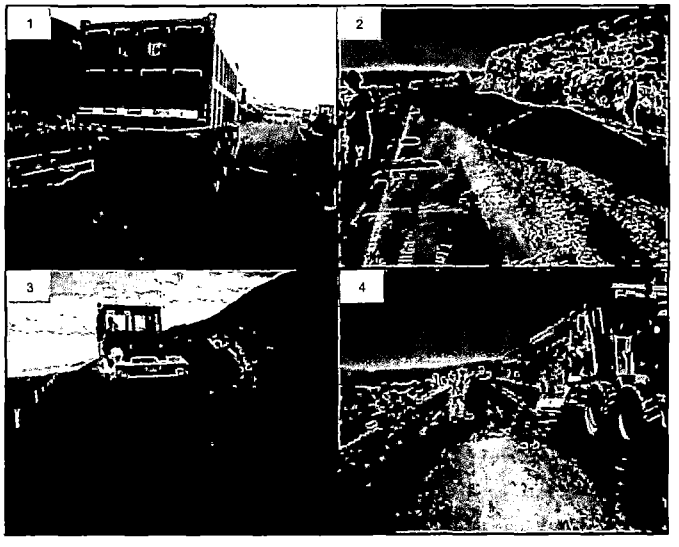


Figura N°4. 4. (1)Colocación, (2) Esparcido (3) Compactación y (4) Perfilado final de material adicionado para la base granular

Fuente: Elaboración Propia

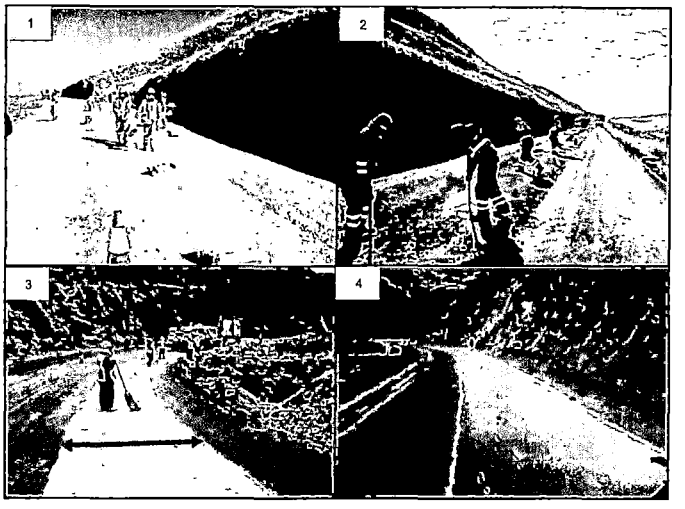


Figura N°4. 5. (1)Distribución, (2) Esparcido y (3), (4) Extendido final de cemento portland tipo I en la superficie del pavimento

Fuente: Elaboración Propia

En base al enunciado del párrafo anterior se elaboró el Cuadro N°4. 12, que permitió el desarrollo del plan de producción diaria para el mantenimiento de la vía.

Cuadro N°4. 12. Parámetros obtenidos de diseño de mezclas y propiedades de los materiales

Descripción	Medidas	Unidad
Profundidad	0.20	m
Asfalto	1.5	%
Agua para espumación	2.0	%
Agua para la compactación	2.925	%
Cemento	1.0	%
Densidad del material (RAP)	2243	Kg/m3
Ancho del tambor	2.5	m
Peso específico de Agua	1000	Kg/m3
Peso específico de Asfalto	1000	Kg/m3

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Elaboración Propia

Por ejemplo con estos datos se determinó los ratios de gasto por metro lineal de carretera, para los elementos a emplear en el proceso constructivo de la carretera Conococha – Huaraz.

$$\text{Asfalto} = 2243\,{}^{Kg}/_{m^3} \times 2.5m \times 0.20\,m \times 1.5\% = 16.82\,{}^{Kg}/_{m} <> 16.82\,{}^{Lit}/_{m} = 4.44\,{}^{Gal}/_{m}$$

$$\text{Agua espumación} = 2243\,{}^{Kg}/_{m^3} \times 2.5m \times 0.20\,m \times 2.0\% = 22.43\,{}^{Kg}/_{m} <> 22.43\,{}^{Lit}/_{m} = 5.93\,{}^{Gal}/_{m}$$

$$\text{Cemento} = 2243\,{}^{Kg}/_{m^3} \times 2.5m \times 0.20\,m \times 1.0\% = 11.215\,{}^{Kg}/_{m}$$

$$\text{Longitud de Espaciamiento} = 42.5Kg/11.215\,{}^{Kg}/_{m} = 3.79\,m$$

En base a la ponderación de los parámetros anteriores, se establecieron las áreas (ver Tabla N°4. 1) correspondientes para una bolsa de cemento 42.5kg; y en base a ello, el espaciamiento longitudinal para asegurar el adecuado esparcimiento de cemento de acuerdo a las proporciones establecidas en el diseño de mezclas ver sección 3.5.

Tabla N°4. 1. Área esparcida y espaciamiento longitudinal

Espesor de Reciclado	Área de Esparcido/bolsa	Espaciamiento Longitudinal
0.20 m.	9.48 m2	3.79 m.
0.175 m.	10.83 m2	4.33 m.
0.170 m	11.15 m2	4.46 m

Fuente: Elaboración Propia

A continuación del procedimiento mencionado líneas arriba, se procedió a ejecutar el reciclado del pavimento, utilizando de forma lineal el Tren Reciclador, dejando un producto que sólo requirió una superficie de protección (mortero asfaltico). Para este proyecto el Tren Reciclador estuvo compuesto por los siguientes equipos: 01 Cisterna de Asfalto de 6,000 Gln, 01 Camión Cisterna de Agua de 9,000 Gln, 01 Camión Cisterna de Agua de 4,000 Gln, 01 Maquina Recicladora y Compresora Neumática, tal como se observa en la Figura N°4. 6.

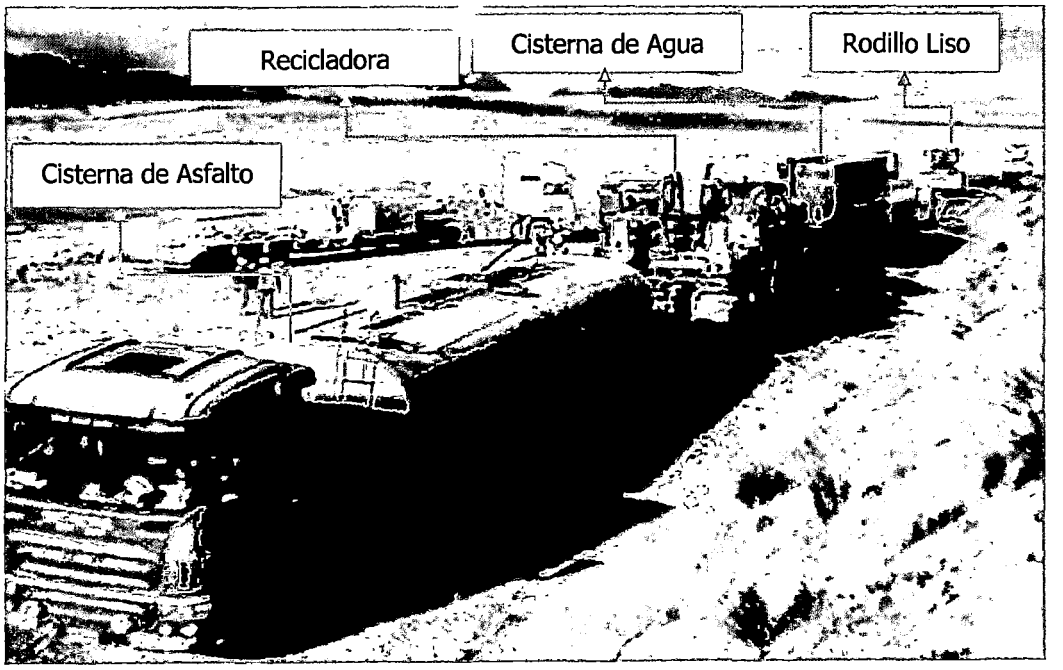


Figura N°4. 6. Tren de reciclado

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

La Recicladora Wirtgen 2500-S (ver la Figura N°2.28), posee un tambor con puntas semejantes a los de una fresadora (ver la Figura N°4. 7) y estas van pulverizando las capas de asfalto y base granular, luego los va mezclando con el cemento colocado sobre la superficie, se va inyectando el asfalto y el agua para el espumado, y el agua de compactación mediante una serie de boquillas distribuidas (ver la Figura N°4. 7) sobre y a lo ancho del tambor de la recicladora.

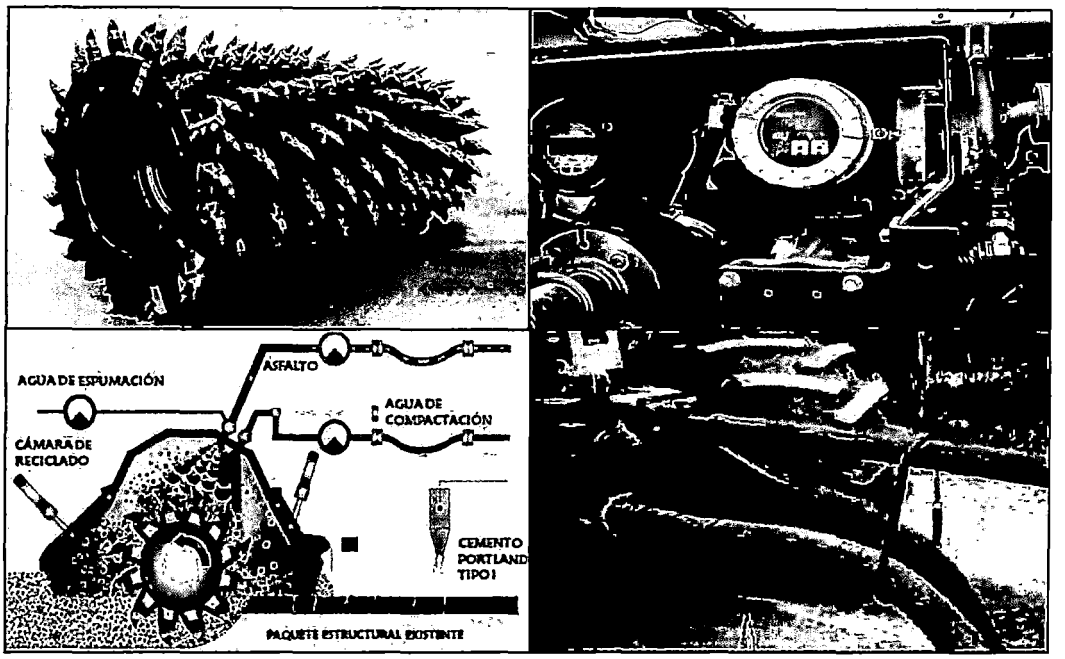


Figura N°4. 7. Picas, tablero de presión y distribución de boquillas en la recicladora
Fuente: Elaboración Propia

Inmediatamente después de que haya pasado el Tren Reciclador, se realizó el control de los espesores cada 50 m en dos bolillos (Der-Izq) de manera alternada en las tres fajas de corte durante todo el proceso de reciclado (ver la Figura N°4. 8), según las profundidades correspondientes al diseño por sectores homogéneos. Los sectores homogeneoas tienen diferentes profundidades, para el tramo Conococha – Catac consta de seis sectores, en el cual el sector 4.1 no ha sido reciclado debido a que el aporte estructural del pavimento satisface los requerimientos de diseño y presenta buena serviciabilidad. El tramo Catac – Huaraz esta dividido en siete tramos homogéneos con espesores diferentes, donde el reciclado se ha realizado en todos los 34 kms (ver Anexo N°4. 2).

Figura N°4. 8. (1) Control y (2) Verificación del espesor de base reciclada

Fuente: Elaboración Propia

Luego viene la compactación primaria para la franja que se está ejecutando que consta de un Rodillo liso. Estas franjas de trabajo son del ancho de la recicladora 2.5 m y una longitud minimo de 250 m (puede variar de acuerdo a la geometría de carretera). 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. Seguido de la compactación primaria (ver la Figura N°4. 9).

El Tren de Perfilado y Compactado (ver la Figura N°4. 10) que se encarga de perfilar y compactar la mezcla de reciclada con asfalto espumado, hasta lograr una densidad adecuada (mínima de 98.0 %) y humedad óptima para que su desempeño estructural sea el esperado. Para este proyecto el Tren de Perfilado y Compactado estuvo compuesto por: 01 Motoniveladora, 01 Rodillo liso de 10 ton, 01 Rodillo liso de 12 ton, 01 Rodillo Neumático de 15 ton y 01 Camión Cisterna de Agua de 4,000 Gln.

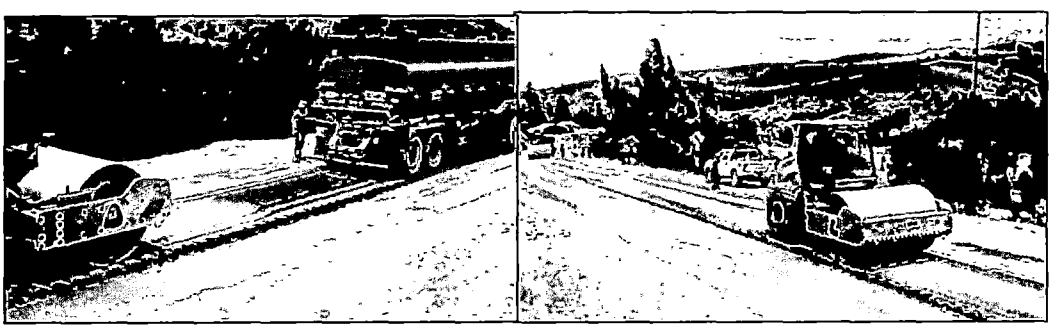


Figura N°4. 9. Compactación primaria

Fuente: Elaboración Propia

Figura N°4. 10. Perfilado, nivelación y compactación final

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Adicionalmente para darle terminación a la capa reciclada se debe realizar un riego de agua en aproximadamente (0.5 % - 1%), esto va ha depender del contenido de humedad natural y de las condiciones climáticas de la zona. 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%. Para el caso de la via estudiado no se realizo lo anterior mencionado, puesto que después de la compactación secundaria se paso a realizar el control de lisuras (rugosidades) para asegurar una superficie de alta calidad y baja rugosidad culminado con las pruebas de densidad de campo (cono de arena) (ver la Figura N°4. 11).

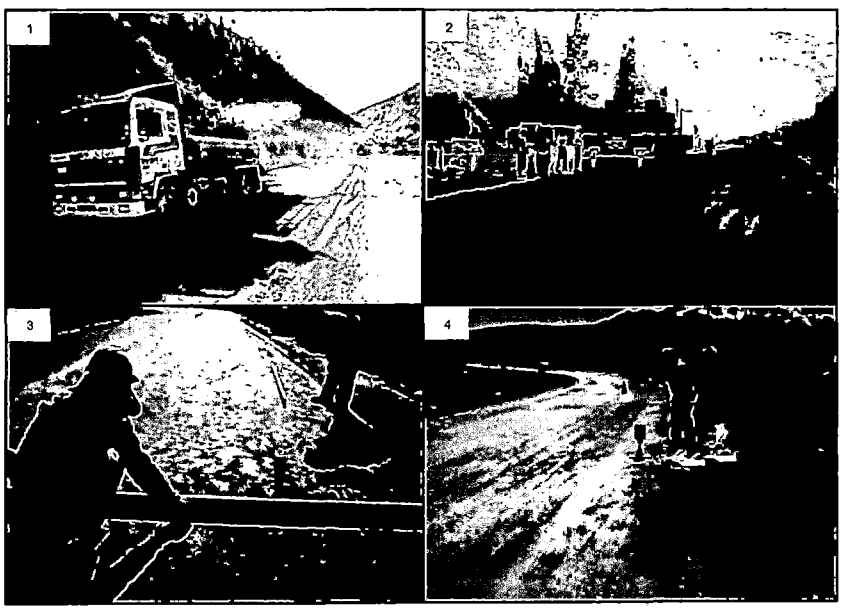


Figura N°4. 11. (1) Riego de agua, (2) Compactación final, (3) Control de lisuras y (4) densidad de campo

Fuente: Elaboración Propio

4.5.2.2 Periodo de ejecución y avance promedio diario en una jornada normal de trabajo

El avance diario depende directamente de la metodología de trabajo empleado en obra, tal como se describió en el párrafo anterior. En el Cuadro N°4. 13 y Cuadro N°4. 14 se detalla el porcentaje del avance mensual de los trabajos realizados en la conservación periódica de la carretera Conococha – Huaraz desde junio de 2010 hasta noviembre del 2010, resultando el periodo efectivo de ejecución del proyecto de seis meses (ver Anexo N°4. 3), como una consecuencia del proceso constructivo de alto rendimiento.

Cuadro N°4. 13. Avance porcentual de reciclado para el tramo Conococha – Catac

Partida ejecutada	Avance mensual (44.416 km)			
	Junio 2010			
	Prog. Inicio	Prog. Final	Long. (m)	Avance (%)
Reciclado con Asfalto Espumado	491+760	498+360	6600.00	14.86%
Imprimación de Base Reciclada	491+760	498+350	6590.00	14.84%
Partida Ejecutada	**Julio 2010**			
	Prog. Inicio	**Prog. Final**	**Long. (M)**	**Avance (%)**
Reciclado con Asfalto Espumado	498+360	509+000	10640.00	23.96%
Imprimación de Base Reciclada	498+350	503+990	5640.00	12.70%
Partida Ejecutada	**Agosto 2010**			
	Prog. Inicio	**Prog. Final**	**Long. (M)**	**Avance (%)**
Reciclado con Asfalto Espumado	509+000	523+000	14000.00	31.52%
Imprimación de Base Reciclada	503+990	518+000	14010.00	31.54%
Partida Ejecutada	**Setiembre 2010**			
	Prog. Inicio	**Prog. Final**	**Long. (M)**	**Avance (%)**
Reciclado con Asfalto Espumado	523+000	536+176	13176.00	29.66%
Imprimación de Base Reciclada	518+000	536+176	18176.00	40.92%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Cuadro N°4. 14. Avance porcentual de reciclado para el tramo Catac – Huaraz

Partida Ejecutada	Avance Mensual (34.090 Km)			
	Octubre 2010			
	Prog. Inicio	Prog. Final	Long. (m)	Avance (%)
Reciclado con Asfalto Espumado	536+176	557+400	21224.00	62.26%
Imprimación de Base Reciclada	536+176	552+400	16224.00	47.59%
Partida Ejecutada	**Noviembre 2010**			
	Prog. Inicio	**Prog. Final**	**Long. (m)**	**Avance (%)**
Reciclado con Asfalto Espumado	557+400	570+266	12866.00	37.74%
Imprimación de Base Reciclada	552+400	570+266	17866.00	52.41%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Del Cuadro N°4. 13 y Cuadro N°4. 14 se concluye que el avance en una jornada normal de trabajo, con esta configuración de equipos mencionado en la sección 4.5.2.1 , se encuentra entre 300 m (minimo) y 1100 m (máximo) por día normal de trabajo, es decir, un avance promedio de 760 m (ver Anexo N°4. 4), siempre y cuando se tengan espesores de capas asfálticas existentes entre 5 y 10 cm (carretera Conococha – Huaraz fue de 5 y 7.5 cm), ya que al aumentar el espesor del asfalto disminuye la velocidad del reciclado.

4.5.2.3 Tiempo de apertura al tráfico

Una de las ventajas del reciclado con asfalto espumado es que el tiempo de apertura al tráfico es menor a comparación de la técnica convencional, debido a que permanece trabajable por mayores periodos de tiempo y además porque es usado en condiciones climáticas adversas (climas lluviosas) (Thenoux Z. & Jamet A., 2002).

Vildoso Flores & Espinoza Juro (2014) señalan que el material reciclado in-situ con asfalto espumado, es un proceso muy rápido donde el equipo reciclador, casi de manera simultánea, corta el pavimento antiguo, incorpora los agentes estabilizadores elegidos según diseño de mezclas y vuelve a dejarlo tendido para su conformación y compactación posteriror; 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 agil.

Durante el proceso de reciclado la vía estuvo abierta todo el tiempo que duró el reciclado, ya que al ser una carretera de 7.20 m en promedio de ancho, había suficiente espacio para que trabajen los equipos de reciclado y de compactación. Los vehículos circularon simultáneamente y sin interferencias por la via, debido a las señalizaciones colocadas a lo largo del tramo reciclado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010). Además si después de terminado la compactación y autorizado por la supervisión, para dar apertura al tráfico inmediatamente, se debe reducir la velocidad a 30km/h.

Las capas recicladas requieren un período de curado para su maduración, antes de qué se autorice su cobertura con el micro superficie. Este periodo depende de las condiciones climáticas del proyecto (gradiente térmico y la lluvia). Durante dicho lapso, se aplicará los riegos de protección, para prevenir el deterioro de la capa reciclada por la acción de las aguas superficiales y del tránsito automotor. dichos riegos se realizaron utilizando el asfalto diluido MC-30, después al final se recubrió la capa con el mortero asfaltico (micropavimento).

4.5.2.4 Característica estructural y funcional del pavimento terminado

4.5.2.4.1 Tracción indirecta (ITS-TSR)

Los resultados obtenidos de la resistencia a la tracción indirecta (ITS) después de terminado el reciclado con asfalto espumado en el mantenimiento periódico del año 2010, para la carretera en estudio (ver Cuadro N°4. 15), arrojaron como promedio general una resistencia en condición seca de 355.204 kpa; y de 255.699 kpa en condición húmeda, superando los requerimientos de las especificaciones técnicas (200.0 kpa y 100.0 kpa respectivamente).

A continuación, en el Grafico N°4. 8 y Grafico N°4. 9 , se muestra el resumen de resultados obtenidos durante todo el proceso de reciclado con asfalto espumado (ver Anexo N°4. 5). Asimismo y como producto de las resistencias anteriormente señaladas, se obtuvo un promedio de resistencia conservada (TSR) de 72.00 %, cumpliendo asi con la especificación establecido en el diseño de mezclas (ver Cuadro N°4. 15).

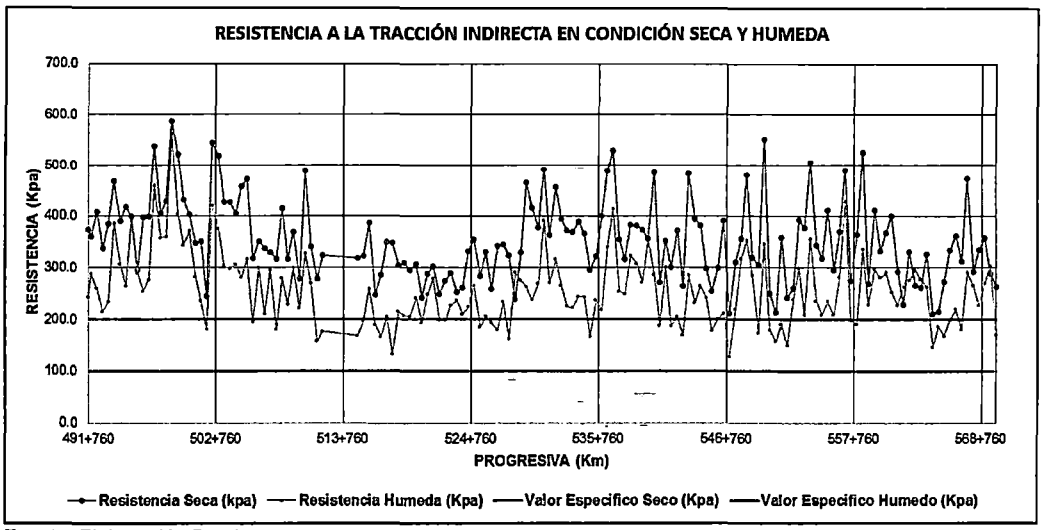
Cuadro N°4. 15. Estadística de tracción indirecta en base reciclada tramo Conococha – Huaraz

Sector (km 491+760 – km 570+226)		Densidad (gr/cm3)	ITS (Seco)	ITS (Húmedo)	TSR (%)
Estadísticas Tracción Indirecta	Valor Promedio	2.225	355.204	255.699	71.992
	Desviación Estándar	0.08	79.67	70.23	12.31
	Valor Minimo	1.842	210.80	127.30	47.80
	Valor Máximo	2.892	587.367	562.367	110.740
	Valor Especifico	-	200.00	100.00	50.00

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

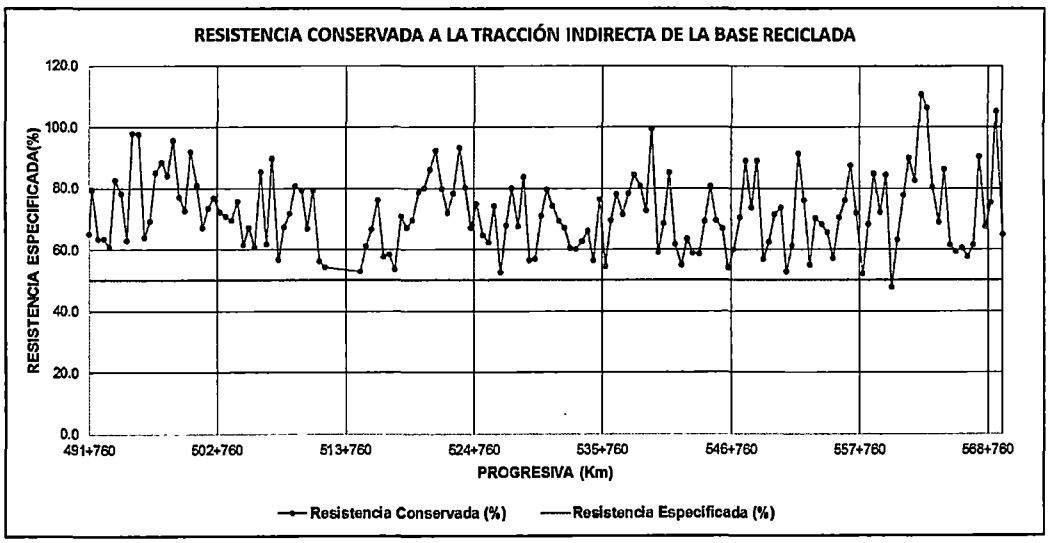
Cabe señalar además que debido a la diversificación de suelos, superficie de rodadura, es decir la composición del paquete de reciclado (asfalto y base granular), las resistencias pueden presentar cierta variabilidad, pero siempre dentro de los parámetros establecidos.

Grafico N°4. 8. Resistencias a la tracción indirecta (ITS seco – ITS húmedo)



Fuente: Elaboración Propia

Grafico N°4. 9. Resistencia conservada de la base reciclada



Fuente: Elaboración Propia

4.5.2.4.2 Medición de la condición funcional

La carretera Conococha – Huaraz presenta un micropavimento como carpeta de rodadura, el cual está sobre una base estabilizada con asfalto espumado, la cual se colocó en la etapa de mantenimiento periódico. Es así que para el

tramo Conococha - Catac, se tienen valores de IRI entre 1.02 y 5.76 m/km, con un valor promedio de 2.71 m/km, y para el tramo Catac - Huaraz, se tienen valores de IRI entre 1.12 y 6.34 m/km con un valor promedio de 2.53 m/km, los cuales presentan una disminución con respecto al año 2010, como se muestra en la Grafico N°4. 10 y Grafico N°4. 11.

De la sectorización realizada, por el método estadístico de las diferencias acumuladas (recomendado por AASHTO), se determinaron dos sectores con comportamiento funcional homogéneo a lo largo del tramo. En la Tabla N°4. 2 se presenta el resumen de los parámetros estadísticos obtenidos del último relevamiento de información correspondiente al 2014, para cada sector homogéneo. Para el tramo Conococha - Catac, se determino dos sectores para el cual el segundo sector presenta los resultados mayores, con un mínimo valor de 1.02 m/Km y máximo de 5.76 m/Km, siendo el valor promedio de 2.64 m/km con un coeficiente de variación de 30%. Para el tramo Catac – Huaraz , determinaron dos sectores en el cual el primer sector pesenta los mayores valores de los resultados con rangos de IRI de 1.22m/km como valor minimo a 6.34m/km como máximo, con un promedio de 2.68m/km y un coeficiente de variación de 31% tal como se presenta en la Tabla N°4. 3.

Tabla N°4. 2. Estadística de IRI, tramo Conococha - Catac

Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI Mínimo (m/km)	IRI Máximo (m/km)	Promedio aritmético (m/km)	Desviación estándar (m/km)	Coeficiente de variación (%)
1	499+329	519+000	1.32	4.90	2.78	0.76	27
2	519+000	543+709	1.02	5.76	2.64	0.78	30

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Tabla N°4. 3. Estadística de IRI tramo Catac – Huaraz

Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI Mínimo (m/km)	IRI Máximo (m/km)	Promedio aritmético (m/km)	Desviación estándar (m/km)	Coeficiente de variación (%)
1	543+709	568+000	1.22	6.34	2.68	0.83	31
2	568+000	577+724	1.12	4.48	2.37	0.75	32

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Los resultados de los cálculos del índice de serviciabilidad presente del pavimento, a partir de los valores de IRI obtenidos de cada sector del tramo

Conococha - Catac y tramo Catac - Huaraz, se muestran en la Tabla N°4. 4 y Tabla N°4. 5. Los resultados reflejan en su mayoría una condición funcional clasificada como "BUENA".

Tabla N°4. 4. Índice de serviciabilidad, tramo Conococha - Catac

Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI (m/km)	PSI	Clasificación
1	499+329	519+000	2.78	3.02	Buena
2	519+000	543+709	2.64	3.10	Buena

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Elaboración Propia

Tabla N°4. 5. Índice de serviciabilidad, tramo Catac – Huaraz

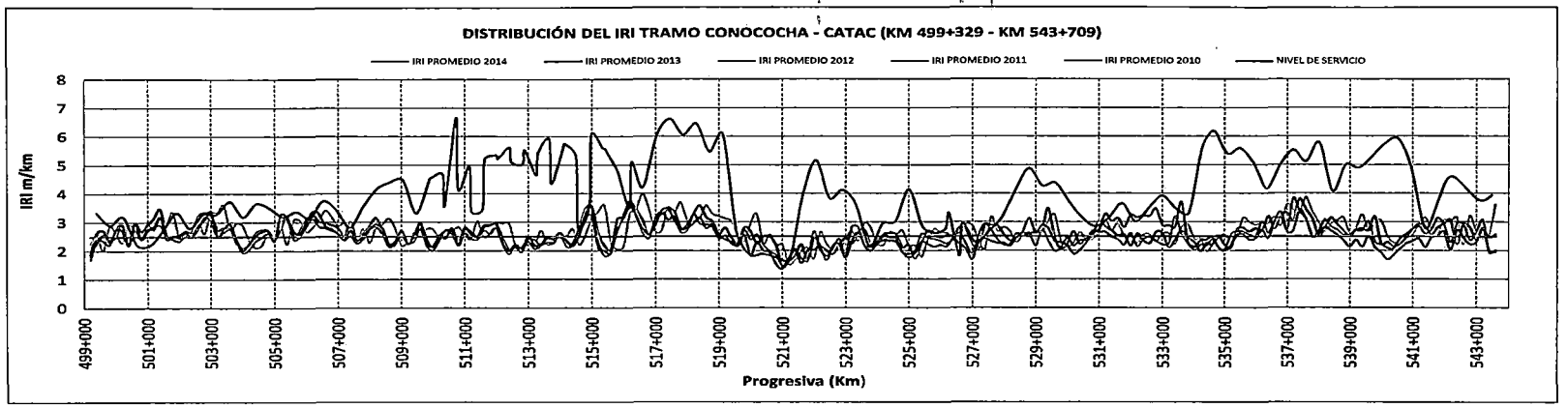
Sector	Progresiva Inicial (km)	Progresiva Final (km)	IRI (m/km)	PSI	Clasificación
1	543+709	568+000	2.68	3.07	Buena
2	568+000	577+724	2.37	3.25	Buena

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Elaboración Propia

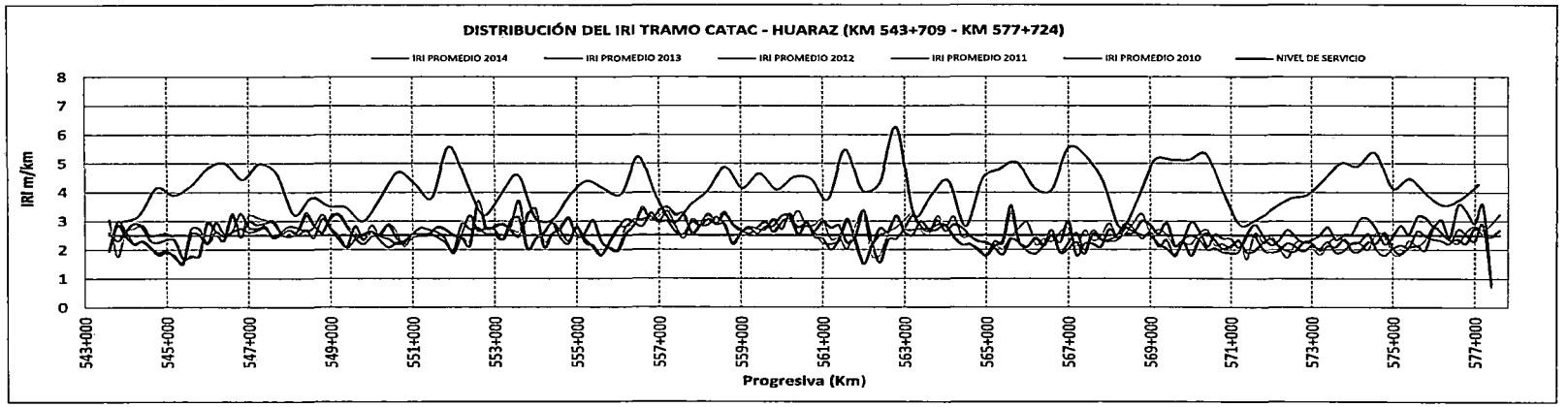
En la Grafico N°4. 10 y Grafico N°4. 11 se observa la tendencia de los resultados obtenidos de IRI para el tramo Conococha – Cátac y tramo Catac - Huaraz, en lo correspondiente a la evaluación del año 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.

Grafico N°4. 10. Distribución del IRI, tramo Conococha - Catac



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Grafico N°4. 11. Distribución del IRI, tramo Catac - Huaraz



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

4.5.2.4.3 Medición de la condición estructural

Para determinar las deflexiones a lo largo del tramo Conococha - Catac y tramo Catac - Huaraz. Se delimitaron cuatro (4) sectores homogéneos para el tramo Conococha - Catac, con valores de coeficientes de variación mayores al 30% para la mayoría de sectores, denotándose la elevada dispersión de los datos para los sectores analizados. Para el tramo Catac - Huaraz, se delimitaron en tres (3) sectores homogéneos con coeficientes de variación mayores al 30%.

En la Tabla N°4. 6 y Tabla N°4. 7, se presenta el resumen de los principales parámetros estadísticos calculados en el último inventario vial del año 2014 para los tramos evaluados. Se tiene una deflexión mínima de 9 mm/100, una deflexión máxima de 106 mm/100 y un promedio aritmético de 41 mm/100, para el tramo Conococha - Catac y una deflexión mínima de 5 mm/100, una deflexión máxima de 123 mm/100 y un promedio aritmético de 41 mm/100 para el tramo Catac – Huaraz.

Tabla N°4. 6. Estadísticas de máximas deflexiones, tramo Conococha – Catac

Sector	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Deflexión mínima	Deflexión máxima	Promedio Aritmético	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	(Km)	(Km)	(mm/100)	(mm/100)	(mm/100)	(mm/100)	(%)
1	499+000	504+188	11	76	40	16	40%
2	504+188	517+500	10	106	36	16	43%
3	517+500	523+000	22	106	48	19	39%
4	523+000	543+395	9	103	51	16	32%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Tabla N°4. 7. Estadísticas de máximas deflexiones, tramo Catac – Huaraz

Sector	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Deflexión mínima	Deflexión máxima	Promedio Aritmético	Desviación Estándar	Coeficiente de variación
	(Km)	(Km)	(mm/100)	(mm/100)	(mm/100)	(mm/100)	(%)
1	543+709	554+000	8	103	40	19	47%
2	554+000	567+000	11	123	42	18	43%
3	567+000	577+724	5	103	41	16	39%

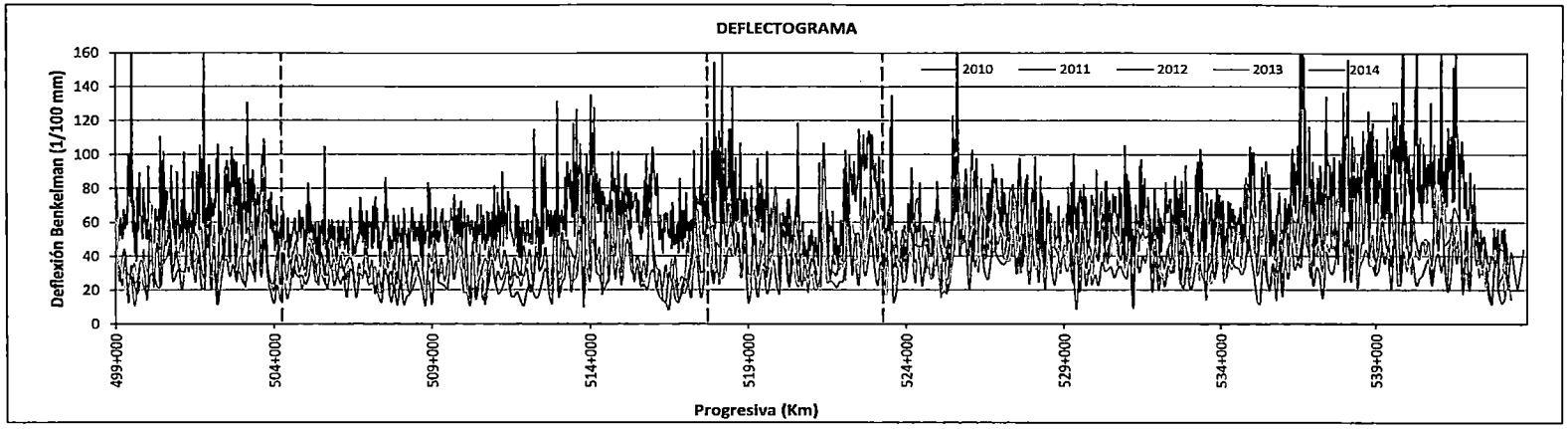
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

El mantenimiento periódico desarrollado en la fase pre operativa a nivel de actividades de reciclado y colocación de micropavimento, llevada a cabo luego del primer relevamiento de información. Complementariamente, de los resultados obtenidos para los años 2011, 2012, 2013 y 2014 se observa un comportamiento similar en la mayoría de los sectores del corredor vial. En general la tendencia del año 2014 presenta similitud con las mediciones del 2011, 2012 y 2013; los resultados del año 2014 reflejan el deterioro normal del pavimento, que es similar en magnitud a los resultados del 2014, debido a la conservación que se lleva acabo de manera rutinaria en la vía.

La Grafico N°4. 12, Grafico N°4. 13, Grafico N°4. 14 y Grafico N°4. 15 presenta las deflexiones benkelman y la deflexión admisible determinados con el estudio de trafico del año 2014 (ver Anexo N°4. 6), que para el tramo Conococha - Catac resulo 132 mm/100 y de 123 mm/100 para el tramo Catac - Huaraz, apreciándose que los valores de deflexión promedio no sobrepasan este valor con el que se concluye el buen estado estructural de la vía para la carretera Conococha – Huaraz.

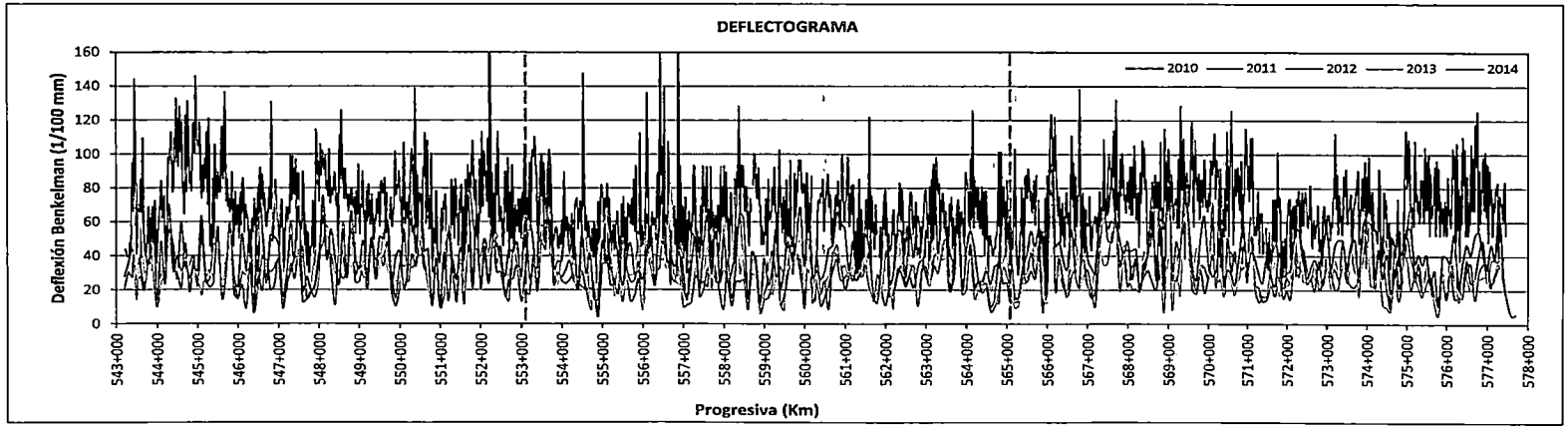
También de la comparación de los resultados obtenidos para los años 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014 se observa una diferencia de valores en todo el recorrido del tramo, sobre todo entre el año 2010 en donde las medidas de deflexión son superiores que a las deflexiones de los años posteriores. Lo anterior debido al mantenimiento rutinario realizado y atención de emergencias viales realizados en su momento para dar el libre tránsito a los vehículos que circulan por la vía.

Grafico N°4. 12. Deflexión máxima normalizada, tramo Conococha – Catac



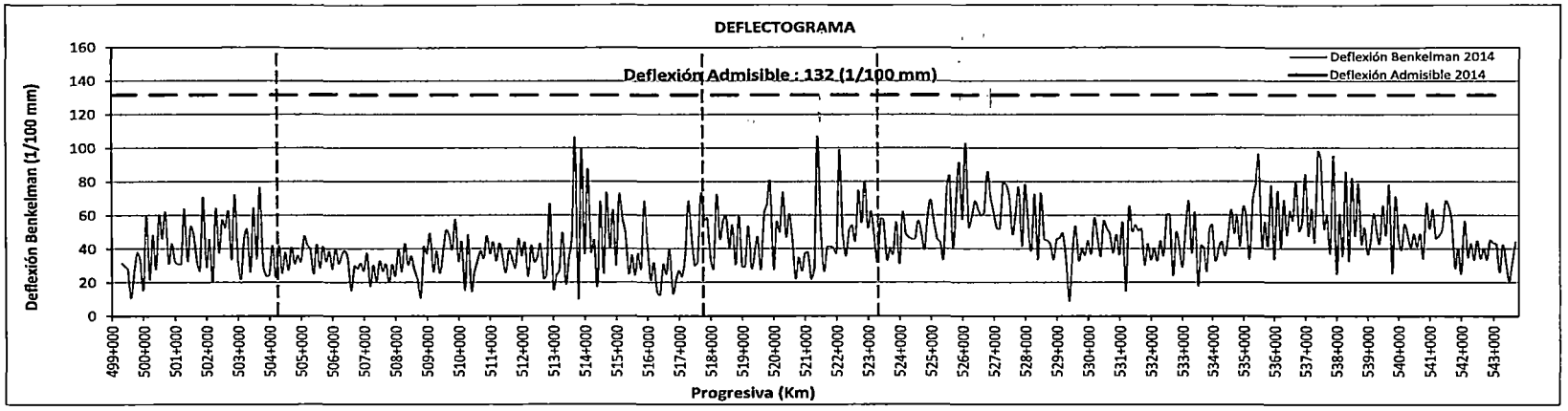
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Grafico N°4. 13. Deflexión máxima normalizada, tramo Catac - Huaraz



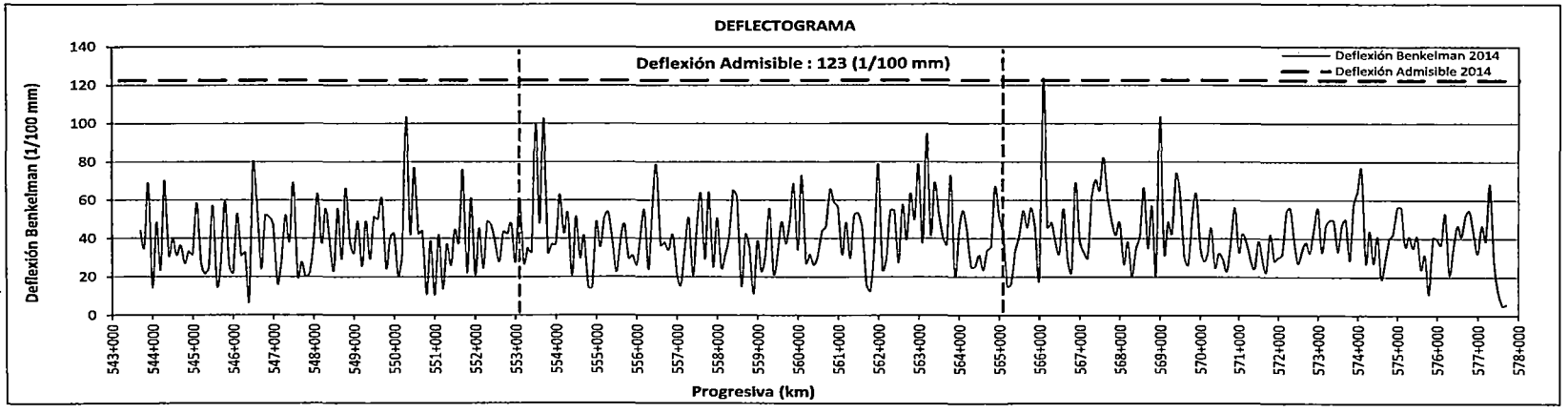
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Grafico N°4. 14. Deflexión admisible, tramo Conococha – Catac



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

Grafico N°4. 15. Deflexión admisible, tramo Catac – Huaraz



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015)

4.5.3 Análisis de las ventajas ambientales

4.5.3.1 Disminución de explotación de canteras de material para base granular.

Una de las principales ventajas del reciclado de pavimento con tecnologia del asfalto espumado (RPTAE), 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 y de generar botaderos para el material eliminado. A continuación en la Cuadro N°4. 16 y Cuadro N°4. 17 se presentan los resultados obtenidos de la experiencia desarrollado en el mantenimiento periódico de la carretera Conococha – Huaraz al aplicar RPTAE, en comparación con un sistema convencional de rehabilitación de pavimentos asfalticos.

Cuadro N°4. 16. Cantidad de material para base granular a utilizar

Descripción	Técnica Convencional	RPTAE	Ahorro
	(m3)	(m3)	(m3)
Material Granular para Base	**167,194.80**	**10,981.27**	**156,213.53**

Fuente: Elaboración Propia

El reciclado hace que se reutilicen todos los materiales del pavimento existente, es por ello que no se explotó canteras de material para base granular, no requeridas para las actividades que comprende el RPTAE. Sin embargo, para este proyecto se identificaron sectores que presentaban déficit estructural especialmente en el tramo Conococha - Catac, el cual consistió en sitios con alto grado de deflectometría y pérdida de la carpeta asfáltica y finos que requería trabajos de refuerzo estructural con material granular.

Se accedió a la colocación de material granular de 0.03 m de espesor en algunos tramos puntuales de via (ver Anexo N°4.2). De esta manera se completo el aporte estructural requerido, para ello debiendo explotar cantera, pero en cantidad mucho menor que una técnica convencional, tal como se visualiza en el Cuadro N°4. 16. La cantidad total de material a eliminar en caso de usar la técnica convencional se observa en el Cuadro N°4. 17.

Cuadro N°4. 17. Cantidad de material a eliminar

Descripción	Técnica Convencional	RPTAE
	(m3)	(m3)
Material Eliminado	**188,094.15**	**0.00**

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3.2 Menor emisión de CO_2

El RPTAE 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_2) 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. En el proyecto de conservación periódica de la carretera Conococha – Huaraz no se han realizado monitoreos ambientales. Por lo que no existe información y/o registro de emisión de Dióxido de Carbono (CO_2).

4.5.4 Análisis de la ventajas económicas

4.5.4.1 Ahorro en el costo de mantenimiento por Km.

El mantenimiento periódico de la carretera Conococha – Huaraz, se utilizó la tecnología de reciclado con asfalto espumado, realizado in situ, por lo que no requirió el uso de plantas externas, en donde el costo ascendió a US$.155 mil por Km. (ver Anexo N°4. 7) versus US$. 380 – 420 mil por Km. para un técnica convencional incluido IGV (MTC, 2010; Fernández Machado, 2010).

4.5.4.1.1 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 de reciclado con asfalto espumado, teniendo una distancia media de transporte de 36.40 km (ver Anexo N°4. 8). En el Cuadro N°4. 18 se muestra un análisis del costo de material para base granular en el cual se indica que aplicando la técnica convencional se hubiesen explotado

167,194.80 m3 de material granular teniendo un costo total de S/. 11, 021,481.22 puesto en obra.

Para el caso de la tecnología de reciclado fue necesario colocar material granular como un encimado sobre la superficie de rodadura con un espesor de 0.03 m en algunos sectores del tramo de Conococha – Catac. Los sectores determinados a partir del diseño estructural se ilustra en el Anexo N°4.2, y que resulta un total de 10,981.267 m3 de material granular, el cual puesto en obra tuvo un costo de S/. 723,885.13 (ver Cuadro N°4. 19).

Cuadro N°4. 18. Detalle de costo de material granular y transporte para técnica convencional

COSTO DE MATERIAL PARA BASE GRANULAR				
Tramos	(e=0.25)	(e=0.275)	(e=0.20)	Total
Longitud de la vía (Km)	73.12	5.39	- 2.05	
Ancho promedio (m)	7.20	7.20	7.20	
Área promedio/ Intervenido (m2)	526,435.20	38,808.00	14,760.00	
Espesor promedio (m)	0.25	0.275	0.20	
Factor de Compactación	1.20	1.20	1.20	
Volumen de Material Granular a Utilizar (m3)	157,930.56	12,806.64	3,542.40	167,194.80
Costo de material de base por m3	46.24	46.24	46.24	
Costo de material granular	7,302,709.09	592,179.03	163,800.58	7,731,087.55
Costo por m3 por km de transporte	0.54	0.54	0.54	
Distancia promedio de cantera (km)	36.40	36.40	36.40	
Costo por m3 por 36.40 km	19.68	19.68	19.68	
Costo de transporte	3,108,073.42	252,034.68	69,714.43	3,290,393.66
RESUMEN DE COSTOS				
Costo de material granular		7,731,087.55		
Costo de transporte		3,290,393.66		
Costo Total		**11,021,481.22**		

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°4. 19. Detalle de costo de material de préstamo y transporte para RPTAE

COSTO DE MATERIAL DE PRESTAMO	
Longitud de intervenir (Km)	44.42
Longitud sin / intervenir (Km)	- 2.05
Ancho promedio (m)	7.20
Área promedio/ Intervenido (m2)	305,035.200
Espesor promedio (m)	0.03
Factor de Compactación	1.20
Volumen de Material Granular a Utilizar (m3)	10,981.267
Costo de material de base por m3	46.24
Costo de material granular	507,773.80
Costo por m3 por km de transporte	0.54
Distancia promedio de cantera (km)	36.40
Costo por m3 por 34.20 km	19.68
Costo de transporte	216,111.34
RESUMEN DE COSTOS	
Costo de material granular	507,773.80
Costo de transporte	216,111.34
Costo Total	**723,885.13**

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N°4. 20. Resumen comparativo de costo de material granular

Descripción	Técnica Convencional	Técnica RAP
Costo de material granular puesta en obra	S/.11,021,481.22	S/.723,885.13
Ahorro	**S/.10,297,596.08**	

Fuente: Elaboración Propia

4.5.4.1.2 Disminución en el costo de eliminación de material excedente.

Para el caso de la partida de eliminación de material excedente, en este proyecto al utilizar el RPTAE no hubo eliminación, ya que se utilizó el 100% del material existente. En caso de que si 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 188,094.150 m3 de material lo cual tendría un costo de transporte de S/.3,605,764.86, tal como se ilustra en el Cuadro N°4. 21 para un botadero ubicado a una distancia media de 19.00 km (ver el Anexo N°4.8).

Cuadro N°4. 21. Costo de eliminación de material excedente a DME

COSTO DE ELIMINACION DEL MATERIAL				
Tramos	(e=0.25)	(e=0.275)	(e=0.20)	Total
Longitud de la vía (Km)	73.12	5.39	- 2.05	
Ancho promedio (m)	7.2	7.2	7.2	
Área promedio/ Intervenido (m2)	526,435.20	38,808.00	14,760.00	
Espesor promedio (m)	0.25	0.275	0.20	
Factor de Compactación	1.35	1.35	1.35	
Volumen de Material Granular a Utilizar (m3)	177671.88	14407.47	3985.2	188,094.15
Costo por m3 por km de transporte	1.01	1.01	1.01	
Distancia promedio a DMEs (Km)	19.00	19.00	19.00	
Costo por m3 por 19.00 km	19.17	19.17	19.17	
Costo de transporte	3,405,969.94	276,191.20	76,396.28	3,605,764.86
RESUMEN DE COSTOS				
Costo de transporte	3,405,969.94	276,191.20	76,396.28	
Costo Total	3,405,969.94	276,191.20	76,396.28	**3,605,764.86**

Fuente: Elaboración Propia

4.5.4.2 Disminución en el costo de consumo de insumos

Para probar la hipótesis basada en la teoría, que indica que al aplicar el RPTAE 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 este proyecto de conservación vial, solo para el primer año de intervención. Previo a ello se realizó el corrido

de precios unitarios involucrados para ambas técnicas, que se muestran en el Anexo N°4. 9 y Anexo N°4. 10.

4.5.4.2.1 Insumos mano de obra

a. Técnica de RPTAE

Para la determinación del costo de insumos de mano de obra de la partida reciclado de pavimentos con asfalto espumado, que comprende a los siguientes partidas: A).- Esparcido de Material Granular, B).- Esparcido del Cemento Portland, C).- Reciclado con Asfalto Espumado y D).- Perfilado y Compactación Final. Estas partidas considerados para la presente tesis, están elaborados en base al análisis de precios unitarios de la propuesta económica del proyecto de mantenimiento de la carretera Conococha – Huaraz.

El análisis de insumos mano de obra de las partidas y subpartidas se visualizan en el Anexo N°4. 11 y en el Cuadro N°4. 22 se observa el resumen total de horas hombre (HH) y costo total de las sub partidas utilizadas en la técnica de RPTAE.

Cuadro N°4. 22. Horas hombres total y costo total de las subpartidas para el RPTAE

Subpartidas	HH total	Costo total
A.- Esparcido de Material Granular	7,768.81	103,340.58
B.- Esparcido del Cemento Portland	6,770.94	84,147.41
C.- Reciclado con Asfalto Espumado	12,881.31	169,737.09
D.- Perfilado y Compactación Final	21,172.13	278,764.73
Costo Total de Insumos Mano de Obra (Nuevos Soles)	**48,593.19**	**S/. 635,989.81**

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Elaboración Propia

b. Técnica convencional

Para el cálculo del costo de insumos de mano de obra, se analizó las cuatro partidas que corresponden al rubro de pavimentos asfalticos de lo que normalmente se refiere a la aplicación de una técnica convencional (ver Anexo N°4. 12).

El análisis de precios unitarios de estos subpartidas están elaborados en base a las recomendaciones de Ibañez (2010), el cual desarrolla un análisis detallado de las consideraciones que se debe de tener en cuenta para la elaboración de precios unitarios de obras de infraestructura vial en el Perú. Particularmente en el análisis de los Insumos necesarios para la construcción de una carretera (Materiales, Mano de Obra, Equipos). Además señala que los rendimientos de los equipos en las diferentes altitudes y regiones del país (costa, sierra y selva) son inversamente proporcionales a la altitud, especialmente en la sierra. En el Anexo 4.12 se visualiza el análisis de precio calculado de las partidas y subpartidas intervenidas en la técnica convencional.y en el Cuadro N°4. 23 se observa el resumen de insumos de mano de obra propuestos para esta técnica.

Cuadro N°4. 23. Insumos de mano de obra propuesta para la técnica convencional

Subpartidas	HH Total	Costo Total
A.- Corte de Material Suelto	6,988.74	89,877.57
B.- Perfilado y Compactación en Zonas de Corte	9,082.97	123,292.27
C.- Base Granular	105,411.92	1,332,917.94
D.- Transporte de Material Excedente a DME	10,157.08	140,878.76
Costo Total de Insumos Mano de Obra (Nuevos Soles)	**131,640.72**	**S/. 1,686,966.54**

Fuente: (Ibañez, 2010)
Elaboración Propia

Cuadro N°4. 24. Comparación de insumos de mano de obra técnica RPTAE vs técnica convencional

Descripción	Técnica RPTAE	Técnica Convencional
Costo de material granular puesta en obra	S/. 635,989.81	S/.1,686,966.54
Ahorro		**S/. 1,050,976.73**

Elaboración Propia

4.5.4.2.2 Insumos de materiales

Para el caso de insumos de materiales, la técnica convencional muestra una mayor cantidad de insumos y también de costo respecto a la técnica de reciclado, como se puede observar en los Cuadro N°4. 25 y Cuadro N°4. 26 (ver el Anexo N°4. 13 y Anexo N°4. 14).

Cuadro N°4. 25. Costo total de los insumos de materiales propuestos para la técnica convencional

Ítem	Recurso	Unidad	Cantidad	P.U	Costo Total
1	Pago por derecho de Explo. de Cantera	m3	217,353.24	14.00	3,042,945.36
2	Combustible usados de Equipos para Técnica Convencional	gal	384,745.53	7.83	3,012,557.47
3	Acondicionamiento de Material Excedente	m3	188,094.15	4.79	900,970.98
4	Agua (Transporte a Obra)	m3	82,572.48	8.64	713,426.23
5	Material Granular	m3	167,194.80	46.24	7,731,087.55
Costo Total de Insumos Material (Nuevos Soles)					**S/. 15,400,987.59**

Fuente: (Ibañez, 2010)

Elaboración Propia

Cuadro N°4. 26. Costo total de los insumos de materiales utilizados en la técnica de RPTAE

Ítem	Recurso	Unidad	Cantidad	P.U	Costo Total
1	Cemento Asfáltico PEN 85/100	gal	1,077,846.106	6.13	6,607,196.63
2	Cemento Portland Tipo I	bls	58,131.026	15.86	921,958.07
3	Pago por derecho de Explotación. de Cantera	m3	12,923.76	14.00	180,932.64
4	Carguío y descarguio de Cemento Portland	m2	550,483.200	0.13	71,562.82
5	Consumibles de Picas y Portapicas	m2	550,483.200	0.50	275,241.60
6	Combustible usados de Equipos para RPTAE	gal	102,679.670	7.83	803,981.82
7	Agua (Transporte a Obra)	m3	12,110.63	8.64	104,635.84
8	Material Granular	m3	10,981.267	46.24	507,773.79
Costo Total de Insumos Material (Nuevos Soles)					**S/. 9,473,283.204**

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Elaboración Propia

El CAP PEN 85/100 y el cemento portland son insumos de mayor incidencia para la técnica RPTAE. Sin embargo, el consumo de material granular y el combustible al aplicar la técnica convencional, son los recursos de mayor impacto al medio ambiente, generando mayor explotación de canteras y uso de DMEs.

4.5.4.2.3 Insumos de maquinaria

a. Técnica de RPTAE

El análisis de costo de insumos consumidos de maquinaria, para la partida de reciclado de pavimentos, resulta justificado a partir del análisis de precios unitarios de la propuesta económica del proyecto de mantenimiento por niveles de servicio de la carretera en estudio. Del análisis de precios unitarios desarrollados de cada subpartidas se visualiza en el Anexo N°4. 15 y en el

Cuadro N°4. 27 se detalla el resumen del costo total de insumos de maquinarias utilizados en esta técnica.

Cuadro N°4. 27. Costo total de insumos de maquinaria utilizados en la técnica de RPTAE

Subpartidas	HM Total	Costo Total
A.- Esparcido de Material Granular	4,174.24	596,909.02
B.- Esparcido del Cemento Portland	825.72	108,805.76
C.- Reciclado con Asfalto Espumado	10,569.28	1,292,399.69
D.- Perfilado y Compactación Final	6,749.47	849,308.72
Costo Total de Insumos Equipos + Combustible (Nuevos Soles)	22,318.71	2,842,394.52
Costo Total de Insumos Equipos sin Combustible (Nuevos Soles)		**S/. 2,034,130.21**

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Elaboración Propia

b. Técnica convencional

Para el cálculo del costo de insumos de equipos, se analizó las cuatro subpartidas que corresponden al rubro de pavimentos asfalticos de lo que normalmente se refiere a la aplicación de una técnica convencional, los cuales son: A).- Corte de Material Existente, B).- Perfilado y Compactación en Zonas de Corte, C).- Base Granular y D).- Eliminación de Material Excedente a DME. El sustento técnico del análisis de precios unitarios de los equipos se observa en el Anexo N°4. 16, para el caso de que si se hubiera aplicado la técnica convencional en el mantenimiento periódico de la vía en estudio. Como resultado del análisis de precios unitarios se obtuvo el costo total de insumos de equipos sin combustible, el cual asciende a S/.9,477,880.05 tal como se observa en el Cuadro N°4. 28.

Cuadro N°4. 28. Costo total de insumos de maquinaria propuestos en la técnica convencional

Subpartidas	HM Total	Costo Total
A.- Corte de Material Suelto	2,909.19	466,634.00
B.- Perfilado y Compactación en Zonas de Corte	5,449.78	635,953.42
C.- Base Granular	63,287.49	8,816,125.18
D.- Transporte de Material Excedente a DME	21,762.49	2,564,612.95
Costo Total de Insumos Equipos + Combustibles	93,408.96	12,483,325.55
Costo Total de Insumos Equipos sin Combustibles (Nuevos Soles)		**S/. 9,477,880.05**

Fuente: (Ibañez, 2010)

Elaboracón Propia

4.5.4.3 Ahorro en gastos generales

Los gastos generales están directamente relacionados al tiempo de ejecución, el cual al emplear la técnica de reciclado requirió menor tiempo de ejecución que un método convencional tal como se observa en el Cuadro N°4. 29, en ella se menciona la diferencia que existe en tiempo de ejecución entre la técnica del reciclado con asfalto espumado y una técnica convencional, para las partidas más relevantes siendo la diferencia en 8 meses. El sustento de avance se visualiza en la programación desarrollada para ambas alternativas, que se muestra en el Anexo N°4.3.

Cuadro N°4. 29. Periodo de duración de obra entre la técnica RPTAE vs técnica convencional

Descripción	Técnica Convencional	Técnica RPTAE
	Mes	Mes
Periodo de duración de la obra, analizados para las partidas más relevantes.	**14.00**	**6.00**

Fuente: Elaboración Propia

Los gastos generales, se dividen en gastos generales fijos, que son gastos que no pueden ser modificados y gastos generales variables, que son gastos que están directamente relacionados a las necesidades de la obra, en el Cuadro N°4. 30 se menciona el monto total utilizado en el proyecto de mantenimiento periódico de la carretera Conococha – Huaraz, los detalles de cálculo realizados para los gastos fijos y gastos variables se observa en el Anexo N°4. 17.

Cuadro N°4. 30. Resumen de gastos generales

Gastos Generales Fijos	
C - Alquiler de Almacén/Campamento y Hospedaje	242,190.49
	S/. 242,190.49
Gastos Generales Variables	
A - Sueldos del Personal	1,457,166.00
B - Alquileres de Equipos	788,062.21
D - Gastos de Oficina, Transporte de Personal y Alimentación	601,401.00
E - Implementos de Seguridad e Higiene y Señalización	35,368.00
F - Otros	91,830.00
	S/. 2,973,827.21
Costo Total	**S/. 3,216,017.70**

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Elaboración Propia

Tomando únicamente en consideración los 8 meses de ahorro en tiempo al usar la técnica del reciclado, obtenemos un ahorro total de S/. 4, 288,023.60 tal como se observa en el Cuadro N°4. 31.

Cuadro N°4. 31. Ahorro en gastos generales

Descripción	Costo Total
Gasto General Total para 6 Meses	S/. 3,216,017.69
Gasto General por Mes	S/. 536,002.95
Gasto General para 8 Meses (Ahorro)	**S/. 4,288,023.60**

Fuente: Elaboración Propia

4.5.4.4 Ahorro de energía promedio en más del 70%

Para la presente investigación el ahorro de energía está relacionado directamente con el consumo de insumos de maquinaria, ya que al tener menor cantidad de horas maquina efectuada se presenta un ahorro energético. En el Cuadro N°4. 32 se demuestra que el costo total de combustible y las horas maquinas totales, usados en la aplicación de la técnica de reciclado de pavimento con asfalto espumado en la carretera Conococha – Huaraz. Los cálculos detallados se visualizan en el Anexo N°4. 18, en el cual se desglosa para el análisis de costo todos los equipos intervenidos y/o involucrados en el desarrollo de las cuatro subpartidas.

Cuadro N°4. 32. Horas maquina total y costo total de combustible usados en RPTAE

Subpartidas	HM Total	Consumo Total (gal/hr.)	Costo Total (S/.)
A.- Esparcido de Material Granular	4,174.24	17,591.51	137,741.53
B.- Esparcido del Cemento Portland	825.72	4,128.62	32,327.13
C.- Reciclado con Asfalto Espumado	10,569.28	59,947.62	469,389.87
D.- Perfilado y Compactación Final	6,749.47	21,558.85	168,805.79
Sumatoria Total	**22,318.71**	**103,226.60**	**S/. 808,264.31**

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2010)

Elaboración Propia

Así mismo se determinó las horas maquinas totales y el costo total de consumo de Combustibles para una técnica convencional tal como se visualiza en el Cuadro N°4. 33, además se consideró para el análisis de costo

todos los equipos que influyen directamente en las cuatro subpartidas desarrollado en el Anexo N°4. 19.

Cuadro N°4. 33. Horas maquina total y costo total de combustibles propuestos en la técnica convencional

Subpartidas	HM Total	Consumo Total (gal/hr.)	Costo Total (S/.)
A.- Corte de Material Existente	2,909.19	16,000.54	125,284.25
B.- Perfilado y Compactación en Zonas de Corte	5,449.78	17,257.65	135,127.39
C.- Base Granular	63,287.49	267,909.78	2,097,733.56
D.- Eliminación de Material Excedente a DME	21,762.49	82,669.26	647,300.30
Sumatoria Total	**93,408.96**	**383,837.23**	**S/. 3,005,445.50**

Fuente: (Ibañez, 2010)

Elaboración Propia

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la revisión de las actividades desarrollados en el mantenimiento periódico, tanto del diseño de mezclas y el diseño estructural para los tramos homogéneos establecidos en la fase pre operativa del proyecto fueron utilizados para la obtención de análisis de presupuesto por recursos para ambas alternativas de solución de rehabilitación de pavimentos, los cuales se observa en las siguientes líneas.

Además la aplicación de la técnica de reciclado de pavimentos con la tecnología de asfalto espumado en este proyecto reporto ventajas de tipo técnico, ambiental y económico respecto a un sistema convencional, lo cual es muy beneficioso y rentable para proyectos, que se desarrollan por contratos de niveles de servicio los cuales están contemplados en corredores logísticos de longitud que comprende desde 300 km a 500 km, al innovar la tecnología de asfalto espumado en el reciclado de pavimentos se obtiene ahorros significativos y ventajas energéticos y ambientales, los cuales son técnicas cuyo principio están basados en el criterio de sostenibilidad para

carreteras a rehabilitarse en el futuro. Además es importante conocer los siguientes puntos que se debe tener en cuenta respecto a las propiedades de los materiales utilizados para producir el asfalto espumado.

- Cuando el asfalto espumado entra en contacto con los agregados, las burbujas de asfalto revientan en millones de pequeñas gotitas de asfalto (de baja viscosidad) que se adhieren a las partículas finas, (Específicamente a la fracción menor a 0.075 mm, pasa la malla No. 200).

- La mezcla espumada produce un material fino ligado con asfalto (mastic) que actúa como mortero entre las partículas gruesas. A diferencia del concreto asfáltico, hay poco recubrimiento del material grueso.

- En materiales con deficiencia de finos se recomienda la adición de material filler, como por ejemplo, Cemento Portland, el cual ayuda a mejorar la resistencia retenida en condiciones de humedad, mejora la dispersión del asfalto al incrementar el contenido de finos menor a 0.075 y disminuye la plasticidad en caso de existir material con cierta cantidad de arcilla.

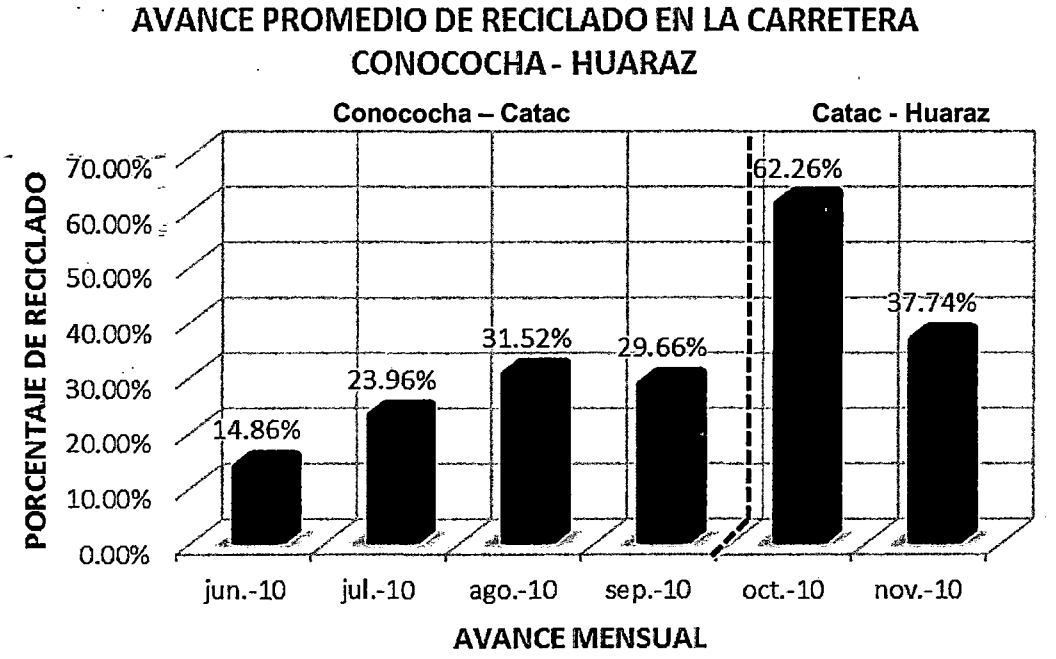
- Cemento Portland Tipo I (ASTM C 150) colocado sobre el tramo por reciclar para incrementar la cantidad de material menor a 0.075 mm y mejorar resistencia retenida de la mezcla.

- El diseño de la mezcla de material estabilizado con asfalto espumado, se realiza en coordinación con el supervisor, a fin de realizar la dosificación a "escala real" utilizando el equipo de reciclado Wirtgen 2500-S (proyecto Conococha – Huaraz) para determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla.

5.1.1 Ventajas técnicas

- Para el caso de ventajas técnicas como una consecuencia de un proceso constructivo de alto rendimiento se obtuvo al aplicar la técnica de RPTAE fue favorable debido que el periodo efectivo de ejecución para la técnica RPTAE fue de seis meses. En tanto que para un sistema tradicional de rehabilitaciones de pavimentos resulto de catorce meses. obteniendo así un ahorro de ocho meses. En la Grafico N°5. 1 se presenta el avance promedio mensual de reciclado realizado con la tecnología de asfalto espumado en la etapa de mantenimiento periódico de la carretera Conococha – Huaraz.

Grafico N°5. 1. Avance promedio de reciclado con asfalto espumado en la carretera Conococha – Huaraz



Fuente: Elaboración propia

- El avance promedio en una jornada normal de trabajo para el tramo reciclado determinado fue de 760 m de avance diario a calzada completa de 7.2 m de ancho y para el ancho de rotor de reciclador Wirtgen 2500 – S de 2.5 m con tres cortes a lo largo del ancho de la vía, considerando ciertos traslapes de acuerdo a la geometría de la carretera, en donde el avance está directamente relacionado con el

espesor de la carpeta asfáltica existente, en donde para el tramo Conococha – Catac resulto variable de (2.0 cm – 7.5 cm), mientras que para el tramo Catac – Huaraz está comprendido entre (3.0 cm – 5.0 cm).

- La base reciclada terminada puede ser abierta al tránsito sin protección superficial, pero por un tiempo limitado y con una serie de restricciones. Tales como la base reciclada debe cumplir con el control de compactación exigido, y con los espesores específicos y durante el periodo de apertura al tráfico, la base reciclada debe ser humedecida mediante un riego de aspersión con una frecuencia de al menos dos horas y en toda la longitud del tramo. El periodo máximo para mantener el tráfico bajo estas condiciones dependerá de las condiciones climáticas y de tráfico, pero se recomienda que esta no se prolongue más de 5 días. Si se requiere mantener la apertura al tráfico por un tiempo prolongado, deberá ser aplicado un riego de liga tal como realizado en este proyecto. El periodo máximo para mantener el tráfico bajo esas condiciones dependerá de las condiciones climáticas y de tráfico.

- El ensayo de tracción indirecta reproduce el estado de tensiones en la fibra inferior de la capa asfáltica o zona de tracción. Es un método práctico y sencillo para caracterizar las propiedades de las mezclas bituminosas o evaluar el fallo provocado por tensiones de tracción. La resistencia promedia obtenida proveniente de la rotura de probetas en condición seca fue de 355.204 kpa, mientras que para las probetas sometidas a condición húmeda fue 255.699 kpa; es decir, se cumplieron los valores mínimos de 200 kpa y 100 kpa estipulados en el PCV.

- Asimismo, se obtuvo una resistencia conservada promedio de 72.0% el cual refleja la óptima relación entre resistencias en condición húmeda y seca. Este parámetro de control se obtuvo mediante la siguiente formula: TSR= (ITS húmedo / ITS seco) x 100.

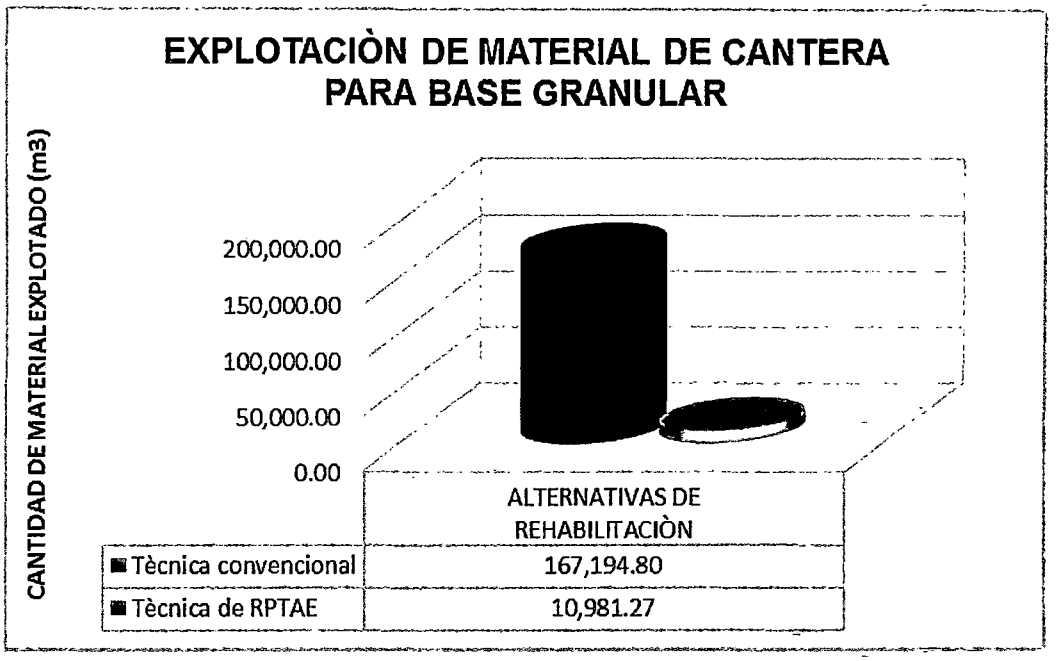
5.1.2 Ventajas ambientales

- Dentro de las ventajas ambientales se tiene la reutilización de material existente en la vía. En donde para la técnica RPTAE solo se utilizó el 7% de material granular procedente de cantera Tuco, en comparación a la técnica convencional. En cuanto a la eliminación de material excedente para la técnica de RPTAE se utilizó el 100% de material existente.

- En la Grafico N°5. 2 se observa la cantidad de material explotado para ambas técnicas de rehabilitación de carreteras, en el cual se observa que para la técnica convencional se utiliza mayor cantidad de material granular de cantera. En tanto que en el Grafico N°5. 3 se observa la cantidad de material (pavimento viejo) eliminado en DMEs o botaderos en ambas técnicas, para lo cual al aplicar la técnica de reciclado con asfalto espumado no se generó ningún material residual debido a que se ha reutilizado todo el material existente en la carpeta de rodadura y parte de base granular, mezclados ambos materiales conforman el pavimento asfaltico recuperado (RAP).

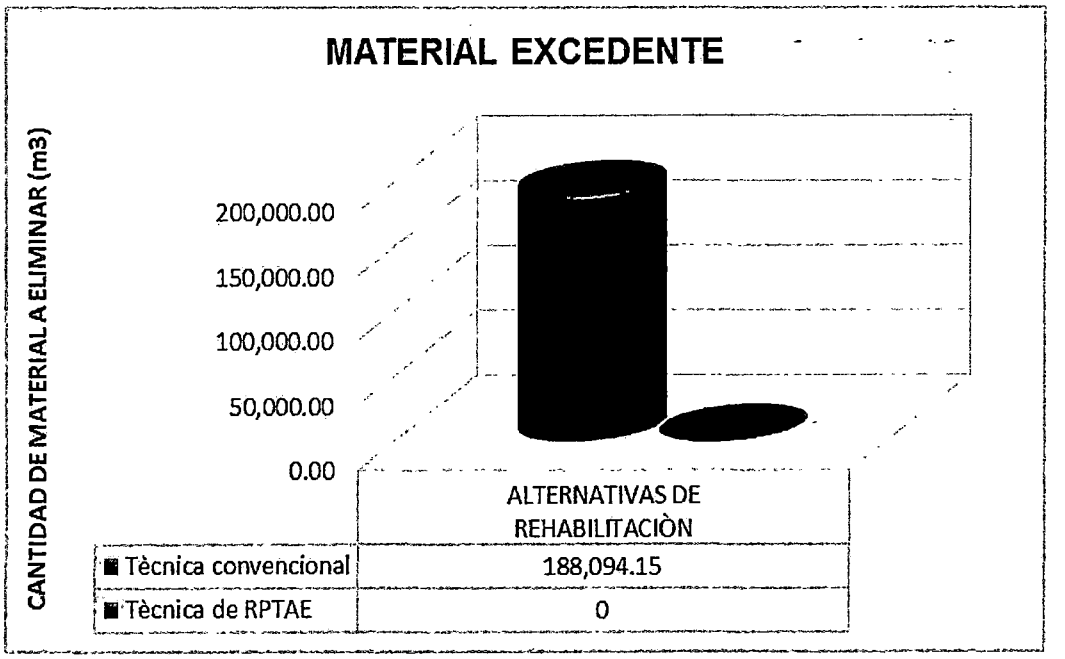
- En cuanto a la emisión de CO_2 para este proyecto no se encontró ningún reporte en el mantenimiento correctivo, debido a que en los términos de referencia no contempla el control de agentes contaminantes que perjudican al entorno ambiental. Además el Ministerio de Transportes y Comunicaciones todavía no considera en el marco normativo, el control de agentes contaminantes para contratos de niveles de servicio, puesto que para el caso de proyectos de infraestructura vial correspondientes a minera es obligatorio el control adecuado de estos causantes que dañan al medio ambiente.

Grafico N°5. 2. Explotación de material de cantera para base granular



Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5. 3. Cantidad de material excedente a eliminar



Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Ventajas economicas

Las ventajas económicas que presentan las técnicas de reciclado con asfalto espumado son debido fundamentalmente a las operacionales que presenta la tecnología frente a las técnicas tradicionales. El crecimiento global de

máquinas fresadoras – mezcladoras en frio a nivel mundial permiten obtener altos rendimientos en proyectos de rehabilitación de pavimentos generando un ahorro en tiempo y costos significativos respecto a otras técnicas.

- En la presente investigación se determinó el costo total de material para base granular utilizado en la técnica RPTAE resultando un ahorro en costo de material granular de 93% en comparación a la técnica convencional tal como se observación en la Grafico N°5. 4.

- En cuanto al costo de eliminación de material excedente, para técnica de RPTAE se ha obtenido un ahorro de 100% en la eliminación de material excedente a DMEs y botaderos tal como se visualiza en la Grafico N°5. 5.

- Los insumos de mano de obra utilizada en la técnica de RPTAE y la técnica convencional, es directamente proporcional al costo de horas hombre utilizado en el mantenimiento correctivo de la carretera Conococha – Huaraz. Al aplicar la técnica del reciclado de pavimento utilizando la tecnología de asfalto espumado; resulto menor, en el consumo de horas hombre, si en caso que si se hubiera usado la técnica convencional tal como se visualiza en el Grafico N°5. 6 alcanzando un ahorro equivalente a 62.0 % del costo total de insumos de mano de obra respecto al propuesto para la técnica convencional.

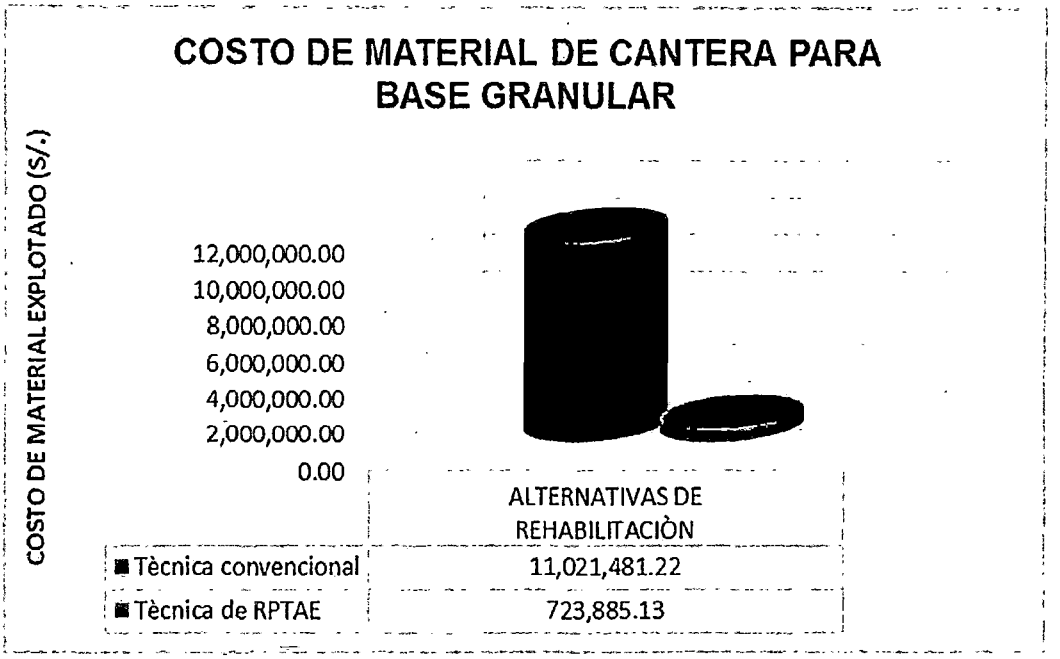
- Los insumos de materiales de obra utilizado en la técnica del reciclado de pavimento con asfalto espumado, es mucho menor que si se hubiera usado la técnica convencional, alcanzando un ahorro de 38.0 %, en insumos de materiales comparado a una técnica convencional. Es cierto que para técnica de reciclado con asfalto espumado los insumos más influyentes son el cemento asfaltico y el cemento portland pero que estos son superado en costo por el material granular nuevo procedente de cantera utilizado en la técnica convencional. En el Grafico N°5. 7 se visualiza la diferencia de costo total para ambas técnicas de rehabilitación de pavimentos.

- El sustento técnico del análisis detallado de precios unitarios por recursos para los equipos que fueron utilizados en el proyecto de mantenimiento periódico de la carretera Conococha – Huaraz, en donde el costo total de insumos de equipos sin combustible asciende a S/.2,034,130.21 que está directamente relacionado con las horas máquinas, el cual equivale solo al 21.50 % con respecto al costo de insumos propuestos de equipos para la técnica convencional, obteniendo así un ahorro de 78.5%.

- Debido al ahorro en tiempo de ejecución de ocho meses al aplicar la técnica de reciclado con la tecnología de asfalto espumado frente a un sistema convencional se ha obtenido un ahorro de 57.0 % en gastos generales tal como se observa en el Grafico N°5. 9.

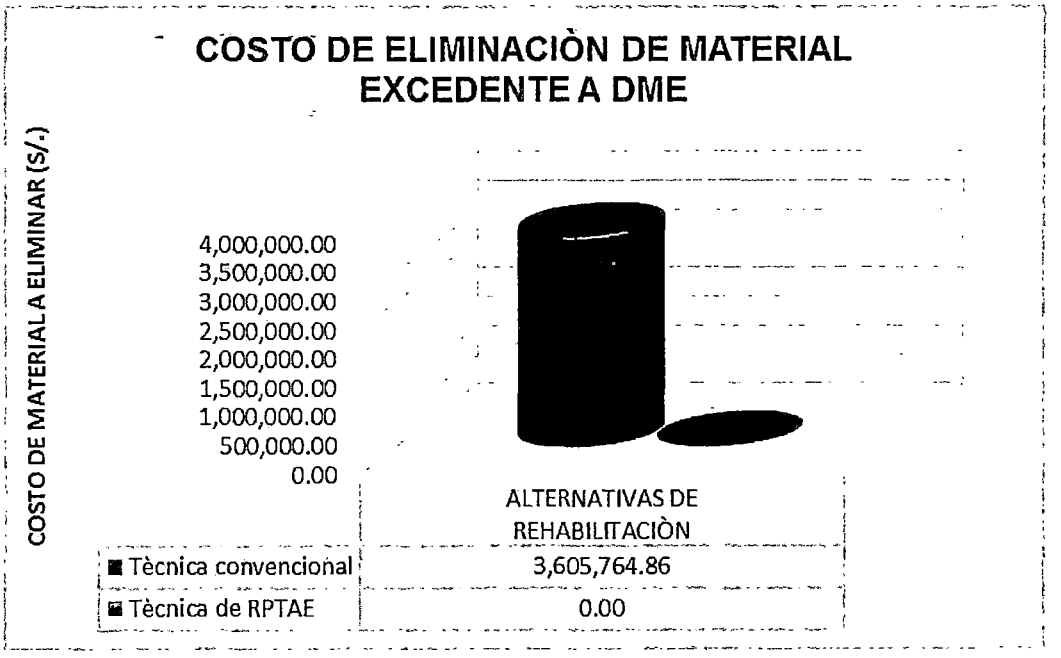
- Otra de las ventajas de utilizar el asfalto espumado en comparación con los métodos tradicionales de mezcla en caliente, son del tipo energético. La estabilización con asfalto espumado de un reducido consumo de energía en comparación con el método tradicional. Para el caso del presente proyecto se evaluó el consumo de energía, el cual es proporcional a horas máquinas y consumo total de combustible para ambas técnicas utilizados y propuestos en el mantenimiento periódico de la carretera Conococha – Huaraz, tal como se observa en la Grafico N°5. 10. En donde para la técnica RPTAE se ha obtenido un ahorro en costo total de consumo de combustible (ahorro energético) de 73% respecto a la técnica convencional.

Grafico N°5. 4. Costo de material de cantera para base granular



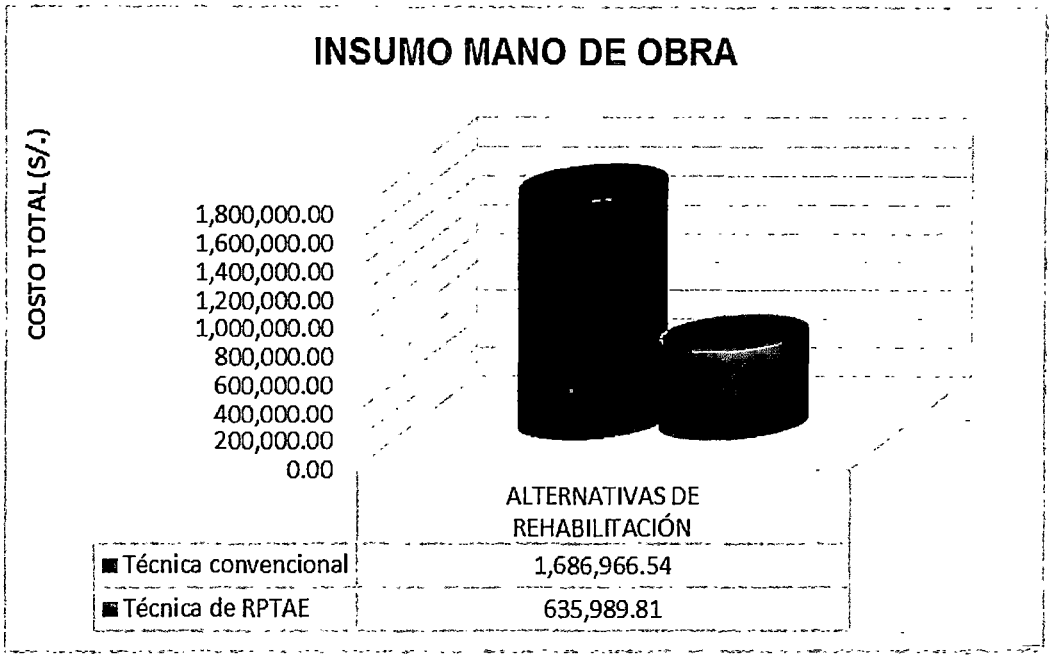
Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5. 5. Costo de eliminación de material excedente a DMEs



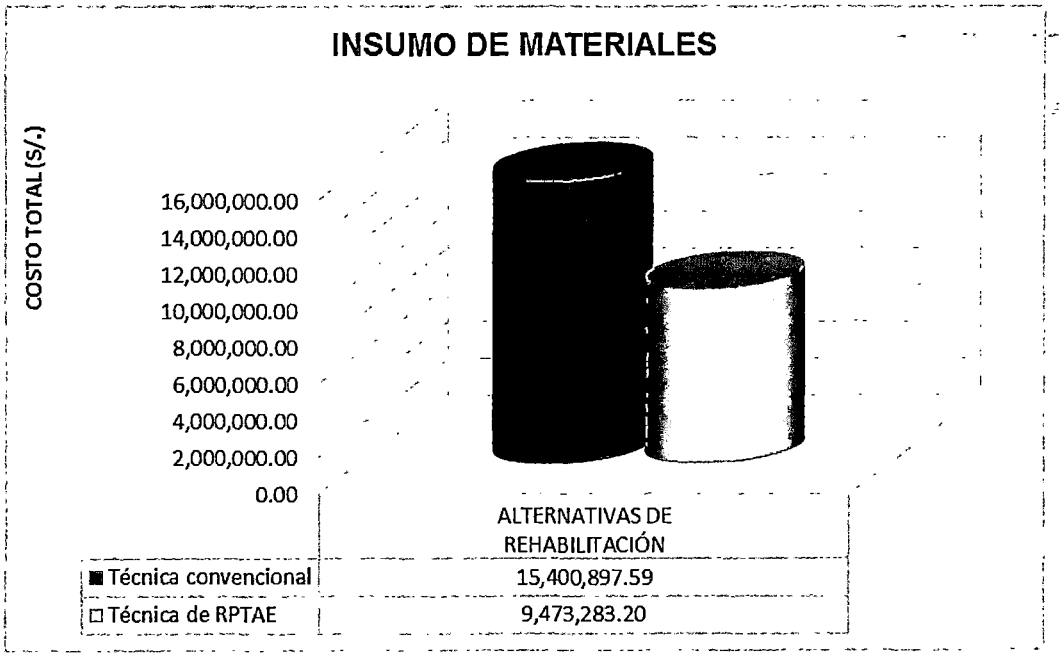
Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5. 6. Costo total de insumo mano de obra técnica RPTAE vs técnica convencional



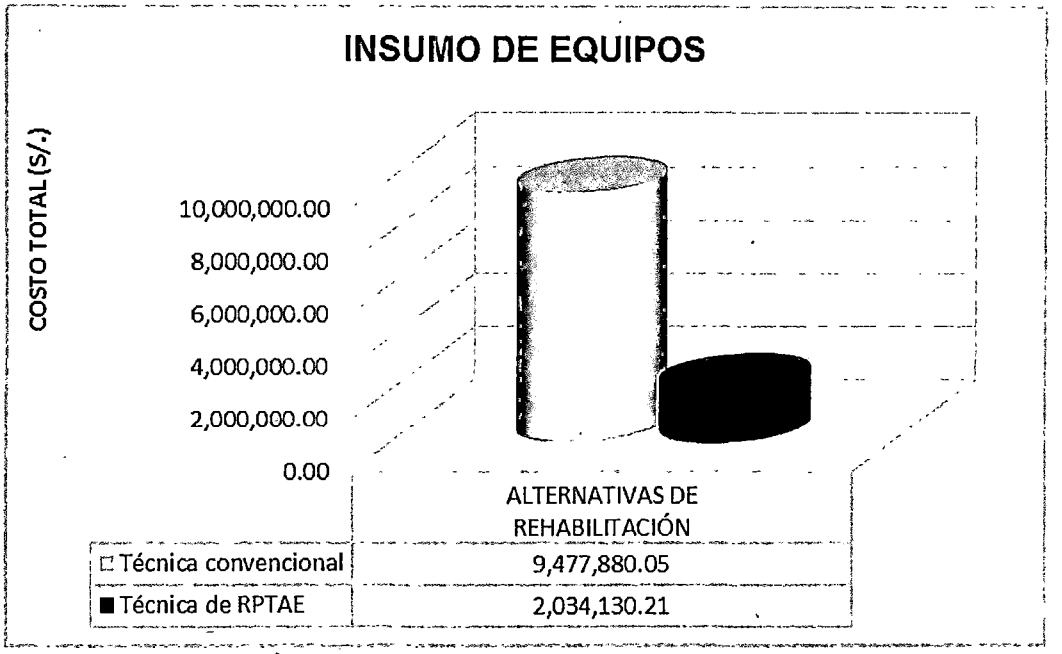
Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5. 7. Costo total de insumo materiales técnica RPTAE vs técnica convencional



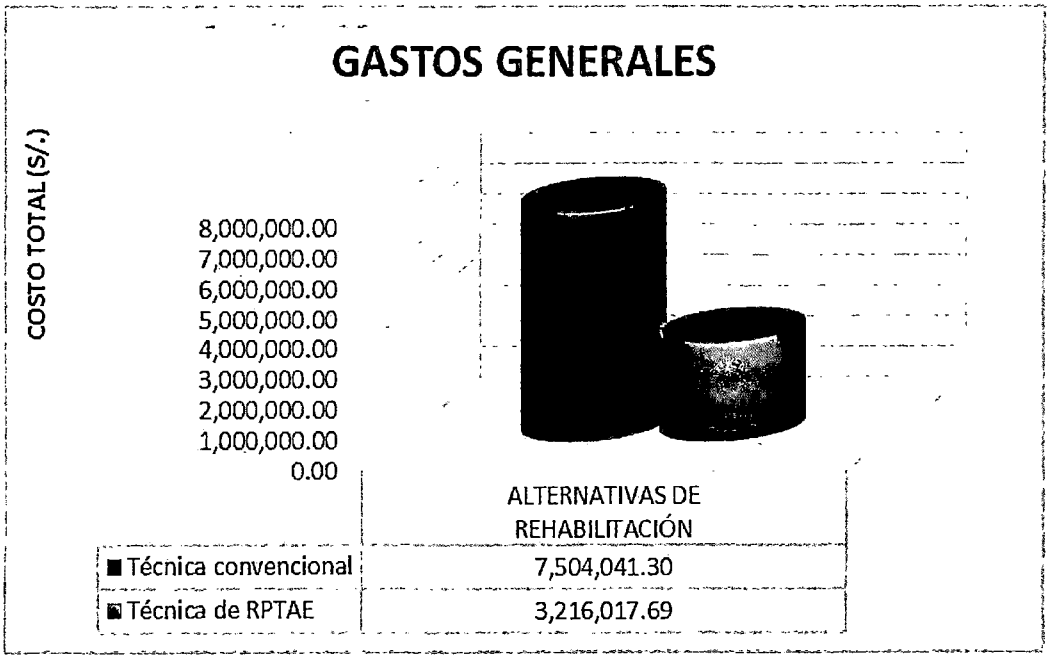
Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5. 8. Costo total de insumo de equipos técnica RPTAE vs técnica convencional



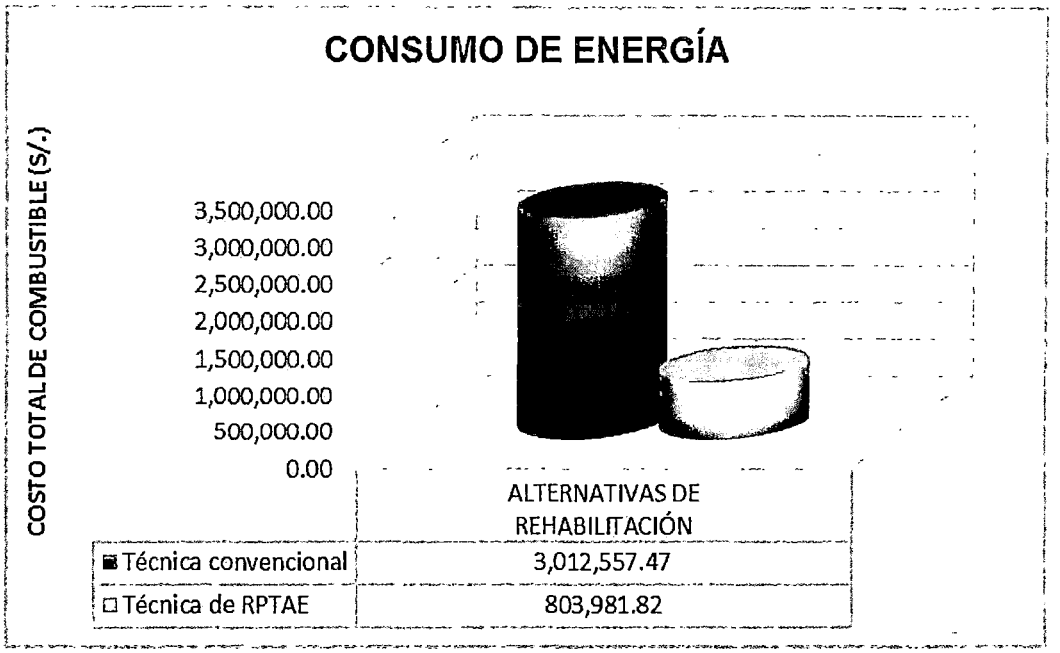
Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5. 9. Costo total de gastos generales técnica RPTAE vs técnica convencional



Fuente: Elaboración propia

Grafico N°5. 10. Costo total de consumo de energía técnica RPTAE vs técnica convencional



Fuente: Elaboracion propia

La discusión de resultados apuntan a que el éxito en las futuras aplicaciones de esta tecnología depende básicamente de tres aspectos: planificación logística y conocimiento de la técnica del reciclado en frio in-situ con asfalto espumado. De acuerdo a la experiencia obtenida del proyecto, se concluye que la técnica es una excelente alternativa para la rehabilitación de pavimentos asfalticos deteriorados.

5.2 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

El objetivo de contrastación de hipótesis es para ver si las afirmaciones o conjeturas supuestas en la presente investigación son aceptadas o rechazadas.

Una conjetura hecha sobre una población o sobre sus parámetros deberá ser sometida a comprobación experimental con el propósito de saber si los resultados de una muestra aleatoria extraída de esa población, contradicen o no tal conjetura. Este paso es realizado para investigaciones experimentales, para el caso de la presente tesis no es necesario tal prueba debido a que el diseño de esta investigación es no experimental y de tipo descriptivo. Pero La

hipótesis general planteado en esta investigación "*La aplicación del reciclado con asfalto espumado respecto a la técnica convencional reportó ventajas, del tipo técnico, ambiental y económico, en la etapa de conservación periódica, de la carretera Conococha – Huaraz entre los años 2010 al 2011*" se acepta como verdadera, puesto que en la etapa de conservación periódica del proyecto Conococha – Huaraz se ha reportado ventajas del tipo técnico, ambiental y económico respecto a una técnica convencional de rehabilitación de pavimentos, tal como se demuestra en los resultados indicados Sección 5.1 de este capítulo. Además los puntos más relevantes por las que se acepta esta hipótesis se menciona en los siguientes párrafos.

Menor tiempo de ejecución: El tiempo de ejecución de los trabajos es menor al tiempo empleado comúnmente en obras de similar propósito. Para el mantenimiento periódico de los 78.5 Km. de la carretera Conococha – Huaraz se emplearon 6 meses efectivos de trabajo; es decir, que se ejecutaron aproximadamente 13.0 Km. de pavimento reciclado y terminado por mes.

Menor impacto al entorno ambiental: Esta tecnología de reciclado consiste en reutilizar todos los recursos existentes en la vía; es decir, recuperar la propiedades estructurales de los materiales del paquete estructural que cumplieron su vida útil; por lo tanto, es medio ambientalmente más responsable y sostenible, pues no genera impactos negativos al ambiente, las comunidades, ni al entorno. Además cabe resaltar que entre sus principales bondades y beneficios encontrados son los siguientes:

- No se genera explotación masiva ni depredación de canteras pues no se requiere elaborar material para Base Granular (Aprox. 42,000 m3 por Km. caso de aplicar técnica convencional).

- No se genera contaminación por habilitación de botaderos ni DMEs para eliminación de residuos contaminantes, pues todo el material necesario se toma del paquete estructural existente y se reutiliza en el reciclado.

- Reducción significativa en la cantidad de equipos, agua, combustible consumido y por ende en la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera.

Menor costo por kilómetro: La adición de asfalto espumado se realiza in - situ, por lo que no requiere el uso de Plantas Externas (caso de técnica convencional), suprime los costos por acarreo y transporte de material y considerando el menor tiempo de ejecución, también disminuyen los costos por concepto de Gastos Generales. Por todo ello concluimos que esta tecnología es más económica y rentable. El costo aproximado fue de US$ 155 mil por Km. vs. US$ 380 - 420 mil por Km. (costo de un proyecto convencional).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Actualmente el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través del programa de infraestructura vial denominado "Proyecto Perú II" está proponiendo dentro de sus Términos de Referencia el uso reciclados con asfaltos espumados y emulsiones asfálticas, debido principalmente a su buen comportamiento, facilidad de construcción, compatibilidad con un amplio rango de tipos de agregados y ventajas ambientales y energéticas.

- En la etapa pre operativo del proyecto se realizó un estudio integral de pavimento, analizando su comportamiento estructural, utilizando ensayos no destructivos (cada 25 m) y ensayos destructivos, para estos últimos se ejecutó calicatas en todo los kilómetros, con profundidades de 1.50m (1.0 calicata / Km). De esta manera fue posible disponer de un análisis detallado, de espesores, de materiales, del perfil estratigráfico del pavimento existente, así como a las densidades a las que estaba trabajando cada capa, lo que

permitió determinar en laboratorio los valores de CBR que estaban efectivamente operando in-situ.

- La evaluación del estado de la carretera Conococha – Huaraz fue realizado en el año 2010 en la fase pre operativa, está evaluación según el índice del PSI resulto entre "MALA y REGULAR" de conservación y que era necesario una intervención periódica, para así evitar que el deterioro del pavimento se expanda de manera exponencial y en consecuencia se pierda la inversión inicial.

- El cemento asfaltico utilizado fue PEN 85/100 para espumar, descartándose asfaltos blandos por su mayor susceptibilidad al envejecimiento prematuro y asfaltos duros pues producen espuma de mala calidad, generando una dispersión pobre. De acuerdo al diseño de mezclas el contenido de inyección de asfalto se establece en 1.5%, para un óptimo contenido humedad de 2.0% a 160°C y 1.00% de cemento portland tipo I.

- El beneficio de aplicar la tecnología de reciclado con asfalto espumado es obtener mayor aporte estructural, proporcionando una capa de base estabilizada con propiedades físicas y mecánicas que aseguran un pavimento más duradero en el tiempo. Es decir para un mismo nivel estructural se obtiene un espesor menor al aplicar una base estabilizada, respecto al sistema convencional, es así que para la presente investigación se ha obtenido una reducción aproximado al 30% del espesor de la estructura del pavimento.

- El rendimiento diario que se obtuvo al aplicar la técnica de reciclado con asfalto espumado en el corredor vial en estudio, fue de alto rendimiento y favorable en comparación a la aplicación de un sistema convencional de rehabilitaciones de pavimentos, ya que se empleó aproximadamente menos de la mitad del tiempo propuesto en la técnica convencional, con un avance promedio diario de 760.00 m en una jornada normal.

- La tiempo de apertura el tránsito no fue un obstáculo durante la ejecución del mantenimiento periódico de la carretera Conococha - Huaraz, ya que el proceso constructivo no interfirió con el paso de los vehículos, puesto que estos circularon libremente por media calzada, debido al ancho de la vía de 7.2 m, de esta manera, fue posible reducir la interrupción del tráfico y evitar accidentes con el usuario.

- De acuerdo a la evaluación funcional del último relevamiento de información del año 2014 del contrato contractual, la serviciabilidad de la vía, la calidad de servicio que se presta, o la capacidad de un pavimento de ofrecer el adecuado confort y seguridad a los usuarios, que se mide en la actualidad con el PSI, resulto como una clasificación "BUENA".

- La resistencia estructural representada, superó los límites mínimos indicados en el PCV de la carretera, mediante los ensayos de Deflectometría (realizados cada 200m/carril) y Tracción Indirecta, demostrando así la resistencia de la base estabilizada con asfalto espumado. Como resultado de la evaluación se obtuvo, que los valores de la deflexión promedio no sobrepasan la deflexión admisible determinado, en el tramo Conococha - Catac es de 132 mm/100 y de 123 mm/100 para el tramo Catac – Huaraz, con el que se concluye el buen estado estructural de la vía al termino de contrato. Así mismo los resultados obtenidos de ITS para condición seca (355.20 Kpa) y húmeda (255.70kpa) superaron los requerimientos de las especificaciones técnicas (200 Kpa y 100.0 Kpa respectivamente).

- En cuanto a las ventajas ambientales se presentaron 0.000 m3 de material excedente de la aplicación de la técnica RPTAE representando un ahorro de 100% en costo de eliminación, el cual no generó residuos contaminantes al medio ambiente ni uso de botaderos ni DMEs. Si en caso de usarse la técnica convencional habría sido necesario eliminar el material deteriorado, de 188,094.15

m3 de material el cual representa un costo en transporte de S/.3,605.764.86.

- Para la presente investigación se utilizó la Cantera Tuco, para calcular la distancia promedia, para ambas técnicas debido a que es viable en términos de calidad de materiales, potencia, rendimiento, accesos y disponibilidad, la cual fue utilizado en la etapa pre operativo y en las obras de emergencias viales hasta la fecha de término de contrato.

- Desde el punto de vista ambiental y económico la técnica RPTAE no necesita obtener material granular nuevo para la base, ya que reutiliza el material existente en la vía (pavimento viejo) y que cumpla ciertos requisitos de calidad, por consiguiente, se consiguió ahorrar 156,213.53 m3 de material granular equivalente al 93.0 %, en relación a lo que si se hubiese propuesto aplicar una técnica convencional.

- Con respecto a la emisión de polvo fue mucho menor aplicando la técnica del RPTAE, ya que la recicladora Wirtgen 2500-S, que se usó en este proyecto, realizo el proceso de mezclado en su cámara interna o bóveda de mezcla, lo cual generó un proceso menos nocivo al medio ambiente.

- En cuanto a las ventajas económicas se establece un ahorro económico de 60% en cuanto al costo de consumo de insumos como mano de obra, materiales y maquinarias, al aplicar la técnica de RPTAE con respecto al sistema convencional de rehabilitación de pavimentos, esta diferencia de ahorro es influenciado por la distancia media de transporte y por la cantidad mayor de material granular requerido, si en el caso de proponer aplicar el sistema convencional.

- Debido al alto rendimiento de la técnica RPTAE, el tiempo de ejecución para la carretera en estudio fue mucho menor con respecto a la técnica convencional, lo cual generó un ahorro notable de 4.3 millones soles aproximadamente en gastos generales.

- El RPTAE se realiza en in-situ, por lo que no requiere el uso de plantas externas, suprime los costos de transporte de material, acarreo, eliminación de material excedente y considerando menor tiempo de ejecución, también disminuyen los costos por concepto de GG. Por lo cual concluimos que esta tecnología es más económica. El costo ascendió a US$.155 mil por Km versus US$. 380 – 420 mil por Km. para una técnica convencional.

- Con respecto al ahorro de energía, está relacionado directamente a las horas máquinas utilizados y al consumo de combustible, para el presente proyecto de investigación se utilizó el 23% de horas máquinas y 27% en consumo total en combustible al aplicar la técnica de RPTAE respecto a un sistema convencional, obteniendo así un ahorro energético de más de 70%, para este proyecto de investigación.

6.2 RECOMENDACIONES

- La aplicación de la Técnica del Reciclado de Pavimento con Asfalto Espumado es limitada en el Perú, puesto que se trabajan con manuales internacionales como Wirtgen (Manual de reciclado en frio de Alemana), TG2 (Guía Técnica de Diseño y uso de materiales tratados con asfalto espumado de procedencia Sudafricana), Manual de carretera de chile Vol. 05 y la del Instituto Nacional de Vías de Colombia (Artículo N° 461), es por ello recomendable que se siga investigando esta tecnología en el país.

- Es recomendable tomar en cuenta el Reciclado con Asfalto Espumado o Emulsión Asfáltica en frio en in situ las cuales son técnicas sostenibles, cuyo principio está basado en los tres erres (Reducir, Reciclar y Reutilizar) para hacer frente al déficit, que presenta el país, en tener carreteras de buen estado.

- Como en todas las operaciones de actividades múltiples y de alto rendimiento, el éxito del proyecto de reciclado depende de una buena planificación. Antes de comenzar con el reciclado de pavimentos es recomendable capacitar a todos los trabajadores involucrados en esta actividad, tales como a cuadrillas de trabajo, operadores, laboratoristas, topógrafos y personal relacionado con el área técnica, para lograr un beneficio en los objetivos trazados del proyecto.

- Es recomendable verificar las siguientes actividades antes de la aplicación del asfalto espumado tales como: conexión del tren reciclador, trazo de la faja, la condición ambiental y temperatura, temperatura y dosis del cemento asfaltico, dosis de agua de espumación y compactación, dosis del cemento portland, banda granulométrica, contenido de finos.

- Se recomienda incorporar como encargado del tren de reciclado a un Ingeniero o Asistente Técnico que posea atribuciones para coordinar y tomar decisiones técnicas referidas al reciclado. Su presencia en terreno debe ser permanente para controlar la velocidad que debe estar entre 5 - 10m/min y la correcta aplicación de la tecnología y evitar posibles incumplimientos.

- Es recomendable obtener una granulometría continua, en mejor de los casos con el tamaño del agregado menor a 2" y el contenido de finos del agregado sobre un 5%, debido a la dispersión del asfalto espumado y a la facilidad en la compactación, ya que se reducen los vacíos y por lo tanto la susceptibilidad al ingreso de agua. Es decir cuando sea necesario, debe considerarse la posibilidad de adicionar materiales para mejorar una granulometría deficiente.

- Durante la construcción de cada tramo reciclado debe llevarse, eventualmente a cabo controles al asfalto como la obtención de la vida media y razón de expansión para controlar la calidad de la espuma.

- Es recomendable verificar el material disgregado después de que haya pasado la maquina recicladora por la carretera, ya que deberá cumplir con la gradación establecida. Las partículas de gran tamaño perjudican el proceso de compactación, ocasionando en el futuro un fisuramiento temprano por el número de repeticiones de carga, reduciendo la vida funcional del pavimento, ya que este se determinara en términos del número de veces que puede ser cargado hasta que falle.

- Definir el ancho de la carretera es de vital importancia debido a que determina el número de pasadas de reciclado (cortes) requeridas para cubrir el ancho completo. Secciones de ensanche o angostamiento, requieren especial consideración. Adicionalmente, la forma de la superficie (bombeo o pendiente transversal) influye en el posicionamiento de juntas longitudinales entre cortes adyacentes.

- El detalle de cada traslapo entre los cortes es uno de los primeros requerimientos de la planificación de un proyecto. El traslapo se debe restar del ancho del tambor para determinar el ancho efectivo a estabilizar por cada corte, definiendo a su vez la cantidad de agua y agente estabilizador que se requiere incorporar. El hecho de lograr juntas con traslapos adecuados es muy importante para el desempeño final de la capa reciclada.

- La uniformidad de la aplicación del cemento sobre la superficie del pavimento o en el material granular adicionado es fundamental para que el producto estabilizado alcance la resistencia requerida en las especificaciones.

- Las juntas transversales son discontinuas en el ancho de corte que son formadas cada vez que la operación de reciclado comienza o se detiene. Cada detención, incluso aquellas de pocos minutos que se realiza para cambiar las cisternas, crea una junta que es esencialmente un cambio en la uniformidad del material reciclado. Por

eso la mejor manera de sobreponerse a este problema es haciendo retroceder el tren en al menos un diámetro del tambor de fresado en el material previamente reciclado, asegurando así que todo el material reciba tratamiento en el ancho efectivo de la junta.

- Debe evitarse una dosificación de cemento superior al 1,5%, porque un porcentaje mayor de cemento tiene un efecto negativo, ya que produce la perdida de flexibilidad en la capa estabilizada con asfalto.

- Se debería estudiar el efecto de los agentes anti – espumantes que a veces están presentes en los cementos asfálticos derivados del petróleo.

BIBLIOGRAFÍA

Akeroyd , F. M., & Hicks B., J. (1988). Foamed bitumen road recycling. *Highways, 56*(1933), 42-43,45.

Arrieta, F. Elizondo. (2010). Programa en Ingenieria en Infraestructura del Transporte. *Costa Rica alternativas de mantenimiento para carreteras*.

Asphalt Academy. (2009). TG 2 Guia Tecnica. *Estabilizacion de Materiales Asflaticos, Diseño y Construcción de Asfalto Espumado y Emulsiones Asfalticas en Estabilizacion de Materiales, 2da Edición*. Pretoria, Sudafrica.

Asphalt Institute. (1982). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.* Estados Unidos: FHWA IP-82-22.

Asphalt Institute. (1990). Manual Basico de Emulsiones Asfalticos. *Manual Serie .N°19*. USA: Asphalt Emulsion Manufactures Association (AEMA).

ASSTHO. (1993). Guia ASSTHO para Diseño de Estructuras de Pavimentos. *Traducido por: Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Peru (IDPP)*. Lima, Perú.

Badilla Vargas, G., Elizondo Arrieta, F., & Barrantes Jiménez, R. (2008). Unidad de Investigación. *Determinación de un Procedimiento de Ensayo para el Cálculo del IRI*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Univercidad de Costa Rica.

Bowering, R. H. (1970). Properties and behavior of foamed bitumen mixtures for road building. *Proceedings of the 5th Australian Road Research Board Conference*. Canberra, Australia: Australian Road Research Board.

Ceron Bermudez, V. G. (2006). Evaluación y Comparacion de Metodologías Vizir y PCI sobre el Tramo de Via en Pavimento Flexible y Rigido de la Vía: Museo Quimbaya – Crq Armenia Quindío (km 00+000 – km 02+600). *Facultad de Ingenieria y Arquitectura*, 17. Verum, Colombia.

Conalvias Perú. (2010). *Recomendacion Preliminar de Dosificación de Materiales para el Reciclado con Asfalto Espumado.* Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

DGCF. (2014). *Medicion y Georeferenciación de Puntos Notables de la Ruta PE-3N y Ruta PE-16 del Corredor Vial Emp.1N-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y Emp.PE-3N-Chiquian-Emp.PE-3N.* Lima. Obtenido de www.proviasnac.gob.pe

Escalante Zegarra, J. R. (2011). Evaluacion del Comportamiento de Ligantes Asfalticos y Mezclas Asfalticas Convencional y Modificado con Polimero SBS tomando en Consideracion las Especificaciones Superpave. *XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.* (págs. 1-13). Rio de Janiero, Brasil: CILA.

Fernández Machado, J. M. (2010). Tesis de Grado. *Estudio Definitivo y Ejecución de la Carretera Conococha - Yanacancha*, 20. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.

Galván Huamaní, L. M. (2015). Tesis de Grado. *Criterios de Análisis y Diseño de una Mezcla Asfáltica en Frío con Pavimento Reciclado y Emulsión Asfáltica*. Lima, Perú: UNI.

González, M., & Thenoux, G. (2010). Caminos Básicos y Reciclado de Pavimentos con la Tecnología del Asfalto Espumado. *Pontificia Universidad Católica de Chile* (pág. 42). Santiago: DITUC S.A.

Goyzueta Torres, G. G. (2015). Aplicación de Micropavimento Tipo III en Zonas de Altura para Mejorar las Condiciones de Fricción Superficiales en Pavimentos Asfálticos. En ICG, *Pavimentos* (págs. 87-88). Lima: ICG.

Guerrero Abrego, O. W., Martínez Rodríguez, O. E., & Portillo Revelo, J. M. (2014). Tesis de Grado. *Estabilización de Material Reciclado de Carpeta Asfáltica, Utilizando Asfalto Espumado, Mediante Metodología Wirtgen para ser Empleado como Base en Pavimentos*, 57. San Salvador, El Salvador: Universidad de el Salvador, Facultad de Ingenieria y Arquitectura, Escuela de Ingenieria Civil.

Guevara Palma, M. R., Mendez Delgado, H. A., & Pimentel Gomez, J. C. (2010). Tesis de Grado. *Diseño de Mezclas Asfalticas Densas en Frio Basado en el Metodo Marshall Modificado*, 44. Santa Ana, El Salvador: Universidad de Illinois de Centro America.

Gutiérrez Lázares, J. W. (2007). Tesis de Maestria. *Modelacion Geotecnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Analisis y Diseño en el Peru.* Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingenieria (UNI) .

Hernández Hernández, P. J. (2014). Tesis de Maestria. *Evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas utilizando pavimento reciclado, ligantes hidráulicos y emulsiones asfálticas.* Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola.

Hoffman, M. S., & Del Aguilar, P. M. (1985). Estudios de Evaluacion Estructural de Pavimentos basados en la Interpretacion de Curvas de Deflexiones. *Louis Berger Internacional Inc*, 9. Israel: Louis Berger Internacional Inc.; Lagesa Ingenieros Consultores.

Huaman Guerrero, N. (2011). Tecnologia del Asfalto. *Facultad de Ingenieria de la Universidad de RIcardo Palma*, 1-80. Lima, Perú: URP.

Huamán Guerrero, N. (2011). Tesis de Maestria. *La Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente Deterioro de los Pavimentos Asfálticos en el Perú*, 18. Lima, Perú: UNI.

Ibañez, W. (2010). Costos y Tiempos en Carreteras. En W. Ibañez, *Costos Directos* (2 ed., págs. 43-96). Lima, Perú: Macro E.I.R.L.

Jenkins, K. J., Van de Ven, M. C., & Groot J, L. A. (1999). Characterisation of Foamed Bitumen. *7th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa.* South Africa: CAPSA 99.

John S. Miller y William Y. Bellinger. (2014). Manual for the Long. *Term Pavement Performance Program (LTPP), FHWA-HRT-13-092.* Washington, EE.UU.

LanammeUCR. (2008). Proyecto N° UI-PC-04-08, Desarrollo de Herramientas de Gestión con base en la determinación de Índices de Red Vial Nacional. *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de Costa Rica.* San jose, Costa Rica: UCR.

LEMAC. (2008). Centro de Investigacion Vial. *Reciclado de pavimentos asfálticos en frío.* Buenos Aires, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional la Plata.

Loudon A, A., & Partners. (1998). Manual de Reciclaje en Frio. *Wirtgen GmbH Publicaciones, 1er Edición.* Windhagen, Alemania.

Macarrone S., Holleran G. , Leonard D., J., & Hey S. (1994). Pavement recycling using foamed. *17th ARRB Conference Proceedings held in Gold Coast* (págs. 15-19). Queensland.

Marini, S. (2006). Centro de Investigacion Vial. *Reciclado de pavimentos en frio.* Buenos Aires, Argentina: Universidad Tecnologica Nacional, Facultad Regional la Plata.

Méndez Gonzáles , G. R., Morán Gutiérrez, J. E., & Pineda Ramos, L. C. (2014). Tesis de Grado. *Diseño de Mezcla Asfáltica Tibia, Mediante la Metodología Marshall, Utilizando Asfalto Espumado*, 49-53. Centro America: Univerisidad de el Salvador, Facultad de Ingenieria y Arquitectura.

Menéndez Acurio, J. (2013). *Ingenieria de Pavimentos.* Lima, Peru: Instituto de la Construccion y Gerencia.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2010). Contrato . *Servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera Emp 1N - Conococha - Huaraz - Caraz - Molinopampa y Emp 3N - Chiquian - Aquia - Emp 3N.* (MTC, Ed.) Lima, Perú: Agencia de Promoción de la Inversión Privada (Pro Inversión) / Comité, MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2007). Especificaciones Técnicas Generales. *Conservación de Carreteras.* Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). Glosario de Terminos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial. Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2010). Informe de Control de Calidad . *Servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera Emp 1N - Conococha - Huaraz - Caraz - Molinopampa y Emp 3N - Chiquian - Aquia - Emp 3N.* Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2010). Plan de Conservación Vial. *Servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera Emp 1N - Conococha - Huaraz - Caraz - Molinopampa y Emp 3N - Chiquian - Aquia - Emp 3N.* Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2010). Propuesta Economica . *Servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera Emp 1N - Conococha - Huaraz - Caraz - Molinopampa y Emp 3N - Chiquian - Aquia - Emp 3N.* Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras. *Suelos, Geologia, Geotecnia y Pavimentos*, 23-24. Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras:. *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG)*. Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual. *Inventarios Viales*, 170,171,195. Lima, Perú: MTC.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). Informe de Quinto Relevamiento de Informacion. *Servicio de Gestión y Conservación Vial de la Carretera Emp 1N – Conococha - Huaraz – Caraz – Molinopampa y Emp 3N – Chiquián – Aquia – Emp 3N.* Lima, Perú: MTC.

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de Pavimentos para Carreteras* (2da Edición ed.). Bogota, Colombia: Ediciones y Publicaciones Universidad Catolica de Colombia, ISBN: 958-96036-2-9.

Motta, L., Tonial, I., Leite, L., & Constantino, R. (1996). Princípios do Projeto e Análise Superpave de Misturas Asfálticas. *Background of SUPERPAVE Asphalt Misture Design and Analysis*. (N. FHWA-SA-95-003, Trad.) Rio Janerio, Brasil: Petrobrás.

Múnera, Sergio. (1999). Metodos y Procesos Constructivos del Reciclado de Pavimentos en Vias Urbanas. *Facultad de Ingenieria Civil, Universidad de los Andes*. Bogota, Colombia.

Ordonez, A., & Minaya , S. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfalticos. En *Materiales Asfalticos* (págs. 54-55). Lima: ICG.

Paniagua , F., Halles, F., Thenoux Z., G., & González, A. (2013). Evaluación de la Rigidez a largo Plazo de Mezclas Estabilizadas con Asfalto Espumado y Cemento. *Presentación XVII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto* (pág. 3). Antigua Guatemala: CILA.

Petrobras. (2010). Manual Basico de Emulsiones Asfalticos y Asfalto. En *Asfaltos* (pág. 7). Rio de Janerio, Brasil: Petrobras Distribuidora S.A.

Rivera, E. G. (1998). *Emulsiones Asfalticas* (4ta Edición ed.). Mexico: Alfa omega Grupo Editor.

Roblez Diaz, R. A. (2009). *Tesis "Guía para Diseñar la Rehabilitación de una Ruta mediante el uso de Asfalto Espumado"*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Construcción Civil.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (2014). Guía de Procedimientos y Técnicas para la Conservación de Carreteras. *Dirección General de Servicios Técnicos, 1*, 425. Mexico: SCT.

Segura, A. N. (2013). Tesis de Maestria en Ingenieria Ambiental. *Utilización de Asfalto Modificado con NFU en un Microconcreto Discontinuo en Caliente*, 75. Cordova, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba.

Shell Bitumen. (1990). Shell Bitumen handbook. En *Shell Bitumen*. UK.

Sierra, L. E., & Forero, F. A. (2003). Tesis de Grado. *Caracterización Dinámica de Mezclas Asfálticas Recicladas en FríoyY Estabilizadas con Emulsión Asfáltica*. Santiago de Cali, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingenieria Civil.

Thenoux Z, G., & Gaete P, R. (2010). Evaluación Técnica del Pavimento y Comparación de Métodos de Diseño de Capas de Refuerzo Asfáltico. *Publicacion Pontificia Universidad Catolica de Chile y Dictu*. Santiago, Chile.

Thenoux Z, G., Halles A. , F., Nuñez V. , A., Gonzales H., M., & Osorio L., A. (2003). *Reciclado In Situ de Pavimentos de Asfalto Mediante la Técnica del Asfalto Espumado.* Santiago, Chile: Publicados por Pontificia Universidad Católica de Chile y Dituc S.A.

Thenoux Z., G. (2010). Técnicas Reciclado de Pavimentos. *Pontificia Universidad Catolica de Chile*. Santiago, Chile: CIIV.

Thenoux Z., G., & Jamet A., A. (2002). Tecnologia del Asfalto Espumado. *Revista Ingeniería de Construcción, 17*(2), 26,27,28.

Vásquez Varela, L. R. (2014). AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures (1993). *Procedimiento de diseño de pavimentos asfálticos nuevos.*, 40,41,43. Manizales, Colombia: Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia.

Vildoso Flores, J. E., & Espinoza Juro, P. K. (2014). Tesis de Grado. *Estudio de la Técnica del Reciclado con Asfalto Espumado en las Carreteras la Oroya – Chicrín – Huánuco – Tingo María – Dv. Tocache y Conococha – Yanacancha*. Lima, Perú: Universodad Ricardo Palma.

Wirtgen GmbH . (2004). Manual de Reciclado en Frio. *Wirtgen GmbH Publicaciones*. Windhagen, Alemania.

Wirtgen GmbH. (2010). Manual de Reciclado en Frio. *Wirtgen GmbH Publicaciones*. Windhagen, Alemania.

Yarango Serrano, E. M. (2014). Tesis de Grado. *Rehabilitación de la Carretera de Acceso a la Sociedad Minera Cerro Verde (S.M.C.V) en el Distrito de Uchumayo, Arequipa, Empleando el Sistema Bitufor para Reducir la Reflexión de Grietas y Prolongar la Vida Útil del Pavimento*, 15. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma.

ANEXOS

Anexo N°3. 1. Certificado de control de calidad para asfalto de PEN 85/100

PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.

LABORATORIO
OPERACIONES CONCHÁN

INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN) — **N° GOPC-LAB-1486-2010**

FECHA DE REPORTE:	FECHA DE RECEPCION:	CÓDIGO DE MUESTRA:
12.06.2010	12.06.2010	12247
HORA DE RECEPCION:	**PROCEDENCIA:**	**BUQUE/TANQUE:**
01:40 HORAS	DPTO. REFINACION	
TANQUE DE TIERRA:	**VOLUMEN CERTIFICADO:**	**DESTINO:**
33		PLANTA DE VENTAS

ENSAYOS	METODO ASTM	OTRO METODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIONES MIN.	MAX.
PENETRACION:					
a 10°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D 5-06e1				
a 25°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D 5-06e1		89	85	100
a 30°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D 5-06e1				
DUCTILIDAD:					
a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-99		> 150	100	
FLUIDEZ:					
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D 2170-01a(06)		2867	Reportar	
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D 2170-01a(06)		350	170	
- Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	D 2171-01(06)			Reportar	
COMPOSICION:					
Contenido de Parafinas, % masa		UOP 46		Reportar	
SOLUBILIDAD:					
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	D 2042-01		99.5	99	
Prueba de la Mancha, 25 % Xileno (N-Heptano-Xileno)		T 102	NEGATIVO	Reportar	
VOLATILIDAD:					
Punto de Inflamación, C.O.C., °C	D 92-05a		288	232	
DENSIDAD:					
Gravedad API a 60°F, °API	D 70-03		7.8	Reportar	
Gravedad Especifica a 60/60°F	D 70-03		1.016	Reportar	
SUSCEPTIBILIDAD TERMICA:					
Punto de Fractura FRAAS, °C		IP 80/87		Reportar	
Punto de Ablandamiento, °C	D 36-95(00)e1		48	Reportar	
Indice de Penetración		Frances RLB	-0.2	-1	1
Efecto de Calor y Aire (Pelicula Fina):	D 1754-97(02)				
- Pérdida por calentamiento, % masa			0.46		1.0
- Penetración Retenida, % del Original	D 5-06e1		61	47	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-99		97	75	
ADHERENCIA:					
Revestimiento y Desprendimiento, %	D 3625-96(05)		> 95	Reportar	

OBSERVACIONES: PRODUCTO EN ESPECIFICACION

La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 138 y 154°C

Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura.

1. LOS RESULTADOS CORRESPONDEN SÓLO A LA MUESTRA ANALIZADA.
2. PRODUCTO DENTRO DE ESPECIFICACIÓN.

ORIGINAL: CLIENTE
COPIA 1 : ARCHIVO GENERAL DE INFORMES DE ENSAYO
COPIA 2 : INFORME DE ENSAYO DE PRODUCTO

ELABORADO POR: VIRGILIO PUMAPILLO C. N° Ficha 54377

APROBADO POR: RAYMUNDO RAMÍREZ ROCA FICHA 55116

OCLAB-PT-010-F-06. Rev. 2

"PETROPERU, MEJORANDO LA CALIDAD DE VIDA"

FIN DE INFORME

PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACION DE PETROPERU

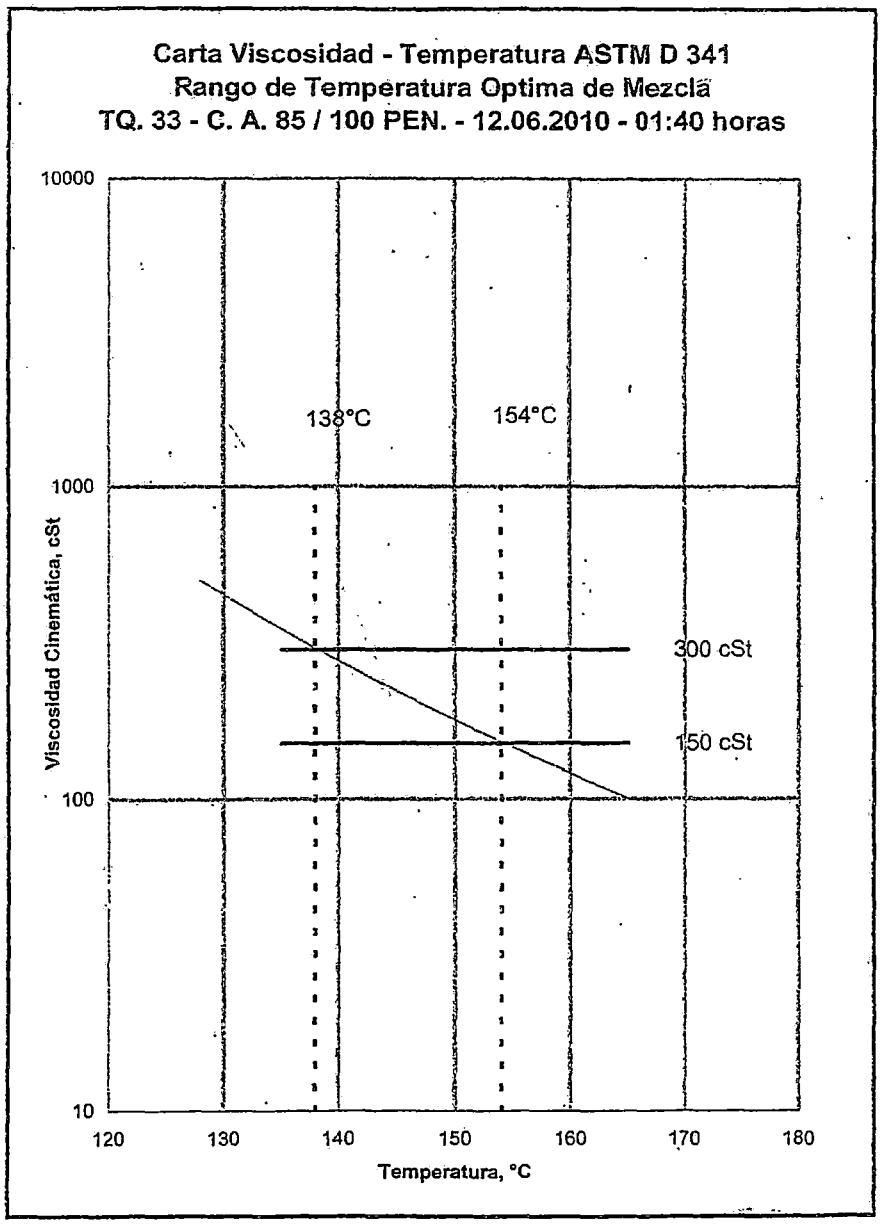
V° B° SELLO LABORATORIO

V° B° GERENTE VIAL

Oficina Principal: Canaval y Moreyra 150, Lima 27 - Perú
Operaciones Conchán: Km 26.5, Antigua Panamericana Sur - Lima - Perú
Telfs.: (511) 625 7000
Portal Empresarial: http://www.petroperu.com
Sociedad Inscrita en la Partida N° 11014754 del Registro de Personas Jurídicas

PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.

LABORATORIO
OPERACIONES CONCHÁN



Anexo N°3. 2. Propiedades físicas de la base reciclada tramo Conococha - Huaraz

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE BASE RECICLADA EN PISTA TRAMO CONOCOCHA - CATAC

MUESTRA	N°	FECHA	PROGRESIVA	PROGRESIVA	ESPESOR	GRAVEDAD ESPECIFICA		Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz												PROCT. MODIFICADO	
RECICLADO	DE TOMO		INICIAL	FINAL	RECICLADO	PESO ESPECIFICO	ABSORCION	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200	MDS. (g/mc3)	OPT.
1	1/1	jun-10	491+760	492+000	0.20	2.474	0.674	100.0	96.8	90.5	84.8	73.6	66.2	36.6	26.2	17.7	17.7	11.2	7.7	6.3	2.164	6.8
2	1/1	jun-10	492+000	492+500	0.20	2.552	0.929	100.0	97.9	93.6	86.9	74.9	66.2	46.7	33.3	20.5	11.4	16.9	5.6	5.4	2.139	6.1
3	1/1	jun-10	492+500	493+000	0.20	2.644	0.918	100.0	99.0	92.5	84.4	72.2	62.7	47.1	32.8	22.6	14.4	7.7	4.9	4.5	2.136	5.8
4	1/1	jun-10	493+000	493+500	0.20	2.462	0.844	100.0	98.1	90.6	83.8	68.9	61.8	46.9	34.5	24.7	16.6	9.9	6.4	5.0	2.136	5.2
5	1/1	jun-10	493+500	494+000	0.20	2.626	0.946	100.0	98.4	93.8	86.7	70.0	60.6	45.1	33.6	24.5	17.1	10.9	7.3	5.7	2.146	5.7
6	1/1	jun-10	494+000	494+500	0.20	2.626	0.946	100.0	100.0	98.0	91.9	74.3	63.0	44.0	28.7	16.5	10.4	15.8	4.4	4.0	2.146	6.1
7	1/1	jun-10	494+500	495+000	0.20	2.546	0.870	100.0	100.0	96.0	90.8	78.7	71.0	54.1	38.4	22.3	13.7	16.0	1.1	0.3	2.135	6.0
8	1/1	jun-10	495+000	495+500	0.20	2.572	0.788	100.0	100.0	95.0	87.9	70.9	61.5	45.2	34.8	23.7	18.1	12.8	8.9	7.4	2.158	6.6
9	1/1	jun-10	495+500	496+000	0.20	2.573	0.905	100.0	96.6	89.1	80.0	65.8	58.3	43.1	30.7	20.9	12.9	8.2	6.2	5.6	2.144	5.5
10	1/1	jun-10	496+000	496+500	0.20	2.481	0.882	100.0	100.0	95.4	87.0	73.7	66.8	52.5	40.3	29.1	19.2	12.9	9.2	7.3	2.135	6.6
11	1/1	jun-10	496+500	497+000	0.20	2.567	1.221	100.0	100.0	98.2	91.8	75.9	68.2	52.1	38.0	27.0	17.5	10.9	7.1	5.8	2.131	7.1
12	1/1	jun-10	497+000	497+500	0.20	2.610	1.074	100.0	100.0	98.9	92.3	76.8	68.7	52.3	35.8	23.3	13.8	9.0	6.8	6.2	2.137	5.7
13	1/1	jun-10	497+500	498+000	0.20	2.522	0.973	100.0	100.0	98.6	92.5	74.4	65.0	46.9	33.5	21.4	11.7	16.3	4.0	3.5	2.111	6.4
14	1/1	jun-10	498+000	498+500	0.20	2.497	1.025	100.0	100.0	97.8	92.6	78.5	68.7	49.6	32.4	21.6	13.3	8.5	7.1	6.3	2.126	5.7
15	1/1	jul-10	498+500	499+000	0.20	2.521	1.133	100.0	99.4	97.5	91.8	79.1	70.5	53.4	38.2	27.1	16.9	11.1	8.4	7.7	2.138	5.8
16	1/1	jul-10	499+000	499+500	0.20	2.516	0.928	100.0	100.0	98.0	94.2	74.3	65.7	52.3	36.5	25.8	16.8	11.8	7.8	6.4	2.101	7.0
17	1/1	jul-10	499+500	500+000	0.20	2.489	0.886	100.0	100.0	98.8	88.2	76.9	68.5	48.1	33.6	23.9	15.5	10.9	7.4	6.5	2.104	7.1
18	1/1	jul-10	500+000	500+500	0.20	2.507	1.243	100.0	100.0	94.8	90.3	76.7	67.0	48.7	33.1	22.9	15.9	11.4	8.6	7.5	2.101	6.7
19	1/1	jul-10	500+500	501+000	0.20	2.519	1.040	100.0	100.0	97.4	93.8	82.0	73.6	53.4	35.5	24.4	17.3	12.5	9.5	8.3	2.080	6.7
20	1/1	jul-10	501+000	501+500	0.20	2.535	0.802	100.0	100.0	98.0	93.0	78.8	70.5	52.9	39.9	28.7	18.3	11.9	8.3	6.6	2.128	5.4
21	1/1	jul-10	501+500	502+000	0.20	2.528	0.930	100.0	100.0	98.1	93.2	75.4	67.2	50.5	36.9	26.4	16.7	11.0	7.4	6.3	2.134	5.7
22	1/1	jul-10	502+000	502+500	0.20	2.534	0.872	100.0	100.0	97.6	92.3	76.1	68.1	51.4	38.3	27.6	17.3	11.2	7.6	5.9	2.147	6.7
23	1/1	jul-10	502+500	503+000	0.20	2.532	0.858	100.0	98.6	96.0	91.1	64.0	68.1	50.2	39.3	29.7	18.4	11.3	7.9	6.9	2.121	6.7
24	1/1	jul-10	503+000	503+500	0.20	2.530	0.896	100.0	99.6	97.3	92.8	78.1	68.3	51.2	36.4	24.8	15.0	10.7	8.7	8.2	2.117	6.7
25	1/1	jul-10	503+500	504+000	0.20	2.525	0.987	100.0	98.7	93.7	86.8	68.6	58.8	41.1	30.1	21.7	14.2	10.5	7.5	6.3	2.137	6.6
26	1/1	jul-10	504+000	504+500	0.20	2.518	1.176	100.0	99.6	96.2	88.9	72.3	63.5	45.5	33.2	23.8	15.5	11.1	7.7	6.5	2.108	6.7
27	1/1	jul-10	504+500	505+000	0.20	2.522	1.012	100.0	99.5	96.7	90.7	78.2	70.0	51.8	41.0	32.1	23.1	16.2	11.1	9.0	2.112	5.6
28	1/1	jul-10	505+000	505+500	0.20	2.520	0.976	100.0	98.1	94.5	89.6	78.9	72.0	53.8	41.0	31.4	22.3	14.5	9.0	7.8	2.096	7.1
29	1/1	jul-10	505+500	506+000	0.20	2.514	1.016	100.0	99.4	95.5	89.2	74.4	65.9	48.9	35.5	24.3	14.8	10.6	8.5	7.9	2.102	7.0
30	1/1	jul-10	506+000	506+500	0.20	2.497	1.176	100.0	98.1	93.4	85.6	72.3	64.0	47.9	37.1	28.2	19.4	13.2	9.0	7.4	2.096	6.8

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE BASE RECICLADA EN PISTA TRAMO CONOCOCHA - CATAC

MUESTRA	N°	FECHA	PROGRESIVA	PROGRESIVA	ESPESOR	GRAVEDAD ESPECIFICA		Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz													PROCT. MODIFICADO	
RECICLADO	DE TOMO		INICIAL	FINAL	RECICLADO	PESO ESPECIFICO	ABSORCION	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200	MDS. (g/mc3)	OPT.
31	1/1	jul-10	506+500	507+000	0.20	2.507	0.956	100.0	95.0	90.4	84.9	74.4	67.3	52.3	41.0	31.0	20.8	13.2	8.5	6.3	2.118	6.1
32	1/1	jul-10	507+000	507+500	0.20	2.508	0.864	100.0	98.2	93.5	86.0	70.7	61.4	44.4	34.1	25.2	19.4	13.3	9.8	8.5	2.098	6.3
33	1/1	jul-10	507+500	508+000	0.20	2.456	1.138	100.0	99.1	94.4	88.3	72.9	65.3	49.2	38.8	29.0	18.9	11.8	7.0	6.5	2.096	6.7
34	1/1	jul-10	508+000	508+500	0.20	2.493	0.678	100.0	95.2	90.8	85.5	73.8	66.3	50.4	41.0	32.4	23.4	15.8	9.8	6.6	2.115	5.8
35	1/1	jul-10	508+500	509+000	0.20	2.467	0.915	100.0	97.1	92.5	86.0	74.0	65.9	48.5	36.5	25.7	15.0	11.0	8.0	7.0	2.084	5.4
36	1/1	jul-10	509+000	509+500	0.20	2.474	1.444	100.0	96.0	91.9	86.6	77.5	69.3	53.6	41.8	30.4	18.7	12.5	7.9	6.0	2.083	7.7
37	1/1	ago-10	509+500	510+000	0.20	2.587	0.886	100.0	98.1	89.4	82.4	69.0	61.5	44.7	34.1	26.0	18.5	13.2	9.2	7.2	2.124	6.5
38	1/1	ago-10	510+000	510+500	0.20	2.508	0.909	100.0	96.0	90.6	79.7	65.4	57.5	41.7	32.5	24.9	17.8	12.7	9.4	8.3	2.142	7.3
39	1/1	ago-10	510+500	511+000	0.20	2.525	1.223	100.0	98.0	95.2	88.7	74.7	67.0	50.3	41.1	32.3	23.1	15.7	10.8	8.5	2.149	7.1
40	1/1	ago-10	511+000	511+500	0.20	2.508	0.813	100.0	99.0	95.7	89.5	79.6	72.3	55.3	42.2	30.0	18.9	13.2	10.5	9.5	2.150	7.2
41	1/1	ago-10	511+500	512+000	0.20	2.520	1.117	100.0	98.5	93.5	86.9	72.4	63.9	47.8	36.3	27.2	17.8	11.0	7.1	5.8	2.143	7.4
42	1/1	ago-10	512+000	512+500	0.20	2.500	0.586	100.0	94.8	87.3	79.0	65.5	57.2	41.2	32.4	24.5	16.3	10.1	6.2	5.1	2.107	7.3
43	1/1	ago-10	515+000	515+500	0.20	2.517	1.173	100.0	95.7	89.3	83.1	72.2	64.6	48.5	35.0	24.8	16.9	12.3	9.5	8.1	2.151	5.6
44	1/1	ago-10	515+500	516+000	0.20	2.521	1.146	100.0	99.7	87.1	80.1	68.2	61.4	46.6	35.7	27.6	20.2	14.9	10.9	8.9	2.145	6.3
45	1/1	ago-10	516+000	516+500	0.20	2.520	1.069	100.0	99.0	92.6	85.5	72.5	65.2	42.7	33.4	24.7	17.5	12.6	8.8	6.6	2.144	6.4
46	1/1	ago-10	516+500	517+000	0.20	2.495	1.045	100.0	97.2	91.7	84.0	69.1	61.7	44.6	33.6	24.1	16.6	12.0	8.5	6.6	2.143	6.8
47	1/1	ago-10	517+000	517+500	0.20	2.540	0.887	100.0	97.5	87.4	77.4	63.0	54.3	38.0	27.8	20.7	14.4	10.1	7.1	5.6	2.143	6.4
48	1/1	ago-10	517+500	518+000	0.20	2.579	0.977	100.0	97.1	89.5	81.1	68.0	60.2	45.7	33.0	25.5	18.1	12.9	9.2	7.8	2.145	6.1
49	1/1	ago-10	518+000	518+500	0.20	2.546	1.020	100.0	98.7	92.2	83.3	70.6	62.8	46.3	32.4	21.6	13.3	8.7	6.6	5.8	2.140	6.8
50	1/1	ago-10	518+500	519+000	0.20	2.482	1.158	100.0	97.5	90.8	84.3	71.0	62.6	44.4	35.1	27.7	18.9	13.1	9.0	7.0	2.145	6.3
51	1/1	ago-10	519+000	519+500	0.20	2.480	1.239	100.0	98.7	89.6	81.6	68.4	60.5	43.3	34.2	25.1	16.6	10.7	6.8	5.2	2.146	5.8
52	1/1	ago-10	519+500	520+000	0.20	2.533	1.173	100.0	96.3	87.0	77.2	64.7	57.0	41.6	32.2	23.9	16.7	11.6	8.4	6.7	2.150	5.8
53	1/1	ago-10	520+000	520+500	0.20	2.537	0.947	100.0	97.9	89.9	81.8	68.1	59.9	42.0	31.4	22.0	15.2	11.0	7.9	6.3	2.113	6.5
54	1/1	ago-10	520+500	521+000	0.20	2.538	0.948	100.0	97.7	89.4	78.9	64.5	55.8	40.7	30.8	22.9	16.8	12.4	8.5	6.4	2.138	6.2
55	1/1	ago-10	521+000	521+500	0.20	2.549	1.000	100.0	98.0	91.5	83.1	66.2	57.8	40.5	31.3	22.7	15.8	11.1	7.6	5.8	2.135	6.7
56	1/1	ago-10	521+500	522+000	0.20	2.530	0.954	100.0	98.5	87.7	80.5	64.9	57.1	39.9	31.2	24.2	17.5	12.9	8.8	6.5	2.139	6.9
57	1/1	ago-10	522+000	522+500	0.20	2.533	0.963	100.0	97.8	90.6	83.6	68.3	60.6	44.1	33.5	25.4	18.0	13.4	10.0	8.2	2.124	6.1
58	1/1	ago-10	522+500	523+000	0.20	2.544	1.036	100.0	98.4	90.2	81.5	66.9	59.1	40.4	30.8	23.3	16.6	14.2	9.2	7.5	2.155	5.7
59	1/1	sep-10	523+000	523+500	0.20	2.520	1.030	100.0	99.0	91.8	81.9	69.1	61.2	44.7	34.2	25.7	18.7	14.2	10.7	8.7	2.148	5.8
60	1/1	sep-10	523+500	524+000	0.20	2.530	0.980	100.0	99.7	95.4	89.6	77.3	69.5	49.8	37.0	27.4	20.1	14.2	10.6	8.4	2.129	4.4

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE BASE RECICLADA EN PISTA TRAMO CONOCOCHA - CATAC

MUESTRA	N°	FECHA	PROGRESIVA	PROGRESIVA	ESPESOR	GRAVEDAD ESPECIFICA		Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz												PROCT. MODIFICADO	
RECICLADO	DE TOMO		INICIAL	FINAL	RECICLADO	PESO ESPECIFICO	ABSORCION	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200	MDS. (g/mc3)	OPT.
31	1/1	jul-10	506+500	507+000	0.20	2.507	0,956	100.0	95.0	90.4	84.9	74.4	67.3	52.3	41.0	31.0	20.8	13.2	8.5	6.3	2.118	6.1
61	1/1	sep-10	524+000	524+500	0.20	2.520	0,980	100.0	99.7	96.5	90.8	77.5	69.5	49.4	38.7	30.3	23.2	18.0	13.8	11.1	2.103	6.2
62	1/1	sep-10	524+500	525+000	0.20	2.530	1,080	100.0	99.2	93.5	86.7	72.1	64.4	46.6	36.9	28.4	20.6	15.5	11.3	9.0	2.089	6.3
63	1/1	sep-10	525+000	525+500	0.20	2.540	1,150	100.0	99.5	93.3	86.5	74.0	66.5	48.4	37.5	29.1	21.1	15.9	11.7	9.4	2.095	6.8
64	1/1	sep-10	525+500	526+000	0.20	2.540	1,200	100.0	98.5	90.6	85.1	70.4	62.4	44.0	33.8	25.2	18.0	13.6	10.1	8.2	2.140	6.4
65	1/1	sep-10	526+000	526+500	0.20	2.540	0,890	100.0	100.0	95.2	88.8	75.4	67.7	49.6	38.3	29.0	20.1	14.4	10.2	7.9	2.120	5.9
66	1/1	sep-10	526+500	527+000	0.20	2.510	0,820	100.0	100.0	93.6	86.3	73.7	65.4	47.6	36.8	27.7	18.8	13.0	9.0	7.0	2.119	5.9
67	1/1	sep-10	527+000	527+500	0.20	2.530	0,920	100.0	98.8	91.0	84.0	70.0	62.0	43.9	31.6	22.8	15.7	11.6	8.5	6.8	2.127	5.6
68	1/1	sep-10	527+500	528+000	0.20	2.520	0,830	100.0	99.3	94.7	86.7	73.6	65.9	47.9	36.5	28.1	20.3	14.8	11.0	9.0	2.148	5.8
69	1/1	sep-10	528+000	528+500	0.20	2.580	1,000	100.0	99.3	94.1	88.0	76.4	68.3	51.0	39.0	29.2	20.4	14.9	10.7	8.3	2.139	6.3
70	1/1	sep-10	528+500	529+000	0.20	2.610	0,980	100.0	98.7	93.5	86.4	75.3	68.7	52.2	42.3	34.6	27.0	21.4	17.0	14.4	2.156	6.9
71	1/1	sep-10	529+000	529+500	0.20	2.460	1,870	100.0	100.0	96.4	89.5	71.8	62.6	42.3	32.7	24.8	17.1	12.5	8.4	6.5	2.043	6.0
72	1/1	sep-10	529+500	530+000	0.20	2.550	1,040	100.0	97.7	86.6	74.9	63.3	56.2	40.8	32.0	25.4	18.8	14.1	10.5	8.9	2.163	6.1
73	1/1	sep-10	530+000	530+500	0.20	2.522	1,030	100.0	98.8	95.0	89.0	73.8	65.5	47.1	34.2	24.3	16.2	11.9	9.3	8.1	2.121	5.3
74	1/1	sep-10	530+500	531+000	0.20	2.540	1,140	100.0	97.7	89.9	84.1	71.7	63.7	48.1	38.5	29.2	20.8	15.3	11.5	9.5	2.114	6.4
75	1/1	sep-10	531+000	531+500	0.20	2.520	1,070	100.0	98.4	91.7	86.5	73.1	66.0	48.5	36.5	27.4	19.8	14.8	10.9	8.6	2.138	6.2
76	1/1	sep-10	531+500	532+000	0.20	2.530	0,970	100.0	98.4	91.1	84.2	70.1	61.9	43.3	35.1	23.9	19.0	14.1	10.7	8.9	2.121	6.4
77	1/1	sep-10	532+000	532+500	0.20	2.500	1,080	100.0	98.8	93.0	85.0	69.6	61.2	42.6	32.3	20.6	16.0	11.9	8.9	7.3	2.108	5.8
78	1/1	sep-10	532+500	533+000	0.20	2.520	1,070	100.0	99.6	94.2	88.1	75.9	69.1	54.4	43.0	27.2	20.6	15.0	11.0	9.1	2.121	5.3
79	1/1	sep-10	533+000	533+500	0.20	2.530	1,000	100.0	99.0	93.2	86.6	73.7	67.4	51.4	40.7	28.5	19.5	14.4	10.7	8.7	2.105	7.0
80	1/1	sep-10	533+500	534+000	0.20	2.520	0,950	100.0	100.0	93.9	86.6	72.4	63.9	45.6	36.2	24.5	19.3	14.1	10.5	8.5	2.098	6.0
81	1/1	sep-10	534+000	534+500	0.20	2.530	1,020	100.0	100.0	90.4	82.4	67.4	60.2	43.7	33.3	21.8	16.7	12.6	9.4	7.8	2.132	6.0
82	1/1	sep-10	534+500	535+000	0.20	2.500	1,030	100.0	100.0	93.2	86.6	73.5	65.6	47.7	39.5	29.3	22.9	17.4	12.3	10.0	2.096	6.0
83	1/1	sep-10	535+000	535+500	0.20	2.623	0,923	100.0	86.8	75.7	69.4	64.8	56.9	41.7	34.1	24.6	20.5	16.0	12.1	9.8	2.196	6.1
84	1/1	sep-10	535+500	536+000	0.20	2.602	0,899	100.0	99.1	87.4	80.0	68.2	60.8	44.3	36.4	25.7	21.3	16.6	12.6	10.3	2.187	5.7
85	1/1	sep-10	536+000	536+500	0.20	2.629	0,803	100.0	99.0	93.9	79.1	63.6	53.4	44.0	36.0	26.2	21.5	17.3	13.9	12.1	2.157	6.3
PROMEDIO						2.531	0.999	100.0	98.5	93.0	86.0	72.1	64.1	47.0	35.5	25.7	17.8	13.0	8.9	7.4	2.1	6.3
ESPECIFICACIONES						–	–	**100.0**	**100.0**	**85 - 100**	**70 - 100**	**60 - 100**	**50 - 85**	**42 - 75**	**30 - 55**	**22 - 45**	**18 - 36**	**13 - 30**	**10 - 25**	**7 – 21**	**CUMPLE**	-
DESV. ESTANDAR						0.0	0.2	0.0	1.8	3.7	4.7	4.5	4.4	4.3	3.5	3.4	2.9	2.4	2.3	1.9	0.0	0.6
COEF. VARIACION						1.6	16.8	0.0	1.9	4.0	5.4	6.2	6.9	9.1	10.0	13.1	16.5	18.7	25.4	25.7	1.1	9.5
MINIMO						2.5	0.6	100.0	86.8	75.7	69.4	63.0	53.4	36.6	26.2	16.5	10.4	7.7	1.1	0.3	2.0	4.4
MAXIMO						2.644	1.870	100.0	100.0	98.9	94.2	82.0	73.6	55.3	43.0	34.6	27.0	21.4	17.0	14.4	2.2	7.7

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE BASE RECICLADA EN PISTA TRAMO CATAC - HUARAZ

MUESTRA RECICLADO	Nº DE TOMO	FECHA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	ESPESOR RECICLADO	GRAVEDAD ESPECIFICA		Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz													PROCT. MODIFICADO	
						PESO ESPECIFICO	ABSORCION	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200	MDS. (g/mc3)	OPT.
1	1/1	oct-10	536+500	537+000	0.20	2.608	0.871	100.0	99.7	94.7	80.6	62.7	54.6	40.4	31.5	21.1	16.6	12.2	8.8	7.1	2.160	6.1
2	1/1	oct-10	537+000	537+500	0.20	2.530	0.840	100.0	97.5	94.5	81.1	63.9	56.8	41.1	33.3	23.3	16.6	12.4	9.2	7.7	2.126	6.3
3	1/1	oct-10	537+500	538+000	0.20	2.540	0.900	100.0	97.7	90.6	81.8	67.7	59.9	42.7	32.8	21.7	16.9	13.5	9.9	8.0	2.128	5.8
4	1/1	oct-10	538+000	538+500	0.20	2.630	0.890	100.0	99.5	93.9	81.5	63.2	55.3	39.8	31.6	20.8	16.0	11.7	8.7	7.3	2.167	6.3
5	1/1	oct-10	538+500	539+000	0.20	2.610	0.850	100.0	99.6	95.1	82.6	66.2	59.1	43.3	34.5	22.7	17.2	11.8	8.2	6.1	2.157	7.4
6	1/1	oct-10	539+000	539+500	0.20	2.620	0.750	100.0	100.0	97.6	89.0	69.2	60.4	42.6	32.6	20.4	15.3	11.0	7.9	6.5	2.103	6.1
7	1/1	oct-10	539+500	540+000	0.20	2.620	0.800	100.0	100.0	96.8	84.3	62.4	54.5	39.3	29.8	22.5	15.8	11.6	8.3	6.5	2.152	5.8
8	1/1	oct-10	540+000	540+500	0.20	2.530	0.850	100.0	99.3	97.2	90.1	71.3	62.2	40.9	30.1	21.6	13.2	8.3	5.6	4.6	2.061	4.5
9	1/1	oct-10	540+500	541+000	0.20	2.570	1.000	100.0	99.1	85.0	87.6	73.8	67.6	52.9	42.9	35.1	26.5	19.6	13.0	8.9	2.134	6.5
10	1/1	oct-10	541+000	541+500	0.20	2.650	0.840	100.0	98.9	96.4	85.0	66.7	57.4	39.9	29.6	22.3	15.8	11.8	8.7	6.7	2.148	6.5
11	1/1	oct-10	541+500	542+000	0.20	2.590	0.844	100.0	98.7	94.1	82.1	65.3	58.1	44.1	33.2	24.0	17.3	12.5	8.6	6.4	2.122	5.4
12	1/1	oct-10	542+000	542+500	0.20	2.590	0.680	100.0	100.0	97.6	88.8	69.1	61.1	42.2	32.1	24.1	14.1	9.8	8.2	7.0	2.123	5.4
13	1/1	oct-10	542+500	543+000	0.20	2.660	0.770	100.0	100.0	96.9	86.0	68.2	61.1	44.8	34.9	26.4	17.1	11.3	8.0	6.7	2.143	6.2
14	1/1	oct-10	543+000	543+500	0.20	2.600	0.850	100.0	99.3	95.1	82.9	63.0	55.3	40.5	30.1	22.3	15.0	10.7	7.7	6.5	2.156	6.5
15	1/1	oct-10	543+500	544+000	0.20	2.560	0.780	100.0	100.0	96.4	84.7	65.9	57.1	41.2	30.8	19.6	15.3	11.4	8.1	6.8	2.132	6.3
16	1/1	oct-10	544+000	544+500	0.20	2.610	0.650	100.0	99.0	94.7	83.6	64.3	57.4	43.7	34.6	24.3	19.3	14.0	9.7	7.3	2.158	5.6
17	1/1	oct-10	544+500	545+000	0.20	2.600	1.010	100.0	99.3	94.3	82.5	64.5	55.7	39.6	31.0	20.4	15.3	10.4	6.8	5.1	2.101	6.0
18	1/1	oct-10	545+000	545+500	0.20	2.600	0.630	100.0	100.0	97.9	88.9	68.6	60.2	43.7	34.0	23.1	18.1	13.3	9.5	7.7	2.130	6.2
19	1/1	oct-10	545+500	546+000	0.20	2.630	0.900	100.0	98.5	91.0	79.8	60.5	53.9	39.0	29.1	22.0	15.6	11.8	8.7	6.9	2.159	5.2
20	1/1	oct-10	546+000	546+500	0.20	2.600	0.890	100.0	100.0	95.7	84.9	66.8	58.3	41.0	32.6	22.7	16.2	12.3	8.5	6.9	2.128	5.9
21	1/1	oct-10	546+500	547+000	0.20	2.580	0.930	100.0	99.4	96.3	87.2	69.6	63.0	44.9	34.4	25.3	17.3	12.1	7.1	3.3	2.184	5.3
22	1/1	oct-10	547+000	547+500	0.20	2.620	0.900	100.0	99.0	96.7	87.7	70.1	62.1	45.7	35.2	26.4	17.7	12.3	8.0	6.0	2.194	6.4
23	1/1	oct-10	547+500	548+000	0.20	2.600	0.970	100.0	98.9	94.6	83.5	68.2	59.7	43.5	34.3	26.3	19.6	13.1	9.0	7.2	2.095	5.4
24	1/1	oct-10	548+000	548+500	0.20	2.620	0.710	100.0	99.5	97.5	85.0	63.3	54.9	40.2	31.6	25.1	18.5	13.9	10.0	8.5	2.147	5.4
25	1/1	oct-10	548+500	549+000	0.20	2.581	0.758	100.0	99.0	96.0	85.1	67.7	60.0	44.5	35.6	25.8	18.1	13.3	9.6	8.1	2.144	6.3
26	1/1	oct-10	549+000	549+500	0.20	2.620	0.941	100.0	99.2	95.1	86.0	68.7	60.8	44.5	34.9	24.7	17.5	13.0	8.8	7.0	2.167	6.8
27	1/1	oct-10	549+500	550+000	0.20	2.602	0.847	100.0	99.5	95.3	88.1	70.5	62.0	44.3	35.9	24.7	19.6	14.8	11.0	9.1	2.164	6.6
28	1/1	oct-10	550+000	550+500	0.20	2.644	0.781	100.0	99.5	95.2	86.2	66.6	58.7	41.9	32.6	26.0	19.7	15.1	11.7	10.0	2.177	6.0
29	1/1	oct-10	550+500	551+000	0.20	2.570	1.000	100.0	100.0	97.0	86.7	63.4	52.2	32.2	25.8	19.5	14.2	10.5	7.8	6.4	2.025	6.2
30	1/1	oct-10	551+000	551+500	0.20	2.640	0.880	100.0	99.2	95.5	87.1	69.9	62.3	48.4	38.2	29.7	22.6	17.4	13.0	10.2	2.183	5.6

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE BASE RECICLADA EN PISTA TRAMO CATAC - HUARAZ

MUESTRA RECICLADO	N° DE TOMO	FECHA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	ESPESOR RECICLADO	GRAVEDAD ESPECIFICA		Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz													PROCT. MODIFICADO	
						PESO ESPECIFICO	ABSORCION	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200	MDS. (g/mc3)	OPT.
31	1/1	oct-10	551+500	552+000	0.20	2.620	0.770	100.0	99.1	96.6	86.3	68.3	60.1	44.8	34.3	24.9	17.1	12.1	8.4	6.6	2.170	6.3
32	1/1	oct-10	552+000	552+500	0.20	2.620	0.800	100.0	99.3	95.4	88.3	71.5	64.4	48.6	36.2	26.7	19.8	15.0	12.0	9.8	2.175	5.5
33	1/1	oct-10	552+500	553+000	0.20	2.600	0.880	100.0	98.9	94.2	83.4	65.1	56.7	41.1	30.5	18.7	14.0	9.8	6.9	5.1	2.173	6.1
34	1/1	oct-10	553+000	553+500	0.20	2.600	0.810	100.0	98.9	95.6	86.8	69.4	60.4	55.7	43.8	33.4	24.8	16.9	11.6	9.2	2.120	5.8
35	1/1	oct-10	553+500	554+000	0.20	2.580	0.910	100.0	98.7	96.5	86.8	70.0	62.1	42.9	32.1	20.2	15.2	11.0	8.1	6.4	2.126	6.2
36	1/1	oct-10	554+000	554+500	0.20	2.590	0.680	100.0	97.7	94.3	83.1	66.7	57.8	42.2	32.8	24.8	17.4	10.4	6.7	5.2	2.115	6.5
37	1/1	oct-10	554+500	555+000	0.20	2.590	0.860	100.0	98.9	92.2	82.4	67.7	59.1	42.6	33.1	24.8	19.6	15.3	12.0	10.0	2.113	5.9
38	1/1	oct-10	555+000	555+500	0.20	2.610	0.650	100.0	98.8	94.1	81.0	62.4	54.0	39.5	31.0	23.8	18.5	13.9	10.5	8.4	2.178	6.8
39	1/1	oct-10	555+500	556+000	0.20	2.590	0.860	100.0	99.5	98.2	90.8	71.7	63.3	46.0	35.8	27.2	19.3	14.0	9.5	7.5	2.127	5.8
40	1/1	oct-10	556+000	556+500	0.20	2.590	0.980	100.0	98.1	94.9	89.2	71.5	63.0	45.0	34.9	25.7	18.5	13.8	10.0	8.1	2.120	5.5
41	1/1	oct-10	556+500	557+000	0.20	2.580	1.010	100.0	97.9	93.3	87.1	69.1	59.2	40.9	32.4	23.6	16.8	12.2	8.6	6.8	2.090	5.3
42	1/1	oct-10	557+000	557+500	0.20	2.600	0.850	100.0	99.2	95.8	89.8	73.0	62.8	44.0	33.7	24.9	17.5	12.4	8.7	7.0	2.146	5.1
43	1/1	nov-10	557+500	558+000	0.20	2.480	1.440	100.0	99.4	97.8	94.4	80.6	71.4	51.4	37.3	26.6	19.1	15.0	11.5	9.7	2.131	5.5
44	1/1	nov-10	558+000	558+500	0.20	2.450	1.450	100.0	100.0	99.1	94.5	79.3	70.5	52.2	40.5	30.0	22.3	17.7	13.8	11.4	2.112	5.4
45	1/1	nov-10	558+500	559+000	0.20	2.610	1.110	100.0	99.5	97.4	84.1	62.6	54.1	38.6	29.4	20.8	14.0	10.6	8.1	7.0	2.145	6.2
46	1/1	nov-10	559+000	559+500	0.20	2.590	0.890	100.0	100.0	98.4	88.9	67.9	59.0	42.2	32.4	24.3	16.7	12.4	9.1	7.7	2.135	6.6
47	1/1	nov-10	559+500	560+000	0.20	2.580	1.010	100.0	98.2	94.6	90.7	74.0	63.8	43.5	33.7	24.5	19.2	14.3	10.0	7.9	2.112	5.8
48	1/1	nov-10	560+000	560+500	0.20	2.570	0.870	100.0	99.4	97.2	92.1	78.0	68.3	47.7	36.7	27.1	19.0	14.4	10.7	8.6	2.105	6.3
49	1/1	nov-10	560+500	561+000	0.20	2.590	0.950	100.0	98.3	95.7	88.5	70.9	61.4	42.7	32.6	23.6	15.6	11.3	7.8	6.2	2.110	6.1
50	1/1	nov-10	561+000	561+500	0.20	2.600	0.660	100.0	99.0	93.6	86.4	69.3	61.4	43.2	33.9	25.3	18.2	13.6	10.2	8.3	2.128	6.4
51	1/1	nov-10	561+500	562+000	0.20	2.570	0.980	100.0	99.6	95.5	87.7	70.3	61.4	42.7	32.8	24.3	18.4	13.3	9.3	7.3	2.100	5.7
52	1/1	nov-10	562+000	562+500	0.20	2.580	0.900	100.0	98.3	93.5	87.8	74.8	64.8	43.1	33.6	25.1	17.9	13.3	9.5	7.7	2.103	6.3
53	1/1	nov-10	562+500	563+000	0.20	2.590	0.930	100.0	98.5	95.5	87.2	68.3	58.0	40.7	31.7	24.0	16.0	11.5	8.3	6.8	2.118	5.8
54	1/1	nov-10	563+000	563+500	0.20	2.520	1.120	100.0	99.2	94.6	88.7	72.5	64.1	46.2	35.8	26.5	19.3	14.2	10.4	8.3	2.108	5.8
55	1/1	nov-10	563+500	564+000	0.20	2.580	1.250	100.0	96.5	92.5	85.0	66.1	55.8	38.6	29.0	20.8	14.5	10.8	7.9	6.4	2.143	6.6
56	1/1	nov-10	564+000	564+500	0.20	2.530	1.320	100.0	98.5	97.0	92.7	75.9	67.5	47.9	38.6	29.0	20.7	15.8	12.1	10.6	2.121	5.3
57	1/1	nov-10	564+500	565+000	0.20	2.580	1.100	100.0	97.8	94.1	88.1	72.2	63.5	44.2	34.5	25.8	19.0	14.2	10.6	8.5	2.093	5.8
58	1/1	nov-10	565+000	565+500	0.20	2.580	1.100	100.0	99.2	95.9	90.3	71.8	61.4	40.5	32.2	24.5	17.7	13.3	10.0	8.7	2.088	5.8
59	1/1	nov-10	565+500	566+000	0.20	2.580	1.090	100.0	98.9	95.2	90.8	72.4	61.6	42.7	32.3	22.9	17.1	12.4	9.0	7.0	2.104	6.2
60	1/1	nov-10	566+000	566+500	0.20	2.580	1.040	100.0	98.5	96.1	90.4	68.9	59.0	40.2	30.3	22.6	17.0	12.5	9.0	7.3	2.130	6.9

CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE BASE RECICLADA EN PISTA TRAMO CATAC - HUARAZ

MUESTRA RECICLADO	N° DE TOMO	FECHA	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	ESPESOR RECICLADO	GRAVEDAD ESPECIFICA		Análisis Granulométrico - % que Pasa Tamiz													PROCT. MODIFICADO	
						PESO ESPECIFICO	ABSORCION	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200	MDS. (g/mc3)	OPT.
61	1/1	nov-10	566+500	567+000	0.20	2.570	1.020	100.0	98.5	94.6	87.6	66.6	57.5	39.3	30.0	22.3	16.7	12.0	9.8	8.2	2.102	5.9
62	1/1	nov-10	567+000	567+500	0.20	2.600	1.010	100.0	98.4	96.0	89.2	69.4	59.4	42.7	32.8	24.5	17.6	12.9	9.3	7.6	2.103	5.8
63	1/1	nov-10	567+500	568+000	0.20	2.590	0.895	100.0	98.5	91.4	82.4	67.6	58.9	40.7	31.5	22.0	14.9	10.9	7.5	5.9	2.107	5.9
64	1/1	nov-10	568+000	568+500	0.20	2.480	1.179	100.0	100.0	94.3	87.1	71.0	60.5	39.1	29.6	22.0	14.4	11.4	9.3	8.5	2.078	6.2
65	1/1	nov-10	568+500	569+000	0.20	2.450	1.388	100.0	97.2	90.5	83.2	67.3	58.6	40.8	32.7	22.0	17.6	13.3	9.9	7.8	2.073	7.6
66	1/1	nov-10	569+000	569+500	0.20	2.560	0.973	100.0	98.7	96.5	89.4	71.6	61.3	41.7	29.6	19.3	14.8	10.7	8.0	6.4	2.079	5.8
67	1/1	nov-10	569+500	570+000	0.20	2.590	0.850	100.0	98.2	95.7	89.2	69.3	59.4	37.3	26.4	19.0	14.0	10.9	8.2	6.9	2.134	7.7
68	1/1	nov-10	570+000	570+500	0.20	2.488	1.207	100.0	99.4	97.5	88.6	70.3	61.5	43.5	33.1	25.3	18.8	14.8	10.7	8.4	2.094	7.1
PROMEDIO						2.584	0.928	100.0	99.0	95.2	86.6	68.8	60.1	42.9	33.1	24.1	17.5	12.8	9.3	7.5	2.1	6.0
ESPECIFICACIONES						--	--	**100.0**	**100.0**	**85 - 100**	**70 - 100**	**60 - 100**	**50 - 85**	**42 - 75**	**30 - 55**	**22 - 45**	**18 - 36**	**13 - 30**	**10 - 25**	**7 – 21**	**CUMPLE**	-
DESV. ESTANDAR						0.0	0.2	0.0	0.8	2.2	3.3	4.0	3.9	3.8	3.2	3.1	2.5	2.0	1.6	1.4	0.0	0.6
COEF. VARIACION						1.6	19.3	0.0	0.8	2.3	3.9	5.9	6.4	8.7	9.6	12.7	14.1	15.7	17.3	19.3	1.5	9.6
MINIMO						2.5	0.6	100.0	96.5	85.0	79.8	60.5	52.2	32.2	25.8	18.7	13.2	8.3	5.6	3.3	2.0	4.5
MAXIMO						2.660	1.450	100.0	100.0	99.1	94.5	80.6	71.4	55.7	43.8	35.1	26.5	19.6	13.8	11.4	2.2	7.7

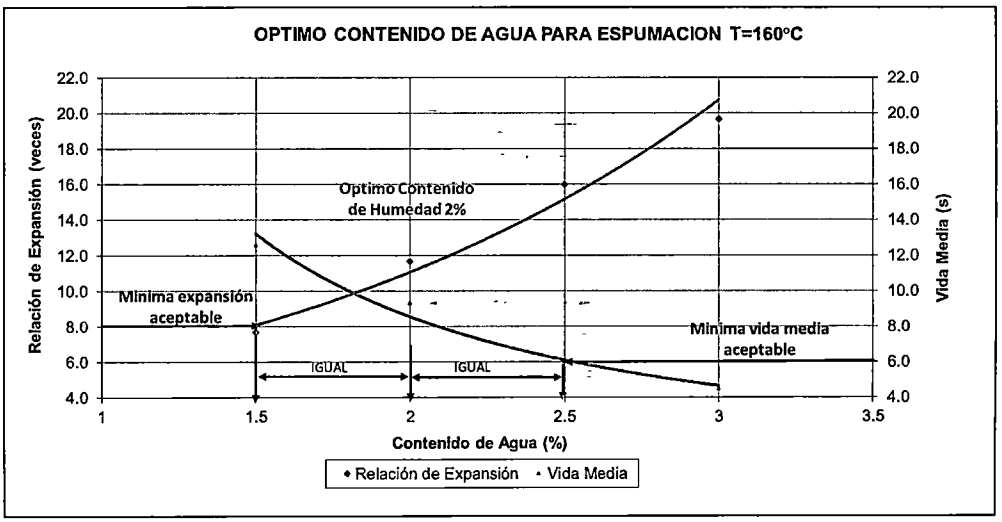
Anexo N°3. 3. Prueba de espumabilidad para diseño de mezclas

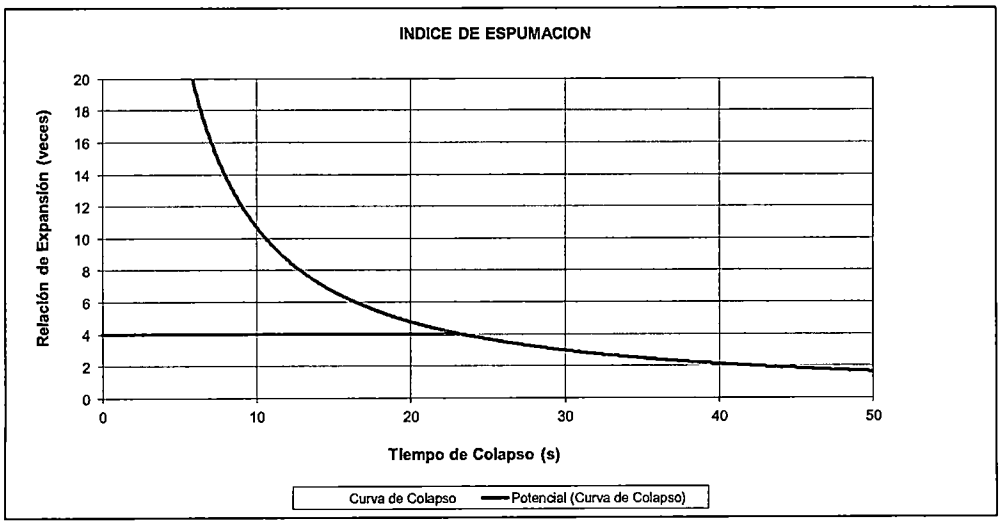
TRAMO:	: CONOCOCHA - HUARAZ	**UBICACIÓN**	:ANCASH - PERU
ENTIDAD	: MTC - PROYECTO PERU	**ALTERNATIVA**	:RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO
CONSTRUYE	: CCT	**HECHO POR**	:HILARIO E. ABAD QUITO

PRUEBA DE ESPUMABILIDAD - RAZON DE EXPANSION - VIDA MEDIA

LABORATORIO	: WLB10	**PRUEBA**	: P-001	**PRESION H2O**	: 5.50 BAR	**TIEMPO DE INYECCION**	: 4.44seg
PROGRESIVA	: KM 543+000 (RECUAY)	**FECHA**	:12/04/2010	**PRESION (PEN)**	: 1.50 BAR	**TEMPERATURA ASFALTO**	: 160°C
TIPO DE ASFALTO	: REPSOL. PEN 85/100	**CAUDAL**	: 112.60G/seg	**PRESION AIRE**	: 4.50 BAR	**TEMPERATURA AMBIENTE**	: 18°C

CONTENIDO DE AGUA (%)	CAUDAL (LT/HORA)	1° MEDIDA		2° MEDIDA		3° MEDIDA		VALORES PROMEDIO	
		EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA
1.5	**6.1**	8	12.5	8	12	7	13.2	7.7	12.6
2	**8.1**	12	9	11	9.5	12	9.6	11.7	9.4
2.5	**10.1**	17	6.1	15	6.5	16	5.5	16.0	6.0
3	**12.2**	20	5	21	4	18	4.5	19.7	4.5



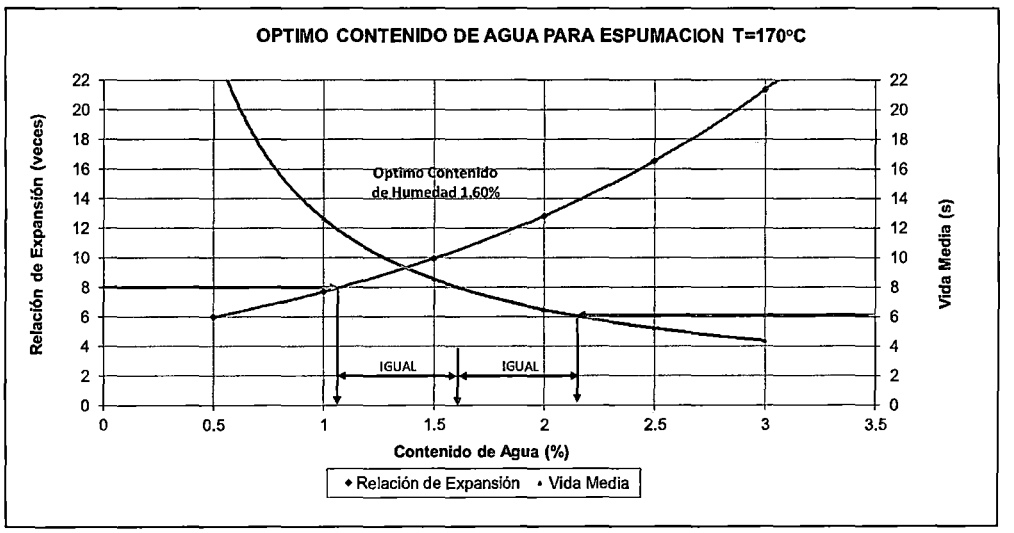


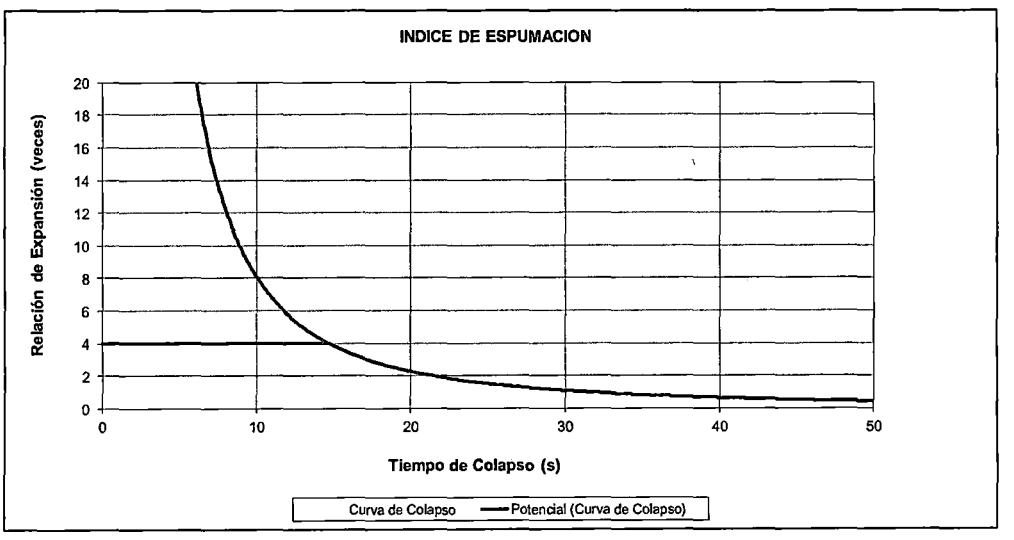
TRAMO:	: CONOCOCHA - HUARAZ	**UBICACIÓN**	:ANCASH - PERU
ENTIDAD	:MTC - PROYECTO PERU	**ALTERNATIVA**	:RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO
CONSTRUYE	: CCT	**HECHO POR**	:HILARIO E. ABAD QUITO

PRUEBA DE ESPUMABILIDAD - RAZON DE EXPANSION - VIDA MEDIA

LABORATORIO	: WLB10	**PRUEBA**	: P-002	**PRESION H2O**	: 6.50 BAR	**TIEMPO DE INYECCION**	: 4.56seg
PROGRESIVA	: KM 543+000 (RECUAY)	**FECHA**	:12/04/2010	**PRESION (PEN)**	: 1.50 BAR	**TEMPERATURA ASFALTO**	: 170°C
TIPO DE ASFALTO	: REPSOL. PEN 85/100	**CAUDAL**	: 110.20G/seg	**PRESION AIRE**	: 4.50 BAR	**TEMPERATURA AMBIENTE**	: 18°C

CONTENIDO DE AGUA (%)	CAUDAL (LT/HORA)	1° MEDIDA		2° MEDIDA		3° MEDIDA		VALORES PROMEDIO	
		EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA
1.5	6	9	8	10	8	10	8	9.7	8.0
2	7.9	13	7	14	7	13	7	13.3	7.0
2.5	9.9	17	6	16	5	17	6	16.7	5.7
3	11.9	21	4	22	4	20	4	21.0	4.0



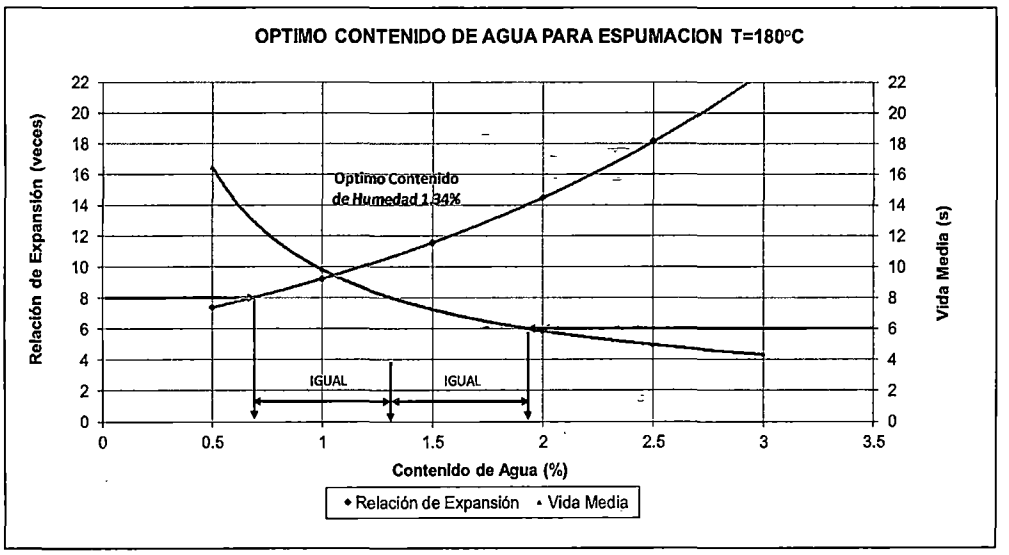


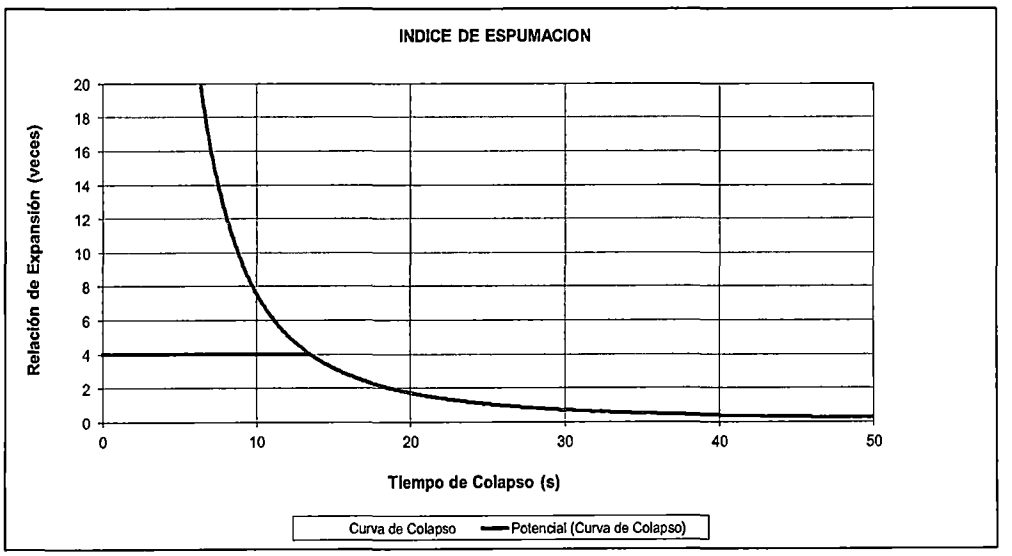
TRAMO:	: CONOCOCHA - HUARAZ	**UBICACIÓN**	:ANCASH - PERU
ENTIDAD	: MTC - PROYECTO PERU	**ALTERNATIVA**	:RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO
CONSTRUYE	: CCT	**HECHO POR**	:HILARIO E. ABAD QUITO

PRUEBA DE ESPUMABILIDAD - RAZON DE EXPANSION - VIDA MEDIA

LABORATORIO	: WLB10	**PRUEBA**	: P-003	**PRESION H2O**	: 5.50 BAR	**TIEMPO DE INYECCION**	: 4.57seg.
PROGRESIVA	: KM 543+000 (RECUAY)	**FECHA**	:12/04/2010	**PRESION (PEN)**	: 1.50 BAR	**TEMPERATURA ASFALTO**	: 180°C
TIPO DE ASFALTO	: REPSOL. PEN 85/100	**CAUDAL**	: 109.40G/seg	**PRESION AIRE**	: 4.50 BAR	**TEMPERATURA AMBIENTE**	: 18°C

CONTENIDO DE AGUA (%)	CAUDAL (LT/HORA)	1° MEDIDA		2° MEDIDA		3° MEDIDA		VALORES PROMEDIO	
		EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA	EXPANSION	VIDA MEDIA
1.5	5.9	11	6.5	12	7	12	7	11.7	6.8
2	7.9	15	6	14	6.5	15	6.5	14.7	6.3
2.5	9.8	18	5	17	6	17	5	17.3	5.3
3	11.8	24	4	23	4	23	4	23.3	4.0





Anexo N°3. 4. Propiedades físicas de RAP para diseño de mezclas

CONSORCIO COSAPI TRANSLEI

COSAPI

Obra: Servicio de gestión y conservación por niveles de servicio de la carretera:Empalme 1N-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y emp. 3N-Chiquian-Aquia-emp.3N

Contrato No: 013 - 2010 - MTC/20 | Registro: N° 01 | CCT/LABMS-001

TRANSLEI

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

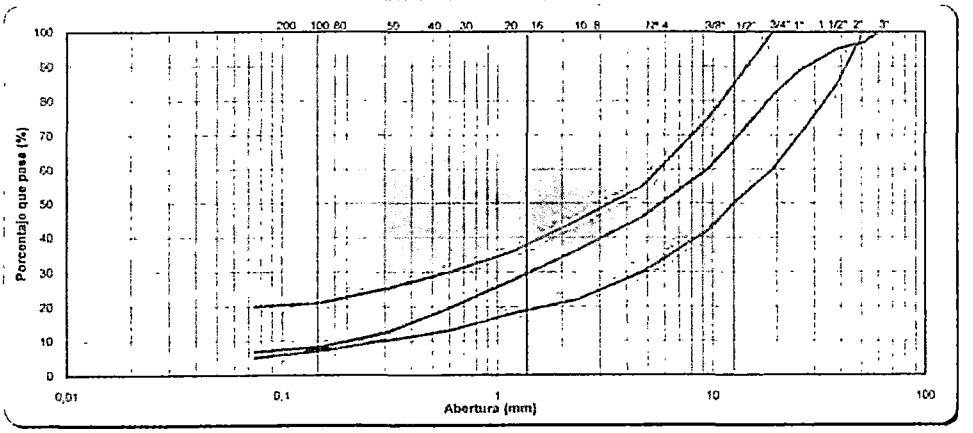
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO : GRANULOMETRIA DE MEZCLA (DISEÑO N°01)
TRAMO :
LADO :
ESTRATO : RECICLADO 100 % RAP (17.5 CM)
FECHA : 05/05/2010
Nº DE MUESTRA: DISEÑO
HECHO POR A C D
UBICACIÓN : LABORATORIO
PESOTOTAL SECO : 29950,0 gr.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. CONTRATO		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
4"	101,600							Pesos de Muestra		
3"	75,000	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100	Material Grueso > Nº 4	(gr.)	16175
2 1/2"	60,350	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100	Material Fino < Nº 4	(gr.)	13775
2"	50,800	912,0	3,0	3,0	97,0	100	100	Fracción Mat. Fino	(gr.)	742,1
1 1/2"	38,100	577,0	1,9	5,0	95,0	100	85			
1"	25,400	1870,0	6,2	11,2	88,8	100	70			
3/4"	19,000	2137,0	7,1	18,4	81,6	100	60			
1/2"	12,500	3970,0	13,3	31,6	68,4	85	50			
3/8"	9,500	2480,0	8,3	39,9	60,1	75	42			
Nº 4	4,750	4229,0	14,1	54,0	46,0	55	30			
Nº 8	2,360	156,4	9,7	63,7	36,3	45	22			
Nº 10	2,000	0,0	0,0	63,7	36,3					
Nº 16	1,190	136,4	8,6	72,3	27,7	35	18			
Nº 20	0,840	0,0	0,0	72,3	27,7					
Nº 30	0,600	132,0	8,2	80,5	19,5	30	13			
Nº 40	0,425	0,0	0,0	80,5	19,5					
Nº 50	0,300	118,0	7,3	87,8	12,2	25	10			
Nº 80	0,177	0,0	0,0	87,8	12,2					
Nº 100	0,150	67,8	4,2	92,0	8,0	21	7			
Nº 200	0,075	22,1	1,4	93,3	6,7	20	5			
< Nº 200	FONDO	107,4	6,7	100,0	0,0					

CURVA GRANULOMETRICA



Observaciones:

Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	V° B° Supervisión
Nombre / Función: V°B° Tec. Laboratorio de Laboratorio	Nombre / Función: Reinel Palacios Ortiz, Ing. Mecánica de Suelos	Nombre / Función: Guillermo Lazo Lazaro, MSc Ingº Jefe de Estudios del Pavimento	Nombre / Función:
D:	D:	D:	D:
M:	M:	M:	M:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

SUELOS Y PAVIMENTOS

V° B°

GERENTE VIAL

CONSORCIO COSAPI TRANSLEI

COSAPI

Obra: Servicio de gestión y conservación por niveles de servicio de la carretera Empalme 1N-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y emp. 3N-Chiquian-Aquia-emp 3N

Contrato No: 013 - 2010 - MTC/20 | Registro: N° 01 | CCT/LABMS-004

TL TRANSLEI

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

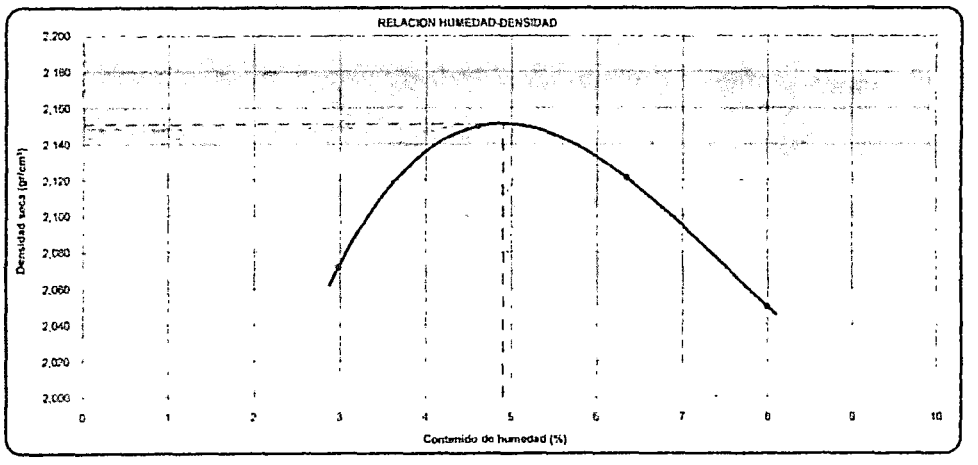
PROCTOR MODIFICADO

NORMAS TECNICAS: MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

CONCEPTO :	PROCTOR DE MEZCLA DE DISEÑO N°01	N° DE MUESTRA :	4
TRAMO :		LADO :	DER
ESTRATO :	RECICLADO 100 % RAP (17.5 CM)	FECHA :	12/05/2010
CALICATA :		HECHO POR :	A C D
UBICACIÓN :	LABORATORIO	PROFUNDIDAD:	

Ensayo N°		1	2	3	4	
Número de Capas		5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa		56	56	56	56	
Peso suelo húmedo + molde	gr.	10890	11135	11150	11061	
Peso molde + base	gr.	6361	6361	6361	6361	
Peso suelo húmedo compactado	gr.	4529	4774	4789	4700	
Volumen del molde	cm^3	2123	2123	2123	2123	
Peso volumétrico húmedo	gr/cm^3	2,133	2,249	2,256	2,214	
Recipiente N°		Tc-16	Tc-07	Tc-10	Tc-10	
Peso del suelo húmedo+tara	gr.	980,9	1010,8	1095,5	982,3	
Peso del suelo seco + tara	gr.	962,3	978,4	1052,3	935,0	
Peso de Tara	gr.	337,3	274,1	371,0	343,1	
Peso de agua	gr.	18,6	32,4	43,2	47,3	
Peso del suelo seco	gr.	625,0	704,3	681,3	591,9	
Contenido de agua	%	3,0	4,6	6,3	8,0	
Peso volumétrico seco	gr/cm^3	2,072	2,150	2,121	2,050	
				Densidad máxima (gr/cm^3)		2,151
				Humedad óptima (%)		4,9



Observaciones:

Elaborado por	Revisado por	Aprobado por	V° B° Supervisión
Nombre / Función: Walter Flores Sosa, Jefe Supervisor de Laboratorio	Nombre / Función: Romel Palacios Ortiz, Jefe Mecánica de Suelos	Nombre / Función: Guillermo Lazo Lazaro, Jefe Mecánica de Suelos del Pavimento	Nombre / Función
Firma	Firma	Firma	Firma

V° B° SUELOS Y PAVIMENTO

V° B° GERENTE VIAL

CONSORCIO COSAPI TRANSLEI

COSAPI S.A. INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Obra: Servicio de gestión y conservación por niveles de servicio de la carretera:Empalme 1N-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y emp. 3N-Chiquian-Aquia-emp.3N

Contrato No: 013 - 2010 - MTC/20 | Registro: N° 01 | CCT/LABMS-002

TRANSLEI INGENIERIA Y CONSTRUCCION

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

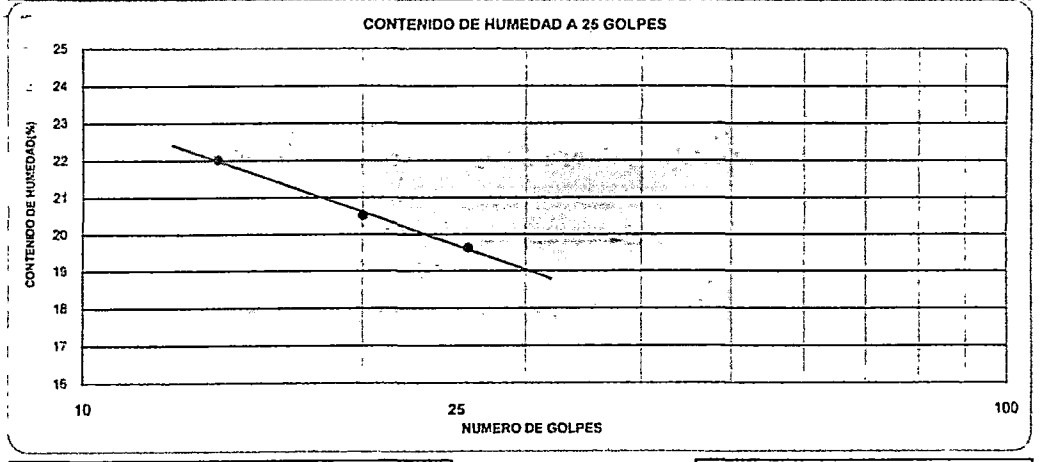
CONCEPTO :	LIMITES DE MEZCLA (DISEÑO N°01)	N° DE MUESTRA :	4
TRAMO :		LADO :	DER.
ESTRATO :	RECICLADO 100 % RAP (17.5 CM)	FECHA :	12/05/2010
CALICATA :		HECHO POR :	A.M.A
UBICACIÓN :	LABORATORIO	PROFUNDIDAD :	

LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° TARA		T-06	T-22	T-04	
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)	34,49	37,41	35,33	
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)	30,66	32,96	30,99	
PESO DE AGUA	(gr.)	3,83	4,45	4,34	
PESO DE LA TARA	(gr.)	11,16	11,26	11,27	
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)	19,50	21,70	19,72	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	19,64	20,51	22,01	
NUMERO DE GOLPES		26	20	14	

LIMITE PLASTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° TARA					
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(gr.)				
PESO TARA + SUELO SECO	(gr.)				
PESO DE AGUA	(gr.)	N.P	N.P		
PESO DE LA TARA	(gr.)				
PESO DEL SUELO SECO	(gr.)				
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)				



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO (%)	20
LIMITE PLASTICO (%)	N.P
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	N.P

OBSERVACIONES

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:	V° B° Supervisor
Nombre / Función: Walter Flores Sosa Tec. Superior en Geotecnia	Nombre / Función: Romel Palacios Ortiz Ing. Mecanica de Suelos	Nombre / Función: Guillermo Lazo Lazaro MSc Ing° Jefe de Laratios del Pavimento	Nombre / Función:
D:	D:	D:	D:
M:	M:	M:	M:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:

SUELOS Y PAVIMENTOS

GERENTE VIAL

Anexo N°3. 5. Resumen de Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta (ITS)

CONSORCIO COSAPI TRANSLEI

COSAPI

Obra: Servicio de gestión y conservación por niveles de servicio de la carretera Empalme 1N-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y emp. 3N-Chiquian-Aquia-emp.3N

Contrato No. 013 - 2010 - MTC/20 | Registro: Nº 01 | CCT/LABMS-001

TRANSLEI MINERIA & CONSTRUCCION

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

RESUMEN DE RESISTENCIAS A LA TRACCION INDIRECTA
COMPACTACION METODO MARSHALL

DISEÑO DE ASFALTO ESPUMADO Nº 01 (RAP 17 CM)

Iden!!!	%Asfalto Residual	Espesor promedio	Pesos (gr) Aire	Sumerg	SSS	γ g/cc	Carga (Kg) Seca	Húmeda	Resistencia Seca	ITS (KPA) Húmeda	Resist ITR	Observacion
1-1	1,0	6,61	1204,0	675,9	1207,8	2,264	279,7		260			
1-2	1,0	6,61	1202,1	671,9	1204,9	2,255	378,7		352			RAP de 17cm km 125+000
1-3	1,0	6,56	1203,5	678,2	1207,5	2,274	428,7		402			Fecha moldeo 07-05
1-4	1,0	6,57	1200,5	670,5	1205,5	2,244		293,4		275		Fecha rotura seco 11-05
1-5	1,0	6,53	1202,2	677,3	1206,9	2,270		358,5		337		Fecha rotura hum 12-05
1-6	1,0	6,55	1205,7	675,5	1209,2	2,259		368,0		345		
	1.0 % ASFALTO + 1.0% CEMENTO					ITS PROMEDIO M-1 (KPA)			338	319	94%	
2-1	1,5	6,61	1200,6	670,5	1204,2	2,250	365,1		340			
2-2	1,5	6,62	1206,2	671,7	1208,7	2,248	381,7		354			RAP de 17cm km 125+000
2-3	1,5	6,65	1201,4	665,9	1205,0	2,229	386,1		357			Fecha moldeo 07-05
2-4	1,5	6,57	1202,1	668,0	1206,0	2,234		345,8		324		Fecha rotura seco 11-05
2-5	1,5	6,59	1200,4	671,4	1203,5	2,256		307,4		287		Fecha rotura hum 12-05
2-6	1,5	6,57	1205,9	675,4	1209,0	2,260		285,0		267		
	1.5 % ASFALTO + 1.0% CEMENTO					ITS PROMEDIO M-2 (KPA)			350	292	83%	
3-1	2,0	6,63	1199,9	667,6	1204,4	2,235	423,9		393			
3-2	2,0	6,61	1200,5	667,1	1204,0	2,236	378,8		352			RAP de 17cm km 125+000
3-3	2,0	6,74	1200,3	663,5	1205,7	2,214	415,5		379			Fecha moldeo 07-05
3-4	2,0	6,62	1199,7	665,7	1204,8	2,225		341,1		317		Fecha rotura seco 11-05
3-5	2,0	6,64	1201,0	667,0	1205,5	2,230		309,9		287		Fecha rotura hum 12-05
3-6	2,0	6,58	1200,7	672,3	1205,1	2,254		307,1		287		
	2.0 % ASFALTO + 1.0% CEMENTO					ITS PROMEDIO M-3 (KPA)			375	297	79%	
4-1	2,5	6,65	1199,6	663,5	1205,0	2,215	443,1		410			
4-2	2,5	6,66	1202,0	665,3	1207,0	2,219	452,0		417			RAP de 17cm km 125+000
4-3	2,5	6,64	1998,3	660,7	1199,9	3,702	428,8		397			Fecha moldeo 07-05
4-4	2,5	6,64	1199,9	664,5	1204,2	2,223		395,3		366		Fecha rotura seco 11-05
4-5	2,5	6,63	1198,1	665,9	1203,1	2,230		344,7		320		Fecha rotura hum 12-05
4-6	2,5	6,74	1202,9	663,9	1207,9	2,211		357,3		326		
	2.5 % ASFALTO + 1.0% CEMENTO					ITS PROMEDIO M-4 (KPA)			408	337	82,6%	

V° B° SUELOS Y PAVIMENTOS

V° B° GERENCIA VIAL

Anexo N°4. 1. Ficha técnica para Cantera Tuco

COSAPI

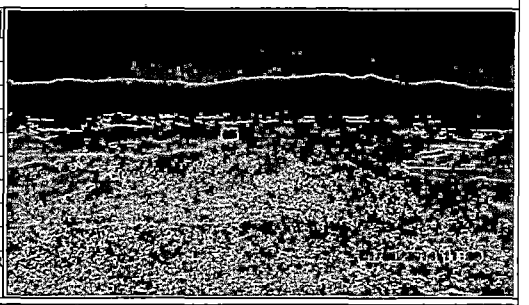
C C T
CONSORCIO
COSAPI - TRANSLEI

MOTA-ENGIL

FICHA TÉCNICA DE INFORMACIÓN DE CANTERA

1. INFORMACIÓN FUNDAMENTAL

NOMBRE	TUCO
UBICACIÓN	Km 485+130 LD
ACCESO	843 m
DISPONIBILIDAD	Autorizado
ÁREA A EXPLOTAR	242,526 m²
PROFUNDIDAD	1 m
POTENCIA	242,526 m³
ÉPOCA DE EXPLOTACIÓN	MAYO-DIC
FORMAS DE EXPLOTACIÓN	EXCAV / CARG FRON / TRACTOR VOLQ



2. DATOS DE LOS MATERIALES NATURALES

a) Piedra %	b) Arena %	c) Fino %
65	33.2	1.8

Porcentaje de bolonería >2"	55%		Gradación Granulométrica		
Tamaño máximo (plg)	6"		Bien gradada		X
Forma de la partícula			Mal gradada		X
Angular			Partículas predominantes		
Sub angular	X		Gruesas o finas		GRUESA
Redondeada			Materia fino predominante		
Sub redondeada			Arcillas o arenas		ARENAS

3. CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

TIPOS DE ENSAYO	RESULTADO	TIPOS DE ENSAYO		RESULTADO
Análisis granulométrico (ASTM C 136)	SATISFACTORIO	Caras fracturadas (ASTM D 5821) NATURAL		0
Clasificación SUCS	GW-GP	CBR al 100% (ASTM D 1833) NATURAL		50%
Clasificación AASHTO	A-1-a (0)	Abrasión por máquina Los Ángeles ASTM C131)		15%
Límite Líquido (ASTM 4318)	19	Riedel Weber		Grado 3
Límite Plástico (ASTM D 4318)	NP	Revestimiento y desprendimiento		> 95% retenido
Índice Plástico (ASTM D 4318)	NP	Impurezas orgánicas (ASTM C 40)		0.2
Equivalente de arena (ASTM D 2419)	38%	Sales solubles agregado fino		0.6
Partículas chatas y alargadas (ASTM D 4791) NATURAL	6.50%	Desgaste de agregado fino al sulfato de magnesio (ASTM C 88)		5.96%
Sales solubles agregado grueso	0.6	Gravedad específica agregado fino (ASTM C 127)		2675kg/m3
Desgaste de agregado grueso en sulfato de magnesio (ASTM C 127)	4.8%	Terrones de arcilla agregado fino		0.01%
Gravedad específica agregado grueso (ASTM C 127)	2680kg/m3	Peso unitario de agregado fino (ASTM C 29)		1378kg/m3
Absorción de agregado grueso (ASTM C 128)	0.68%			
Peso unitario del agregado grueso (ASTM C 29)	1586kg/m3			

N° SONDAJES EJECUTADOS	6	N° DE MUESTRAS TOMADAS	6

USOS	RENDIMIENTO	TRATAMIENTO
Rellenos	100%	Z
sub-base granular	72%	Z
Base Granular	100%	T,M
Tratamineto superficial bicapa	55%	Z,T,A

TRATAMIENTO (Leyenda)	
N1: Explotación directa elimina mayores de 3"	A: Aditivo mejorador de adherencia
	S: Secado
Z: Zarandeo	N2: Explotación directa del material
T: Trituración	L: Lavado
F: Filler	M: Mezcla

Nota: Costo por derecho de cantera S/. 14.00 / m2 + IGV, el uso de terreno para instalación de planta chancadora y punto de acopio: Está incluido en el precio, y se cuenta con plataformas para ambos.

Anexo N°4. 2. Conformación de estructura del pavimento en los tramos homogéneos

CUADRO DE CONFORMACION DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO TRAMO: CONOCOCHA - CATAC

PAVIMENTO EXISTENTE	PAVIMENTO PROYECTADO	CONFORMACION DE RECICLADO DE PAVIMENTO CON ASFALTO ESPUMADO	SECTRO N°											
			1.0		2.0		3.0		4.0		4.1		5.0		6.0	
	MORTERO ASFALTICO															
RODADURA EXISTENTE	RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO	Adición base granular	3.0		3.0		3.0		3.0		0.0		3.0		3.0	
		Carpeta Asfaltica /TSB	7.5	20	7.5	20	7.5	20	7.5	17.5	0.0	0.0	7.5	20	2.0	17.5
BASE EXISTENTE		Aporte Base existente	9.5		9.5		9.5		7.0		0.0		9.5		12.5	
	BASE GRANULAR	Base existente	10.5		10.5		10.5		13.0		20.0		10.5		7.5	
SUB BASE EXISTENTE	SUB BASE	Subbase existente	20.0		20.0		20.0		20.0		20.0		25.0		20.0	

TRAMO: CONOCOCHA - CATAC	PROGRESIVA	Progresiva inicio (Km)	491+760.00	496+980.00	505+980.00	512+300.00	512+770.00	529+580.00	534+970.00
	KM: 491+760	Progresiva final (Km)	496+980.00	505+980.00	512+300.00	529+580.00	514+820.00	534+970.00	536+176.00
	KM:536+176	Longitud (Km)	5.220	9.000	6.320	15.230	2.050	5.390	1.206

CUADRO DE CONFORMACION DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO TRAMO: CATAC - HUARAZ

PAVIMENTO EXISTENTE	PAVIMENTO PROYECTADO	CONFORMACION DE RECICLADO DE PAVIMENTO CON ASFALTO ESPUMADO	SECTRO N°													
			1.0		2.0		3.0		4.0		5.0		6.0		7.0	
	MORTERO ASFALTICO															
RODADURA EXISTENTE	RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO	Adición base granular	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
		Carpeta Asfaltica /TSB	3.0	20	3.0	17	4.0	17	3.0	20	5.0	17	5.0	17	4.0	17
BASE EXISTENTE		Aporte Base existente	17.0		14.0		13.0		17.0		12.0		12.0		13.0	
	BASE GRANULAR	Base existente	3.0		1.0		2.0		3.0		8.0		8.0		7.0	
SUB BASE EXISTENTE	SUB BASE	Subbase existente	20.0		20.0		20.0		20.0		20.0		25.0		20.0	

TRAMO: CATAC - HUARAZ	PROGRESIVA	Progresiva inicio (Km)	536+176.00	537+050.00	538+550.00	546+550.00	560+150.00	564+000.00	567+700.00
	KM: 536+176	Progresiva final (Km)	537+050.00	538+550.00	546+550.00	560+150.00	564+000.00	567+700.00	570+266.00
	KM: 570+266	Longitud (Km)	0.874	1.500	8.000	13.600	3.850	3.700	2.566

Anexo N°4. 3. Periodo de duración de obra entre la técnica RTPAE Vs técnica convencional

PROGRAMACIÓN: TECNICA RPTAE Vs TECNICA CONVENCIONAL

						Periodo	Periodo Teorico	Periodo Real	Numero de Meses														
Item	Descripción	Und	Metrado	Rendimiento	Cuadrilla	Dias	Mes	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	TECNICA RPTAE								◆					◆								
1	Esparcido de Material Granular	m2	305,035.20	5,280.00	1.00	58.00	3.00	3.00														
2	Esparcido de Cemento Portland	m2	550,483.20	5,280.00	1.00	105.00	5.00	5.00														
3	Reciclado con Asflato Espumado	m2	550,483.20	5,280.00	1.00	105.00	5.00	6.00														
4	Perfilado y Compactacion Final	m2	550,483.20	5,280.00	1.00	105.00	5.00	5.00														
Item	Descripción	Und	Metrado	Rendimiento	Cuadrilla	Dias	Mes	Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	TECNICA CONVENIONAL								◆													◆
1	Corte de Material Existente	m3	165,144.96	460.00	1.00	360.00	14.00	14.00														
2	Perfilado y Compactacion en Zonas de Corte	m2	550,483.20	2,420.00	1.00	228.00	9.00	9.00														
3	Base Granlar	m2	550,483.20	1,760.00	1.00	313.00	13.00	13.00														
4	Eliminacion de Material Excedente a DME	km3	185,788.08	1,477.78	1.00	126.00	5.00	5.00														

Anexo N°4. 4. Control de avance diario de la Base Estabilizada

		Progresiva				Longitud		
Mes	Dia	Inicio	Fin	Lado	Cant. Lados	Total	Equivalente	Avance/Dia
JUNIO	04/06/2010	491+760	492+360	Der.	1	600	200	200
	05/06/2010	491+760	492+360	Izq. y Eje	2	1,200	400	400
	07/06/2010	492+360	492+960	I, E y D	3	1,800	600	600
	08/06/2010	492+960	493+600	Izq.	1	320	107	192
		493+090	493+600	Eje	1	255	85	
	10/06/2010	492+960	493+090	Eje	1	65	22	278
		492+960	493+600	Izq.	1	320	107	
		493+600	493+900	I, E y D	3	450	150	
	11/06/2010	492+960	493+900	I, E y D	3	1,410	470	630
		493+900	494+060	I, E y D	3	480	160	
	12/06/2010	494+060	494+660	Der.	1	600	200	300
		494+060	494+360	Der.	1	300	100	
	14/06/2010	494+360	494+660	Eje	1	300	100	733
		494+060	494+660	Izq.	1	600	200	
		494+660	495+060	I, E y D	3	1,200	400	
		495+060	495+160	Izq.	1	100	33	
	15/06/2010	495+160	495+860	Izq.	1	700	233	767
		495+060	495+860	Der. y Eje	2	1,600	533	
	16/06/2010	495+860	496+610	I, E y D	3	2,250	750	750
	17/06/2010	496+610	497+360	I, E y D	3	2,250	750	750
	18/06/2010	497+360	498+360	I, E y D	3	3,000	1000	1000
	19/06/2010	498+360	498+440	Der.	1	80	27	27
JULIO	12/07/2010	498+440	499+360	Der.	1	920	307	973
		498+360	499+360	Izq. y Eje	2	2,000	667	
	13/07/2010	499+360	500+060	I, E y D	3	2,100	700	700
	15/07/2010	500+060	500+760	I, E y D	3	2,100	700	700
	16/07/2010	500+760	501+460	I, E y D	3	2,100	700	1030
		501+460	502+450	Der.	1	990	330	
	17/01/1900	501+460	502+460	Eje	1	1,000	333	413
		501+460	501+700	Izq.	1	240	80	
	21/07/2010	501+700	502+460	Izq.	1	760	253	560
		502+450	503+370	Der.	1	920	307	
	22/07/2010	502+460	503+460	Izq. y Eje	2	2,000	667	667
	23/07/2010	503+370	504+460	Der.	1	1,090	363	877
		503+460	504+460	Eje	1	1,000	333	
		503+460	504+000	Izq.	1	540	180	
	24/07/2010	504+000	505+360	Der.	1	1,360	453	1053
		504+460	505+360	Der. y Eje	2	1,800	600	
	26/07/2010	505+360	505+860	I, E y D	3	1,500	500	500
	27/07/2010	505+860	506+860	I, E y D	3	3,000	1000	1000
	28/07/2010	506+860	507+860	I, E y D	3	3,000	1000	1000
	29/07/2010	507+860	508+860	Der. y Eje	2	2,000	667	667
	30/07/2010	507+920	509+260	Izq.	1	1,340	447	447
AGOSTO	05/08/2010	508+860	509+260	Eje y Der	2	800	267	507
		509+260	509+980	Der.	1	720	240	
	09/08/2010	509+260	509+980	Eje	1	720	240	320
		509+260	509+500	Izq.	1	240	80	
	10/08/2010	509+500	509+980	Izq.	1	480	160	505
		510+005	510+350	I, E y D	3	1,035	345	
	11/08/2010	510+350	511+050	I, E y D	3	2,100	700	700
	13/08/2010	511+050	511+600	Izq. y Eje	2	1,100	367	583
		511+050	511+700	Der.	1	650	217	
	14/08/2010	511+700	512+140	Der.	1	440	147	147
	16/08/2010	512+140	512+745	Der.	1	605	202	998
		511+600	512+795	Izq. y Eje	2	2,390	797	
	17/08/2010	514+820	516+110	I, E y D	3	3,870	1290	1290
	18/08/2010	516+110	517+320	Der. y Eje	2	2,420	807	987
		516+110	516+650	Izq.	1	540	180	
	19/08/2010	516+650	517+280	Izq.	1	630	210	210
	20/08/2010	517+280	518+380	Izq.	1	1,100	367	987
		517+320	518+380	Eje	1	1,060	353	
		517+320	518+120	Der.	1	800	267	
	23/08/2010	518+120	519+100	Der.	1	980	327	807
		518+380	519+100	Izq. y Eje	2	1,440	480	
	24/08/2010	519+100	520+100	I, E y D	3	3,000	1000	1000
	25/08/2010	520+100	521+600	I, E y D	3	4,500	1500	1500
	26/08/2010	521+600	522+300	I, E y D	3	2,100	700	700
	27/08/2010	522+300	523+000	I, E y D	3	2,100	700	700

		Progresiva				Longitud		
Mes	Dia	Inicio	Fin	Lado	Cant. Lados	Total	Equivalente	Avance/Dia
SETIEMBRE	02/09/2010	523+000	523+500	I, E y D	3	1,500	500	500
	03/09/2010	523+500	524+200	I, E y D	3	2,100	700	700
	04/09/2010	524+200	525+200	I, E y D	3	3,000	1000	1000
	06/09/2010	525+200	525+700	I, E y D	3	1,500	500	500
	07/09/2010	525+200	526+700	I, E y D	3	4,500	1500	1500
	08/09/2010	526+700	527+700	I, E y D	3	3,000	1000	1000
	09/09/2010	527+700	528+560	I, E y D	3	2,580	860	860
	10/09/2010	528+560	529+580	I, E y D	3	3,060	1020	1020
	11/09/2010	529+580	530+580	I, E y D	3	3,000	1000	1000
	13/09/2010	530+580	531+000	D	1	420	140	140
	16/09/2010	531+000	531+100	I, E y D	3	300	100	100
	17/09/2010	531+100	531+500	I	1	400	133	133
	21/09/2010	531+500	531+600	I, E y D	3	300	100	100
	22/09/2010	531+600	532+700	I, E y D	3	3,300	1100	1100
	23/09/2010	532+700	533+800	I, E y D	3	3,300	1100	1100
	24/09/2010	533+800	534+160	I	1	360	120	1220
		533+800	534+900	I, E y D	3	3,300	1100	
	25/09/2010	535+000	536+160	I, E y D	3	3,480	1160	1160
	27/09/2010	536+160	537+050	I, E y D	3	2,670	890	890
	28/09/2010	537+050	538+250	I, E y D	3	3,600	1200	1200
	29/09/2010	538+250	538+650	I	1	400	133	1383
		538+250	539+500	I, E y D	3	3,750	1250	
	30/09/2010	538+650	540+100	I	1	1,450	483	483
OCTUBRE	05/10/2010	540+100	541+300	D	1	1,200	400	400
	06/10/2010	541+300	542+300	I,E	2	2,000	667	667
	07/10/2010	542+300	543+500	I,E	2	2,400	800	800
	08/10/2010	541+300	543+500	D	1	2,200	733	733
	09/10/2010	543+500	544+950	I,E	2	2,900	967	967
	10/10/2010	543+500	546+200	D	1	2,700	900	900
	11/10/2010	544+950	546+550	E,D	2	3,200	1067	1067
	12/10/2010	544+950	545+290	I	1	340	113	113
	13/10/2010	545+290	545+450	I	1	160	53	53
	14/10/2010	545+450	547+350	I	1	1,900	633	1167
		546+550	547+350	E,D	2	1,600	533	
	16/10/2010	547+350	547+600	I, E y D	3	750	250	250
		547+600	548+050	E,D	2	900	300	300
	18/10/2010	547+600	548+050	I, E y D	3	1,350	450	450
	19/10/2010	548+050	549+100	I	1	1,050	350	350
	20/10/2010	548+050	549+290	E	1	1,240	413	413
	21/10/2010	548+050	549+100	D	1	1,050	350	850
		549+100	550+600	D	1	1,500	500	
	22/10/2010	549+100	550+830	I	1	1,730	577	1013
		549+290	550+600	E	1	1,310	437	
	24/10/2010	550+600	551+200	I, E y D	3	1,800	600	600
	26/10/2010	551+200	552+200	I, E y D	3	3,000	1000	1000
	27/10/2010	552+200	553+300	I, E y D	3	3,300	1100	1100
	28/10/2010	553+300	554+400	I, E y D	3	3,300	1100	1100
	29/10/2010	554+400	555+800	I, E y D	3	4,200	1400	1400
	30/10/2010	555+800	557+000	I, E y D	3	3,600	1200	1200
	31/10/2010	557+000	557+400	I, E y D	3	1,200	400	400
NOVIEMBRE	02/11/2010	557+400	558+080	I, E y D	3	2,040	680	680
	03/11/2010	558+080	558+670	I, E y D	3	1,770	590	590
	04/11/2010	558+670	559+850	I, E y D	3	3,540	1180	1180
	05/11/2010	559+850	560+950	I, E y D	3	3,300	1100	1100
	06/11/2010	560+950	561+850	I, E y D	3	2,700	900	900
	07/11/2010	561+850	562+950	I, E y D	3	3,300	1100	1100
	08/11/2010	562+950	564+250	I, E y D	3	3,900	1300	1300
	09/11/2010	564+250	565+700	I, E y D	3	4,350	1450	1450
	11/11/2010	565+700	566+250	I, E y D	3	1,650	550	550
	15/11/2010	566+250	567+200	I, E y D	3	2,850	950	950
	16/11/2010	567+200	568+100	I, E y D	3	2,700	900	900
	18/11/2010	568+100	569+140	I, E y D	3	3,120	1040	1040
	19/11/2010	569+140	570+266	I, E y D	3	3,378	1126	1126
100				Rend. Diario	764		76,403	76,403

Anexo N°4. 5. Resumen de verificación tracción indirecta

MEDICION DE TRACCION INDIRECTA DE LA BASE RECICLADA TRAMO: CONOCOCHA - HUARAZ

MATERIAL :	BASE GRANULAR + CARPETA ASFALTICA	% H20 DE ESPUMACION :	2.00%
TIPO DE ASFALTO:	PETROPERU / PEN 85/100	%ASFALTO ESPUMADO :	1.50%
T° ASFALTO :	160 °C	% CEMENTO PORTLAND :	1.00%
% ITS SECO >= :	200 Kpa	% RESIST. CONSERVADA:	50.00%
% ITS HUMEDO>= :	100 Kpa		

PROGRESIVA INICIAL (Km)	PROGRESIVA FINAL (Km)	N° DE TOMO	FECHA	DENSIDAD (Gr/cm3)	RESISTENCIA (ITS) (Kpa) SECA	HUMEDAD	RESISTENCIA CONSERVADA (%)	OBSERVACIÓN
491+760	492+000	1/1	jun-10	2.148	373.659	243.362	65.30	CUMPLE
492+000	492+500	1/1	jun-10	2.155	361.093	287.525	79.63	CUMPLE
492+500	493+000	1/1	jun-10	2.184	407.689	259.606	63.68	CUMPLE
493+000	493+500	1/1	jun-10	2.156	338.149	214.843	63.54	CUMPLE
493+500	494+000	1/1	jun-10	2.167	384.167	233.642	60.82	CUMPLE
494+000	494+500	1/1	jun-10	2.114	466.851	385.914	82.66	CUMPLE
494+500	495+000	1/1	jun-10	2.163	390.575	306.353	78.44	CUMPLE
495+000	495+500	1/1	jun-10	2.240	417.961	264.040	63.17	CUMPLE
495+500	496+000	1/1	jun-10	2.229	399.059	391.462	98.10	CUMPLE
496+000	496+500	1/1	jun-10	2.171	296.056	289.509	97.79	CUMPLE
496+500	497+000	1/1	jun-10	2.179	396.982	254.589	64.13	CUMPLE
497+000	497+500	1/1	jun-10	2.226	398.910	277.048	69.45	CUMPLE
497+500	498+000	1/1	jun-10	2.173	537.918	457.408	85.03	CUMPLE
498+000	498+500	1/1	jun-10	2.193	403.984	357.661	88.53	CUMPLE
498+500	499+000	1/1	jul-10	2.211	428.267	360.500	84.18	CUMPLE
499+000	499+500	1/1	jul-10	2.219	587.367	562.330	95.74	CUMPLE
499+500	500+000	1/1	jul-10	2.233	522.300	403.500	77.25	CUMPLE
500+000	500+500	1/1	jul-10	2.207	431.467	343.700	72.71	CUMPLE
500+500	501+000	1/1	jul-10	2.195	403.433	371.300	92.04	CUMPLE
501+000	501+500	1/1	jul-10	2.221	348.000	282.233	81.10	CUMPLE
501+500	502+000	1/1	jul-10	2.131	350.567	235.500	67.18	CUMPLE
502+000	502+500	1/1	jul-10	2.222	244.633	180.030	73.59	CUMPLE
502+500	503+000	1/1	jul-10	2.225	544.933	419.567	76.99	CUMPLE
503+000	503+500	1/1	jul-10	2.193	518.967	375.133	72.28	CUMPLE
503+500	504+000	1/1	jul-10	2.172	427.033	302.920	70.94	CUMPLE
504+000	504+500	1/1	jul-10	2.162	427.767	298.166	69.70	CUMPLE
504+500	505+000	1/1	jul-10	2.200	404.265	306.052	75.71	CUMPLE
505+000	505+500	1/1	jul-10	2.199	457.571	281.541	61.53	CUMPLE
505+500	506+000	1/1	jul-10	2.175	471.078	316.099	67.10	CUMPLE
506+000	506+500	1/1	ago-10	2.220	318.850	194.445	60.98	CUMPLE
506+500	507+000	1/1	ago-10	2.206	350.286	298.770	85.29	CUMPLE
507+000	507+500	1/1	ago-10	2.184	338.844	209.756	61.90	CUMPLE
507+500	508+000	1/1	ago-10	2.171	329.526	295.534	89.68	CUMPLE
508+000	508+500	1/1	ago-10	2.178	317.342	180.057	56.74	CUMPLE
508+500	509+000	1/1	ago-10	2.151	414.883	280.005	67.49	CUMPLE
509+000	509+500	1/1	ago-10	2.153	317.093	227.970	71.89	CUMPLE
509+500	510+000	1/1	ago-10	2.143	369.934	298.871	80.79	CUMPLE
510+000	510+500	1/1	ago-10	2.234	278.670	221.215	79.38	CUMPLE
510+500	511+000	1/1	ago-10	2.237	488.634	327.623	67.05	CUMPLE
511+000	511+500	1/1	ago-10	2.188	340.886	270.134	79.24	CUMPLE
511+500	512+000	1/1	ago-10	2.224	278.792	157.152	56.37	CUMPLE
512+000	512+500	1/1	ago-10	2.196	324.267	176.299	54.37	CUMPLE
515+000	515+500	1/1	ago-10	2.286	317.828	168.137	52.90	CUMPLE
515+500	516+000	1/1	ago-10	2.215	322.591	197.032	61.08	CUMPLE
516+000	516+500	1/1	ago-10	2.178	386.756	258.357	66.80	CUMPLE
516+500	517+000	1/1	ago-10	2.169	248.066	188.881	76.14	CUMPLE
517+000	517+500	1/1	ago-10	2.219	286.344	165.671	57.86	CUMPLE
517+500	518+000	1/1	ago-10	2.251	349.372	204.603	58.56	CUMPLE
518+000	518+500	1/1	ago-10	2.217	347.970	132.700	53.52	CUMPLE
518+500	519+000	1/1	ago-10	2.233	303.751	214.961	70.77	CUMPLE
519+000	519+500	1/1	ago-10	2.415	309.339	207.624	67.12	CUMPLE
519+500	520+000	1/1	ago-10	2.255	295.936	205.710	69.51	CUMPLE
520+000	520+500	1/1	ago-10	2.125	306.440	241.506	78.81	CUMPLE
520+500	521+000	1/1	ago-10	2.291	242.168	193.655	79.97	CUMPLE
521+000	521+500	1/1	ago-10	2.237	288.735	248.721	86.14	CUMPLE
521+500	522+000	1/1	ago-10	2.238	302.148	279.434	92.48	CUMPLE
522+000	522+500	1/1	ago-10	2.211	248.627	198.575	79.87	CUMPLE
522+500	523+000	1/1	sep-10	2.198	274.940	198.150	72.07	CUMPLE

MEDICION DE TRACCION INDIRECTA DE LA BASE RECICLADA TRAMO: CONOCOCHA - HUARAZ

MATERIAL :	BASE GRANULAR + CARPETA ASFALTICA	% H20 DE ESPUMACION :	2.00%
TIPO DE ASFALTO:	PETROPERU / PEN 85/100	%ASFALTO ESPUMADO :	1.50%
T° ASFALTO :	160 °C	% CEMENTO PORTLAND :	1.00%
% ITS SECO >= :	200 Kpa	% RESIST. CONSERVADA:	50.00%
% ITS HUMEDO>= :	100 Kpa		

PROGRESIVA INICIAL (Km)	PROGRESIVA FINAL (Km)	N° DE TOMO	FECHA	DENSIDAD (Gr/cm3)	RESISTENCIA (ITS) (Kpa)		RESISTENCIA CONSERVADA (%)	OBSERVACIÓN
					SECA	HUMEDAD		
523+000	523+500	1/1	sep-10	2.273	289.580	227.140	78.44	CUMPLE
523+500	524+000	1/1	sep-10	2.206	253.170	236.310	93.34	CUMPLE
524+000	524+500	1/1	sep-10	2.227	261.680	210.170	80.31	CUMPLE
524+500	525+000	1/1	sep-10	2.252	333.110	224.080	67.27	CUMPLE
525+000	525+500	1/1	sep-10	2.230	355.040	265.810	74.87	CUMPLE
525+500	526+000	1/1	sep-10	2.189	284.160	184.280	64.85	CUMPLE
526+000	526+500	1/1	sep-10	2.251	330.540	206.190	62.38	CUMPLE
526+500	527+000	1/1	sep-10	2.191	259.330	192.530	74.24	CUMPLE
527+000	527+500	1/1	sep-10	2.207	341.830	179.710	52.57	CUMPLE
527+500	528+000	1/1	sep-10	2.222	345.730	234.840	67.93	CUMPLE
528+000	528+500	1/1	sep-10	2.256	324.440	162.110	79.97	CUMPLE
528+500	529+000	1/1	sep-10	2.260	239.160	290.340	67.78	CUMPLE
529+000	529+500	1/1	sep-10	2.156	329.740	275.830	83.65	CUMPLE
529+500	530+000	1/1	sep-10	2.278	464.230	261.900	56.42	CUMPLE
530+000	530+500	1/1	sep-10	2.220	416.320	237.770	57.11	CUMPLE
530+500	531+000	1/1	sep-10	2.242	377.680	268.900	71.20	CUMPLE
531+000	531+500	1/1	sep-10	2.196	491.080	391.710	79.65	CUMPLE
531+500	532+000	1/1	sep-10	2.219	363.840	270.410	74.32	CUMPLE
532+000	532+500	1/1	sep-10	2.191	455.880	315.960	69.31	CUMPLE
532+500	533+000	1/1	sep-10	2.220	394.920	265.000	67.10	CUMPLE
533+000	533+500	1/1	sep-10	2.209	371.730	225.410	60.64	CUMPLE
533+500	534+000	1/1	sep-10	2.217	369.870	222.370	60.12	CUMPLE
534+000	534+500	1/1	sep-10	2.214	389.580	244.470	62.75	CUMPLE
534+500	535+000	1/1	sep-10	2.244	367.140	243.050	66.20	CUMPLE
535+000	535+500	1/1	sep-10	2.325	295.270	166.860	56.51	CUMPLE
535+500	536+000	1/1	sep-10	2.288	322.400	236.450	76.34	CUMPLE
536+000	536+500	1/1	sep-10	2.250	399.710	217.930	54.52	CUMPLE
536+500	537+000	1/1	oct-10	2.286	488.730	340.489	69.70	CUMPLE
537+000	537+500	1/1	oct-10	2.213	529.577	414.034	78.18	CUMPLE
537+500	538+000	1/1	oct-10	2.252	355.206	254.469	71.64	CUMPLE
538+000	538+500	1/1	oct-10	2.252	317.174	248.561	78.37	CUMPLE
538+500	539+000	1/1	oct-10	2.164	383.087	323.421	84.42	CUMPLE
539+000	539+500	1/1	oct-10	2.168	381.461	307.851	80.70	CUMPLE
539+500	540+000	1/1	oct-10	2.292	373.004	271.437	72.77	CUMPLE
540+000	540+500	1/1	oct-10	2.172	356.490	354.360	99.40	CUMPLE
540+500	541+000	1/1	oct-10	2.205	485.103	286.594	59.08	CUMPLE
541+000	541+500	1/1	oct-10	2.197	272.178	187.036	68.72	CUMPLE
541+500	542+000	1/1	oct-10	2.278	352.638	300.091	85.10	CUMPLE
542+000	542+500	1/1	oct-10	2.173	302.026	186.876	61.87	CUMPLE
542+500	543+000	1/1	oct-10	2.272	372.682	204.827	54.96	CUMPLE
543+000	543+500	1/1	oct-10	2.226	264.781	168.616	63.68	CUMPLE
543+500	544+000	1/1	oct-10	2.272	482.059	284.730	59.07	CUMPLE
544+000	544+500	1/1	oct-10	2.293	394.456	231.934	58.80	CUMPLE
544+500	545+000	1/1	oct-10	2.242	381.404	264.192	69.27	CUMPLE
545+000	545+500	1/1	oct-10	2.255	298.739	241.352	80.79	CUMPLE
545+500	546+000	1/1	oct-10	2.284	255.058	177.876	69.74	CUMPLE
546+000	546+500	1/1	oct-10	2.208	300.044	200.566	66.85	CUMPLE
546+500	547+000	1/1	oct-10	2.261	392.106	211.768	54.01	CUMPLE
547+000	547+500	1/1	oct-10	2.270	211.748	127.542	60.23	CUMPLE
547+500	548+000	1/1	oct-10	2.160	310.852	219.565	70.63	CUMPLE
548+000	548+500	1/1	oct-10	2.280	356.389	317.573	89.11	CUMPLE
548+500	549+000	1/1	oct-10	2.236	479.837	353.359	73.64	CUMPLE
549+000	549+500	1/1	oct-10	2.234	319.838	285.037	89.12	CUMPLE
549+500	550+000	1/1	oct-10	2.300	305.206	174.028	57.02	CUMPLE
550+000	550+500	1/1	oct-10	2.296	552.029	345.569	62.60	CUMPLE
550+500	551+000	1/1	oct-10	2.232	250.155	179.207	71.64	CUMPLE
551+000	551+500	1/1	oct-10	2.261	213.614	157.476	73.72	CUMPLE
551+500	552+000	1/1	oct-10	2.318	358.847	189.949	52.93	CUMPLE
552+000	552+500	1/1	oct-10	2.267	242.130	148.634	61.39	CUMPLE
552+500	553+000	1/1	oct-10	2.314	260.272	237.917	91.41	CUMPLE

MEDICION DE TRACCION INDIRECTA DE LA BASE RECICLADA TRAMO: CONOCOCHA - HUARAZ

MATERIAL :	BASE GRANULAR + CARPETA ASFALTICA	% H20 DE ESPUMACION :	2.00%
TIPO DE ASFALTO:	PETROPERU / PEN 85/100	%ASFALTO ESPUMADO :	1.50%
T° ASFALTO :	160 °C	% CEMENTO PORTLAND :	1.00%
% ITS SECO >= :	200 Kpa	% RESIST. CONSERVADA:	50.00%
% ITS HUMEDO>= :	100 Kpa		

PROGRESIVA INICIAL (Km)	PROGRESIVA FINAL (Km)	N° DE TOMO	FECHA	DENSIDAD (Gr/cm3)	RESISTENCIA (ITS) (Kpa)		RESISTENCIA CONSERVADA (%)	OBSERVACIÓN
					SECA	HUMEDAD		
553+000	553+500	1/1	oct-10	2.285	393.697	299.945	76.19	CUMPLE
553+500	554+000	1/1	oct-10	2.190	377.790	208.169	55.10	CUMPLE
554+000	554+500	1/1	oct-10	2.223	505.954	355.944	70.35	CUMPLE
554+500	555+000	1/1	oct-10	2.213	344.146	235.645	68.47	CUMPLE
555+000	555+500	1/1	oct-10	2.284	318.801	209.285	65.65	CUMPLE
555+500	556+000	1/1	oct-10	2.268	411.758	235.321	57.15	CUMPLE
556+000	556+500	1/1	oct-10	2.229	295.226	208.264	70.54	CUMPLE
556+500	557+000	1/1	oct-10	2.192	370.158	281.790	76.13	CUMPLE
557+000	557+500	1/1	oct-10	2.236	488.853	428.523	87.66	CUMPLE
557+500	558+000	1/1	oct-10	2.188	274.998	198.121	72.04	CUMPLE
558+000	558+500	1/1	oct-10	2.223	365.232	190.775	52.23	CUMPLE
558+500	559+000	1/1	nov-10	2.291	526.172	335.977	68.50	CUMPLE
559+000	559+500	1/1	nov-10	2.251	269.517	228.679	84.85	CUMPLE
559+500	560+000	1/1	nov-10	2.223	411.0	297.3	72.34	CUMPLE
560+000	560+500	1/1	nov-10	2.207	332.150	280.418	84.43	CUMPLE
560+500	561+000	1/1	nov-10	2.250	368.206	290.137	47.80	CUMPLE
561+000	561+500	1/1	nov-10	2.277	399.881	253.032	63.28	CUMPLE
561+500	562+000	1/1	nov-10	2.225	292.443	227.514	77.80	CUMPLE
562+000	562+500	1/1	nov-10	2.193	229.359	262.310	89.92	CUMPLE
562+500	563+000	1/1	nov-10	2.244	331.581	274.500	82.79	CUMPLE
563+000	563+500	1/1	nov-10	2.190	266.064	294.626	110.74	CUMPLE
563+500	564+000	1/1	nov-10	2.892	261.461	278.265	106.43	CUMPLE
564+000	564+500	1/1	nov-10	2.251	326.447	263.104	80.60	CUMPLE
564+500	565+000	1/1	nov-10	2.192	210.796	145.885	69.21	CUMPLE
565+000	565+500	1/1	nov-10	2.200	215.502	186.141	86.38	CUMPLE
565+500	566+000	1/1	nov-10	2.216	273.577	168.323	61.53	CUMPLE
566+000	566+500	1/1	nov-10	2.250	334.094	198.169	59.32	CUMPLE
566+500	567+000	1/1	nov-10	2.216	362.880	220.015	60.63	CUMPLE
567+000	567+500	1/1	nov-10	2.236	312.260	180.130	57.69	CUMPLE
567+500	568+000	1/1	nov-10	2.270	472.692	291.306	61.63	CUMPLE
568+000	568+500	1/1	nov-10	1.842	292.908	265.144	90.52	CUMPLE
568+500	569+000	1/1	nov-10	2.219	335.614	227.518	67.79	CUMPLE
569+000	569+500	1/1	nov-10	2.230	357.581	269.588	75.39	CUMPLE
569+500	570+000	1/1	nov-10	2.232	288.145	303.574	105.35	CUMPLE
570+000	570+500	1/1	nov-10	2.257	263.408	170.944	64.90	CUMPLE
PROMEDIO				2.225	355.204	255.699	71.992	
DESV. ESTANDAR				0.08	79.67	70.23	12.31	
COEF. VARIACION				3.45	22.43	27.46	17.10	
MINIMO				1.842	210.8	127.5	47.80	
MAXIMO				2.892	587.367	562.367	110.740	

Anexo N°4. 6. Proyección del tráfico EE. EE – tramo Conococha - Huaraz

Carretera KM 84000 - CONOCOCHA - CATAC - HUARAZ
Tramo TRAMO II: Subtramo II - b: CONOCOCHA - CÁTAC
Estación E-3 Catac

CÁLCULO DEL Nº DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES (8.2 Tn)

		Omnibus			Camiones			Semi Trayler				Trayler			Total	Acumulado	Total
		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T3	3T2	3T3			
Índice Medio Diario Anual*	2014	30	93	18	136	92	17	1	3	4	130	2	1	2	529		
FCE x FCpl		3.659	2.855	1.982	2.641	5.303	3.385	0.925	4.647	4.033	5.441	7.565	7.565	7.565			
Tasa crecimiento = R		4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49			
R/100 = r		0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045			
Factor de Crecimiento		1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045			
Días del año		365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365			
IMDa x Fc x Fp x 365 / 2	2014	20,032	48629	6511	65558	89,036	10,501	169	2,544	2,944	129,099	2,762	1,381	2762	381,927	381,927	381,927
2015		20,932	50812	6803	68,502	93,034	10,972	176	2,659	3,076	134,896	2,886	1,443	2886	399,076	781,003	781,003
2016		21,871	53094	7108	71577	97,211	11,465	184	2,778	3,215	140,953	3,015	1,508	3015	416,994	1,197,997	1,197,997
2017		22,853	55478	7428	74791	101,576	11,979	193	2,903	3,359	147,281	3,151	1,575	3,151	435,717	1,633,714	1,633,714
2018		23,879	57969	7761	78149	106,136	12,517	201	3,033	3,510	153,894	3,292	1,646	3292	455,281	2088.995	2,088,995
2019		24,952	60571	8110	81658	110,902	13,079	210	3,169	3,667	160,804	3,440	1,720	3,440	475,723	2,564,718	2,564,718
2020		26,072	63291	8474	85325	115,882	13,667	220	3,312	3,832	168,028	3,594	1,797	3,594	497,083	3,061,801	3,061,801
2021		27,243	66133	8854	89156	121,085	14,280	230	3,460	4,004	175,568	3,756	1,878	3,756	519,402	3,581,203	3,581,203
2022		28,466	69102	9252	93159	126,521	14,921	240	3,616	4,184	183,451	3,924	1,962	3,924	542,723	4,123,926	4,123,926
2023		29,744	72205	9667	97,342	132,202	15,591	251	3,778	4,372	191,693	4,100	2,050	4,100	567,091	4,691,018	4,691,018
2024		31,079	75447	10101	101,712	138,138	16,292	262	3,948	4,568	200,295	4,285	2,142	4,285	592,554	5,283,572	5,283,572
2025		32,475	78,834	10,555	106,279	144,340	17,023	274	4,125	4,773	209,289	4,477	2,238	4477	619,160	5,902,731	5,902,731
2026		33,933	82,374	11,029	111,051	150,821	17,787	286	4,310	4,987	218,686	4,678	2,339	4678	646,960	6,549,691	6,549,691
2027		35,457	86,073	11,524	116,037	157,593	18,586	299	4,504	5,211	228,505	4,888	2,444	4888	676,008	7,225,699	7,225,699
2028		37,049	89,937	12,041	121,248	164,659	19,421	312	4,706	5,445	238,764	5,107	2,554	5107	706,361	7,932,060	7,932,060
2029		38,712	93,976	12,582	126,692	172,053	20,292	326	4,917	5,690	249,485	5,337	2,668	5337	738,077	8,670,137	8,670,137
2030		40,450	98,195	13,147	132,380	179,788	21,204	341	5,138	5,945	260,687	5,576	2,788	5576	771,216	9,441,353	9,441,353
2031		42,267	102,604	13,737	138,324	187,851	22,156	356	5,369	6,212	272,392	5,827	2,913	5827	805,844	10,247,197	10,247,197
2032		44,164	107,211	14,354	144,535	196,256	23,150	372	5,610	6,491	284,622	6,088	3,044	6088	842,026	11,089,224	11,089,224
2033		46,147	112,025	14,998	151,024	205,109	24,190	389	5,862	6,783	297,402	6,362	3,181	6362	879,833	11,969,057	11,969,057

* = Vehículos Pesados

Carretera KM 64+000 - CONOCOCHA - CATAC - HUARAZ
Tramo TRAMO II: Subtramo II - c: CÁTAC - HUARAZ
Estación E- 4 Ticapampa

CÁLCULO DEL N° DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES (8.2 Tn)

		Omnibus			Camiones			Semi Trayler				Trayler			Total	Acumulado	Total
		2E	3E	4E	2E	3E	4E	2S2	2S3	3S2	3S3	2T3	3T2	3T3			
Indice Medio Diario Anual*	2014	122	100	25	182	130	14	3	9	10	118	2	1	6	722		
FCE x Fcall		3.659	2.865	1.982	2.641	5.303	3.385	0.925	4.647	4.033	5.441	7.566	7.566	7.566			
Tasa crecimiento = R		4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49	4.49			
R/100 = r		0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045	0.045			
Factor de Crecimiento		1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045			
Dias del año		365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365			
IMDa x Fc x Fp x 365 / 2	2014	81,464	52289	9043	87,732	125,812	8,648	507	7,633	7,361	117,182	2,762	1,381	8,285	510,097	510,097	5.10E+05
2015		85,121	54637	9449	91,671	131,461	9,036	529	7,976	7,691	122,444	2,886	1,443	8,657	533,001	1,043,098	1.04E+06
2016		88,943	57090	9873	95,787	137,363	9,442	553	8,334	8,037	127,942	3,015	1,508	9,045	556,932	1,600,030	1.60E+06
2017		92,937	59653	10316	100,088	143,531	9,865	578	8,709	8,397	133,686	3,151	1,575	9,452	581,939	2,181,969	2.18E+06
2018		97,110	62332	10779	104,582	149,975	10,308	604	9,100	8,774	139,689	3,292	1,646	9,876	608,068	2,790,037	2.79E+06
2019		101,470	65131	11263	109,278	156,709	10,771	631	9,508	9,168	145,961	3,440	1,720	10,319	635,370	3,425,407	3.43E+06
2020		106,026	68055	11769	114,185	163,746	11,255	659	9,935	9,580	152,514	3,594	1,797	10,783	663,898	4,089,305	4.09E+06
2021		110,787	71111	12298	119,311	171,098	11,760	689	10,381	10,010	159,362	3,756	1,878	11,267	693,707	4,783,012	4.78E+06
2022		115,761	74303	12850	124,669	178,780	12,288	720	10,847	10,460	166,517	3,924	1,962	11,773	724,855	5,507,866	5.51E+06
2023		120,959	77640	13427	130,266	186,807	12,840	752	11,334	10,929	173,994	4,100	2,050	12,301	757,400	6,265,267	6.27E+06
2024		126,390	81126	14030	136,115	195,195	13,417	786	11,843	11,420	181,806	4,285	2,142	12,854	791,408	7,056,674	7.06E+06
2025		132,065	84,768	14,659	142,227	203,959	14,019	821	12,375	11,933	189,970	4,477	2,238	13,431	826,942	7,883,616	7.88E+06
2026		137,994	88,574	15,318	148,613	213,117	14,648	858	12,931	12,469	198,499	4,678	2,339	14,034	864,072	8,747,688	8.75E+06
2027		144,190	92,551	16,005	155,285	222,686	15,306	897	13,511	13,028	207,412	4,888	2,444	14,664	902,868	9,650,557	9.65E+06
2028		150,664	96,707	16,724	162,258	232,685	15,993	937	14,118	13,613	216,725	5,107	2,554	15,322	943,407	10,593,964	1.06E+07
2029		157,429	101,049	17,475	169,543	243,132	16,711	979	14,752	14,225	226,456	5,337	2,668	16,010	985,766	11,579,730	1.16E+07
2030		164,498	105,586	18,260	177,156	254,049	17,462	1,023	15,414	14,863	236,623	5,576	2,788	16,729	1,030,027	12,609,757	1.26E+07
2031		171,884	110,327	19,079	185,110	265,455	18,246	1,069	16,106	15,531	247,248	5,827	2,913	17,480	1,076,275	13,686,033	1.37E+07
2032		179,601	115,281	19,936	193,421	277,374	19,065	1,117	16,829	16,228	258,349	6,088	3,044	18,265	1,124,600	14,810,633	1.48E+07
2033		187,665	120,457	20,831	202,106	289,829	19,921	1,167	17,585	16,957	269,949	6,362	3,181	19,085	1,175,095	15,985,728	1.60E+07

*= Vehiculos Pesados

Anexo N°4. 7. Resumen de presupuesto de la Carretera EMP 1N - Conococha – Huaraz – Caraz y EMP 3N – Chiquian – Aquia – EMP 3N

Gestión y Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera EMP 1N-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y EMP 3N-Chiquian-Aquia-EMP 3N.

N°	Tramo	Partida	Unidad	Cantidad	P.U.	Presupuesto Anual	Periodo Años	Total (S/.)
1	EMP 1N (Pativilca) - Km 64+000	Conservación Rutinaria en Asfalto	Km.-Año	64.00	15,497.22	991,822.08	5.00	4,959,110.40
2	Km 64+000 - Conococha - Huaraz	Conservación Periódica-Reciclado	Km.	144.00	450,767.91	64,910,579.04	1.00	64,910,579.04
3	Km 64+000 - Conococha - Huaraz	Conservación Rutinaria en Asfalto-Antes de la Conservación Periódica	Km.-Año	144.00	7,872.54	1,133,645.76	1.00	1,133,645.76
4	Km 64+000 - Conococha - Huaraz	Conservación Rutinaria en Asfalto-Despues de la Conservación Periódica	Km.-Año	144.00	13,568.91	1,953,923.04	4.00	7,815,692.16
5	Huaraz - Caraz	Conservación Periodica-Reciclado	Km.	66.00	381,393.29	25,171,957.14	1.00	25,171,957.14
6	Huaraz - Caraz	Conservación Rutinaria en Asfalto-Antes de la Conservación Periódica	Km.-Año	66.00	10,059.49	663,926.34	1.00	663,926.34
7	Huaraz - Caraz	Conservación Rutinaria en Asfalto-Despues de la Conservación Periódica	Km.-Año	66.00	19,453.09	1,283,903.94	4.00	5,135,615.76
8	Caraz - Molinopampa	Conservación Periodica-Mortero	Km.	16.00	188,244.00	3,011,904.00	1.00	3,011,904.00
9	Caraz - Molinopampa	Conservación Rutinaria en Asfalto-Antes de la Conservación Periódica	Km.-Año	16.00	10,050.81	160,812.96	1.00	160,812.96
10	Caraz - Molinopampa	Conservación Rutinaria en Asfalto-Despues de la Conservación Periódica	Km.-Año	16.00	20,246.60	323,945.60	4.00	1,295,782.40
11	EMP 3N - Chiquian - Aquia - EMP 3N	Conservación periodica - Solución Basica	Km.	42.00	290,114.02	12,184,788.84	1.00	12,184,788.84
12	EMP 3N - Chiquian - Aquia - EMP 3N	Conservación rutinaria en Afirmado-Antes de la Conservación Periódica	Km.-Año	42.00	18,974.14	796,913.88	1.00	796,913.88
13	EMP 3N - Chiquian - Aquia - EMP 3N	Conservación Rutinaria en Asfalto-Despues de la Conservación Periódica	Km.-Año	42.00	19,515.19	819,637.98	4.00	3,278,551.92
14	EMP 1N (Pativilca)-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y EMP 3N-Chiquian-Aquia-EMP 3N	Relevamiento de Información	Km	332.00	4,780.42	1,587,099.44	5.00	7,935,497.20
15	EMP 1N (Pativilca)-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y EMP 3N-Chiquian-Aquia-EMP 3N	Emergencias	Glb	1.00	1,874,520.00	1,874,520.00	5.00	9,372,600.00
16	EMP 1N (Pativilca)-Conococha-Huaraz-Caraz-Molinopampa y EMP 3N-Chiquian-Aquia-EMP 3N	Gastos Generales	Mes	12.00	463,523.86	5,562,286.32	5.00	27,811,431.60
		TOTAL DE CONSERVACIÓN						**175,638,809.40**

Anexo N°4. 8. Distancia media y rendimiento de transporte

1.- CÁLCULO DE LA DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR

USO: BASE GRANULAR

CANTERA		AREA DE INFLUENCIA			C.G. (km)	(m-km)
UBICACIÓN	ACCESO (km)	INICIO	FINAL	LONGITUD (m)		
485 + 130	0.84	491 + 760	485 + 130	43,849.00	22.768	998,354.03
		485 + 130	570 + 266	85,136.00	43.411	3,695,838.90
			TOTAL	128,985.00		4,694,192.93
			DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (km)			36.40

2.- CÁLCULO DE LA DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE A DME

USO: ELIMINACION DE MATERIAL

DME		AREA DE INFLUENCIA			C.G. (km)	(m-km)
UBICACIÓN	ACCESO (km)	INICIO	FINAL	LONGITUD (m)		
544 + 270	0.10	491 + 760	544 + 270	52,510.00	26.355	1,383,901.05
		544 + 270	546 + 515	2,245.00	1.223	2,745.64
548 + 760	0.30	546 + 515	548 + 760	2,245.00	1.423	3,194.64
		548 + 760	558 + 510	9,750.00	5.175	50,456.25
568 + 260	0.30	558 + 510	570 + 266	11,756.00	4.172	49,046.03
			TOTAL	78,506.00		1,489,343.60
			DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (km)			19.00

3.- CÁLCULO DE LA DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE DE AGUA

USO: COMPACTACION DE MATERIALES GRANULARES

FUENTES DE AGUA		AREA DE INFLUENCIA			C.G. (km)	(m-km)
UBICACIÓN	ACCESO (km)	INICIO	FINAL	LONGITUD (m)		
491 + 780	1.50	491 + 760	491 + 780	20.00	1.510	30.20
		491 + 780	498 + 980	7,200.00	5.100	36,720.00
506 + 180	1.50	498 + 980	506 + 180	7,200.00	5.100	36,720.00
		506 + 180	511 + 150	4,970.00	3.985	19,805.45
516 + 120	2.00	511 + 150	516 + 120	4,970.00	4.485	22,290.45
		516 + 120	518 + 185	2,065.00	3.033	6,263.15
520 + 250	2.00	518 + 185	520 + 250	2,065.00	3.033	6,263.15
		520 + 250	524 + 975	4,725.00	4.363	20,615.18
529 + 700	2.00	524 + 975	529 + 700	4,725.00	4.363	20,615.18
		529 + 700	534 + 805	5,105.00	4.553	23,243.07
539 + 910	0.50	534 + 805	539 + 910	5,105.00	3.053	15,585.57
		539 + 910	545 + 257	5,346.50	3.173	16,964.44
550 + 603	0.50	545 + 257	550 + 603	5,346.50	3.173	16,964.44
		550 + 603	570 + 232	19,628.50	10.314	202,448.35
589 + 860	0.50	570 + 232	570 + 266	34.50	20.111	693.83
			TOTAL	78,506.00		445,222.44
			DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (km)			5.70

TABLA DE RENDIMIENTO DE TRANSPORTE DE LA CARRETERA CONOCOHA - HUARAZ

BASES DE CALCULO	UND	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR		TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE A DME		TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE A DME	TRANSPORTE DE AGUA
		D<=1km	D>1km	D<=1km	D>1km			
DISTANCIA MEDIA PONDERADA	km	1.00	1.00	1.00	1.00	36.40	19.00	5.70
VELOCIDAD CARGADO	km/h	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	20.00
VELOCIDAD DE DESCARGO	km/h	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	25.00
TIEMPO DE CARGA O LLENADO	min	2.61		2.61		2.61	2.61	2.61
TIEMPO DE DESCARGA	min	2.00		2.00		2.00	2.00	30.00
TIEMPO RECORRIDO CARGADO	fórmula	60 d / 35	60 d / 35	60 d / 35	60 d / 35	60 d / 35	60 d / 35	60 d / 20
TIEMPO RECORRIDO DESCARGADO	fórmula	60 d / 50	60 d / 50	60 d / 50	60 d / 50	60 d / 50	60 d / 50	60 d / 25
TIEMPO DE RECORRIDO	min	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	5.40
CICLO	fórmula	4.61 + 2.91d	0.00 + 2.91d	4.61 + 2.91d	0.00 + 2.91d	4.61 + 2.91d	4.61 + 2.91d	32.61 + 5.40d
CICLO	min	7.52	2.91	7.52	2.91	110.69	59.98	63.39
TIEMPO TRABAJADO POR DIA	min	480.00	480.00	480.00	480.00	480.00	480.00	480.00
EFICIENCIA	%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
TIEMPO UTIL TRABAJADO	min	432.00	432.00	432.00	432.00	432.00	432.00	432.00
VOLUMEN DEL VOLQUETE	m3	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	0.00
VOLUMEN DEL CAMION CISTERNA	gal							4000.00
RENDIMIENTO DEL CARGADOR	m3/dia	1200.00		1200.00		1200.00	740.00	
INCIDENCIA DEL CARGADOR	hm	0.7125		0.7125		0.0500	0.1419	
NUMERO DE VIAJES AL DIA	u	57.00	148.00	57.00	148.00	4.00	7.00	7.00
VOLUMEN TRANSPORTADO POR DIA	m3	855.00	2220.00	855.00	2220.00	60.00	105.00	106.0
ESPONJAMIENTO	F.E	1.20	1.20	1.35	1.35	1.20	1.35	0.00
RENDIMIENTO (m3/dia)		712.50	1850.00	633.33	1644.44	50.00	77.78	105.98

Anexo N°4. 9. Análisis de precio unitario para la técnica de RPTAE

A.- ESPARCIDO DE MATERIAL GRANULAR

Sub Partida :								
Fase :								
Actividades :								
Productividad :	Rendim MO : 5,280.00	m2/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M2		2.950
	Rendim EQ : 5,280.00	m2/Dia	Turnos :			Producción : M2		305,035.200
	Jornada de Trabajo : 8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		899,853.840
Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra							
1	CAPATAZ	hh	0.100	0.0002	19.510	0.004		61.007
2	NIVELADOR	hh	1.000	0.0015	19.810	0.030		457.553
3	OFICIAL	hh	1.000	0.0015	13.870	0.021		457.553
4	PEON	hh	6.000	0.0091	12.090	0.110		2,775.820
5	VIGIA	hh	2.000	0.0030	12.090	0.036		915.106
						0.201		
	Equipo							
1	MOTONIVELADORA 140G 150HP	hm	1.000	0.0015	152.740	0.229		457.553
2	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	hm	1.000	0.0015	98.670	0.148		457.553
						0.377		
	Subpartidas							
A.1	TRANSPORTE DE AGREGADOS A OBRA	m3		0.0360	19.680	0.708	216,111.34	
A.2	MATERIAL GRANULAR BASE	m3		0.0360	46.240	1.665	507,773.80	
						2.373	**723,885.13**	

A.1.- TRANSPORTE DE AGREGADO A OBRA

Sub Partida :								
Fase :								
Actividades :								
Productividad :	Rendim MO : 50.00	m3/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M3		19.680
	Rendim EQ : 50.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		10,981.267
	Jornada de Trabajo : 8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		216,111.34
Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra							
1	OFICIAL	hh	1.000	0.1600	13.870	2.219		1,757.003
						2.219		
	Equipo							
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	hm	1.000	0.1600	109.140	17.462		1,757.003
						17.462	**0.00**	

A.2.- MATERIAL GRANULAR PARA BASE

Sub Partida :								
Fase :								
Actividades :								
Productividad :	Rendim MO : 8.00	m3/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M3		46.240
	Rendim EQ : 8.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		10,981.267
	Jornada de Trabajo : 8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		507,773.80
Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Recursos Consumibles							
1	PAGO POR DERECHO DE EXPLO. DE CANTER	m3		1.3000	14.000	18.200	199,859.06	
	Subpartidas							
1	EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA	m3		1.3000	3.390	4.407	48,394.44	
2	TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA	m3		1.3000	3.340	4.342	47,680.66	
3	PROCESO MATERIAL BASE	m3		1.3000	12.410	16.133	177,160.78	
4	ELIMINACION DE OVER EN PLANTA	m3		0.3000	2.310	0.693	7,610.02	
5	APILAMIENTO DE ZONA / ACOPIO	m3		1.0000	2.460	2.460	27,013.92	
						46.235	**507,718.89**	

A.2.1.- EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA

Sub Partida :								
Fase :								
Actividades :								
Productividad :	Rendim MO : 800.00	m3/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M3		3.390
	Rendim EQ : 800.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		14,275.647
	Jornada de Trabajo : 8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		48,394.440
Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra							
1	PEON	hh	2.000	0.0200	12.090	0.242		285.513
						0.242		
	Equipo							
1	TRACTOR D8R	hm	1.000	0.0100	314.500	3.145		142.756
						3.145	**0.00**	

A.2.2.- TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 520.00 m3/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M3 3.340
Rendim EQ : 520.00 m3/Dia Turnos : — Producción : M3 12,923.764
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Dia Meses : — Costo : S/. 43,165.370

Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra							
1	OFICIAL	hh	1.000	0.0154	13.870	0.214		199.026
						0.214		
	Equipo							
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470	hm	0.500	0.0077	187.830	1.446		99.513
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	hm	1.000	0.0154	109.140	1.681		199.026
						3.127	**0.00**	

A.2.3.- PROCESO MATERIAL BASE

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 720.00 m3/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M3 12.410
Rendim EQ : 720.00 m3/Dia Turnos : — Producción : M3 12,923.764
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Dia Meses : — Costo : S/. 160,383.910

Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra							
1	CAPATAZ	hh	0.300	0.0033	19.510	0.064		42.648
2	OPERARIO	hh	1.000	0.0111	16.810	0.187		143.454
3	PEON	hh	4.000	0.0444	12.090	0.537		573.815
						0.788		
	Equipo							
1	ZARANDA FINLAY 393	hm	1.000	0.0111	173.710	1.928		143.454
2	GRUPO ELECTR 400 KW	hm	1.000	0.0111	143.120	1.589		143.454
3	CARGADOR FRONTAL 966F	hm	2.000	0.0222	181.410	4.027		286.908
4	CHANCADORA PRIM-SECUND	hm	1.000	0.0111	367.360	4.078		143.454
						11.622	**0.00**	

A.2.4.- ELIMINACIÓN DE OVER EN PLANTA

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 240.00 m3/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M3 2.310
Rendim EQ : 240.00 m3/Dia Turnos : — Producción : M3 2,982.407
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Dia Meses : — Costo : S/. 6,889.360

Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Equipo							
1	CARGADOR FRONTAL 966F	hm	0.200	0.0067	181.410	1.215		19.982
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	hm	0.300	0.0100	109.140	1.091		29.824
						2.307	**0.00**	

A.2.5.- APILAMIENTO DE ZONA DE ACOPIO

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 480.00 m3/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M3 2.460
Rendim EQ : 480.00 m3/Dia Turnos : — Producción : M3 9,941.357
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Dia Meses : — Costo : S/. 24,455.740

Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Equipo							
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470	hm	0.500	0.0083	187.830	1.559		82.513
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	hm	0.500	0.0083	109.140	0.906		82.513
						2.465	**0.00**	

B.- ESPARCIDO DEL CEMENTO PORTLAND

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 5,280.00 m2/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M2 2.160
Rendim EQ : 5,280.00 m2/Dia Turnos : — Producción : M2 550,483.200
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Dia Meses : — Costo : S/. 1,189,043.710

Código	Descripción de Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra							
1	CAPATAZ	hh	0.100	0.0002	19.510	0.004		110.097
2	OFICIAL	hh	1.000	0.0015	13.870	0.021		825.725
3	PEON	hh	5.000	0.0076	12.090	0.092		4,183.672
4	VIGIA	hh	2.000	0.0030	12.090	0.036		1,651.450
						0.153		
	Recursos Consumibles							
1	CEMENTO PORTLAND (42.5KG)	bls		0.1056	15.860	1.675	921,958.07	
2	CARGUIO Y DESCARGUIO DE CEMENTO POR	m2		1.0000	0.130	0.130	71,397.67	
						1.805		
	Equipo							
1	CAMION PLATAFORMA	hm	1.000	0.0015	131.770	0.198		825.725
						0.198	**993,355.74**	

C.- RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO

Sub Partida :								
Fase :								
Actividades :								
Productividad :	Rendim MO : 5,280.00	m2/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M2		15.250
	Rendim EQ : 5,280.00	m2/Dia	Turnos :			Producción : M2		550,483.200
	Jornada de Trabajo : 8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		8,394,868.800
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**
	Mano de Obra							
1	CAPATAZ	hh	0.500	0.0008	19.510	0.016		440.387
2	OPERARIO	hh	2.000	0.0030	16.810	0.050		1,651.450
3	OFICIAL	hh	2.000	0.0030	13.870	0.042		1,651.450
4	PEON	hh	8.000	0.0121	12.090	0.146		6,660.847
5	VIGIA	hh	3.000	0.0045	12.090	0.054		2,477.174
						0.308		
	Recursos Consumibles							
1	CEMENTO ASFALTICO PEN 85/100	gal		1.9580	6.130	12.003	6,607,196.63	
2	CONSUMIBLES DE PICAS Y PORTAPICAS	m2		1.0000	0.500	0.500	275,241.60	
						12.503		
	Equipo							
1	GRUPO ELECTROGENO 84 KW	hm	2.400	0.0036	39.660	0.143		1,981.740
2	CALDERO CON QUEMADOR	hm	2.400	0.0036	162.090	0.584		1,981.740
3	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	hm	1.000	0.0015	98.670	0.148		825.725
4	COMPRESORA NEUMATICA 90 PCM	hm	1.000	0.0015	58.040	0.087		825.725
5	TRACTOR NL12 6X4	hm	2.000	0.0030	121.200	0.364		1,651.450
6	CISTERNA ASFALTO 6000 Gln	hm	2.000	0.0030	51.190	0.154		1,651.450
7	CISTERNA DE AGUA 9000 Gln	hm	1.000	0.0015	150.780	0.226		825.725
8	MAQUINA RECICLADRA	hm	1.000	0.0015	428.700	0.643		825.725
						2.348		
	Subpartidas							
1	TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA	m3		0.0100	8.640	0.086	47,561.75	
						0.086	**6,929,999.98**	

D.- PERFILADO Y COMPACTACION FINAL

Sub Partida :								
Fase :								
Actividades :								
Productividad :	Rendim MO : 5,280.00	m2/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M2		1.950
	Rendim EQ : 5,280.00	m2/Dia	Turnos :			Producción : M2		550,483.200
	Jornada de Trabajo : 8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		1,073,442.240
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**
	Mano de Obra							
1	CAPATAZ	hh	0.300	0.0005	19.510	0.010		275.242
2	NIVELADOR	hh	3.000	0.0045	19.810	0.089		2,477.174
3	PEON	hh	19.000	0.0288	12.090	0.348		15,853.916
4	VIGIA	hh	2.000	0.0030	12.090	0.036		1,651.450
						0.483		
	Equipo							
1	MOTONIVELADORA 140 G 150HP	hm	4.000	0.0061	152.740	0.932		3,357.948
2	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	hm	2.000	0.0030	98.670	0.296		1,651.450
3	RODILLO NEUMATICO 15TN	hm	1.000	0.0015	92.580	0.139		825.725
						1.367		
	Subpartidas							
1	TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA	m3		0.0120	8.640	0.104	57,074.10	
						0.104	**57,074.10**	

D.1.00.- TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA

Sub Partida :								
Fase :								
Actividades :								
Productividad :	Rendim MO : 105.98	m3/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M3		8.64
	Rendim EQ : 105.98	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		12,110.63
	Jornada de Trabajo : 8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		104,635.85
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**
	Mano de Obra							
1	OFICIAL	hh	1.000	0.0755	13.8700	1.0472		914.35260
						1.047		
	Equipo							
1	CAMION CISTERNA AGUA 4000GLN NL-10 6X4	hm	1.000	0.0755	100.6100	7.5961		914.35260
						7.596		

Anexo N°4. 10. Análisis de precio unitario de técnica convencional

A.- CORTE DE MATERIAL EXISTENTE

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 460.00 m3/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M3 3.330
Rendim EQ : 460.00 m3/Dia Turnos : — Producción : M3 167,194.800
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Día Meses : — Costo : S/. 556,758.680

Código	Descripción de Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra								
1	CAPATAZ	CA	hh	0.200	0.0035	19.5100	0.06829		585.182
2	OFICIAL	OF	hh	0.200	0.0035	13.8700	0.04855		585.182
3	PEON	PE	hh	2.000	0.0348	12.0900	0.42073		5,818.379
							0.538		
	Equipo								
1	TRACTOR D7-G	D7R	hm	1.000	0.0174	160.4000	2.7910		2,909.190
							2.791	-	

B.- PERFILADO Y COMPACTACION EN ZONAS DE CORTE

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 2,420.00 m3/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M2 1.640
Rendim EQ : 2,420.00 m3/Dia Turnos : — Producción : M2 550,483.200
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Día Meses : — Costo : S/. 902,792.450

Código	Descripción de Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra								
1	CAPATAZ	CA	hh	1.000	0.0033	19.5100	0.06438		1,816.595
2	PEON	PE	hh	4.000	0.0132	12.0900	0.15959		7,266.378
							0.224		
	Equipo								
1	MOTONIVELADORA 140G 150HP	MT	hm	1.000	0.0033	152.7400	0.5040		1,816.595
2	RODILLO LISO 10 - 12 TN CS-553	RL	hm	2.000	0.0066	98.6700	0.6512		3,633.189
							1.155		
	Subpartida								
1	TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA	AGUA	m3		0.0300	8.640000	0.25920	142,685.25	
							0.259	**142,685.25**	

C.- BASE GRANULAR

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 1,760.00 m2/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M2 **23.710**
Rendim EQ : 1,760.00 m2/Dia Turnos : — Producción : M2 550,483.200
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Día Meses : — Costo : S/. 13,051,956.670

Código	Descripción de Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra								
1	CAPATAZ	CA	hh	1.000	0.0045	19.5100	0.08780		2,477.174
2	NIVELADOR	NI	hh	2.000	0.0091	19.8100	0.18027		5,009.397
3	CONTROLADOR	CONTR	hh	1.000	0.0045	13.8700	0.06242		2,477.174
4	PEON	PE	hh	12.000	0.0545	12.0900	0.65891		30,001.334
5	VIGIA	VIG1	hh	2.000	0.0091	12.0900	0.11002		5,009.397
							1.09942		
	Equipo								
1	RODILLO LISO 10 - 12 TN CS-553	RL	hm	1.000	0.0045	98.6700	0.44402		2,477.174
2	RODILLO NEUMÁTICO 15 TN	RNEUM1	hm	1.000	0.0045	92.5800	0.41661		2,477.174
3	MOTONIVELADORA 140G 150HP	MT	hm	1.000	0.0045	152.7400	0.68733		2,477.174
							1.54796		
	Subpartidas								
1	TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA	AGUA	m3		0.1200	8.640000	1.03680	570,740.98	
2	MATERIAL PARA BASE	MBG	m3		0.3037	46.240000	14.04418	7,731,085.15	
3	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR	TR	m3		0.3037	19.680000	5.97728	3,290,392.22	
							21.05826	**11,592,218.35**	

1.00.- TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA

Sub Partida :
Fase :
Actividades :
Productividad : Rendim MO : 105.98 m3/Dia Duración : Días — Costo unitario directo por : M3 **8.640**
Rendim EQ : 105.98 m3/Dia Turnos : — Producción : M3 82,572.480
Jornada de Trabajo : 8.00 hrs/Día Meses : — Costo : S/. 713,426.230

Código	Descripción de Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	Acumulado	HH - HM
	Mano de Obra								
1	OFICIAL	OF	hh	1.000	0.0755	13.8700	1.0472		6,234.222
							1.047		
	Equipo								
1	CAMION CISTERNA AGUA 4000GLN NL-10 6X4	CSAG	hm	1.000	0.0755	100.6100	7.5961		6,234.222
							7.596	-	

2.00.- MATERIAL PARA BASE

Sub Partida :									
Fase :									
Actividades :									
Productividad :	Rendim MO :	8.00	m3/Dia	Duración : Días			Costo unitario directo por : M3		46.24
	Rendim EQ :	8.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		167,194.80
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		7,731,087.55
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**	
	Recursos Consumibles								
1	PAGO POR DERECHO DE EXPLO. DE CANTERA PDC	m3		1.3000	14.0000	18.20000	3,042,945.36		
	Subpartidas								
1	EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA EMC	m3		1.3000	3.390000	4.40700	736,827.48		
2	TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA TC	m3		1.3000	3.340000	4.34200	725,959.82		
3	PROCESO MATERIAL BASE PAMAC	m3		1.3000	12.410000	16.13300	2,697,353.71		
4	ELIMINACIÓN DE OVER EN PLANTA EOP	m3		0.3000	2.310000	0.69300	115,866.00		
5	APILAMIENTO DE ZONA DE ACOPIO AZA	m3		1.0000	2.460000	2.46000	411,299.21		
						46.23500	**7,730,251.58**		

2.01.- EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA

Sub Partida :									
Fase :									
Actividades :									
Productividad :	Rendim MO :	600.00	m3/Dia	Duración : Días			Costo unitario directo por : M3		3.39
	Rendim EQ :	600.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		217,353.24
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		736,827.48
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**	
	Mano de Obra								
1	PEON PE	hh	2.000	0.0200	12.0900	0.2418		4,347.06480	
						0.242			
	Equipo								
1	TRACTOR D8R D8R	hm	1.000	0.0100	314.5000	3.1450		2,173.53240	
						3.145	-		

2.02.- TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA

Sub Partida :									
Fase :									
Actividades :									
Productividad :	Rendim MO :	520.00	m3/Dia	Duración : Días			Costo unitario directo por : M3		3.34
	Rendim EQ :	520.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		217,353.24
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		725,959.82
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**	
	Mano de Obra								
1	OFICIAL OF	hh	1.000	0.0154	13.8700	0.2136		3,347.23990	
						0.214			
	Equipo								
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470 CFK	hm	0.500	0.0077	187.8300	1.4463		1,673.61995	
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3 CV	hm	1.000	0.0154	109.1400	1.6808		3,347.23990	
						3.127	-		

2.03.- PROCESO MATERIAL BASE

Sub Partida :									
Fase :									
Actividades :									
Productividad :	Rendim MO :	720.00	m3/Dia	Duración : Días			Costo unitario directo por : M3		12.41
	Rendim EQ :	720.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		217,353.24
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		2,697,353.71
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**	
	Mano de Obra								
1	CAPATAZ CA	hh	0.300	0.0033	19.5100	0.0644		717.26569	
2	OPERARIO OP	hh	1.000	0.0111	16.8100	0.1866		2,412.62096	
3	PEON PE	hh	4.000	0.0444	12.0900	0.5368		9,650.48386	
						0.788			
	Equipo								
1	ZARANDA FINLAY 393 ZF	hm	1.000	0.0111	173.7100	1.9282		2,412.62096	
2	GRUPO ELECTR 400 KW GE1	hm	1.000	0.0111	143.1200	1.5886		2,412.62096	
3	CARGADOR FRONTAL 966F CFR	hm	2.000	0.0222	181.4100	4.0273		4,825.24193	
4	CHANCADORA PRIM-SECUND CHAPS	hm	1.000	0.0111	367.3800	4.0779		2,412.62096	
						11.622	-		

2.04.- ELIMINACIÓN DE OVER EN PLANTA

Sub Partida :									
Fase :									
Actividades :									
Productividad :	Rendim MO :	240.00	m3/Dia	Duración : Días			Costo unitario directo por : M3		2.31
	Rendim EQ :	240.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		50,158.44
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		115,866.00
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**	
	Equipo								
1	CARGADOR FRONTAL 966F CFR	hm	0.200	0.0067	181.4100	1.2155		336.06155	
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3 CV	hm	0.300	0.0100	109.1400	1.0914		501.58440	
						2.307	-		

2.05.- APILAMIENTO DE ZONA DE ACOPIO

Sub Partida :									
Fase :									
Actividades :									
Productividad :	Rendim MO :	480.00	m3/Dia	Duración : Días			Costo unitario directo por : M3		2.46
	Rendim EQ :	480.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3		167,194.80
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.		411,299.21
Código	**Descripción de Recurso**	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**	**HH - HM**	
	Equipo								
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470 CFK	hm	0.500	0.0083	187.8300	1.5590		1,387.71684	
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3 CV	hm	0.500	0.0083	109.1400	0.9059		1,387.71684	
						2.465	-		

3.00.- TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR

Sub Partida :										
Fase :										
Actividades :										
Productividad :	Rendim MO :	50.00	m3/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M3			19.68
	Rendim EQ :	50.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3			167,194.80
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.			3,290,393.66
Código	**Descripción de Recurso**		**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**		**HH - HM**
	Mano de Obra									
1	CONTROLADOR	CONTR	hh	1.000	0.1600	13.8700	2.2192			26,751.16800
							2.219			
	Equipo									
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	CV	hm	1.000	0.1600	109.1400	17.4624			26,751.16800
							17.462	-		

D.- ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE A DME

Sub Partida :										
Fase :										
Actividades :										
Productividad :	Rendim MO :	8.00	m3/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M3			19.17
	Rendim EQ :	8.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3			188,094.15
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.			3,605,764.86
Código	**Descripción de Recurso**		**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**		**HH - HM**
	Recursos Consumibles									
1	ACONDICIONAMIENTO DE MATERIAL EXCEDENTE	DME	m3		1.0000	4.7900	4.79000	900,970.98		
							4.79000			
	Subpartidas									
D.1	CARGUIO DE MATERIAL		hh		1.0000	2.4400	2.4400			458,949.72600
D.2	TRANSPORTE DE MATERIAL A DME		hm		1.0000	11.9400	11.9400			2,245,844.15100
							14.380	-		

D.1.- CARGUIO DE MATERIAL

Sub Partida :										
Fase :										
Actividades :										
Productividad :	Rendim MO :	625.00	m3/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M3			2.44
	Rendim EQ :	625.00	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3			188,094.15
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.			458,949.73
Código	**Descripción de Recurso**		**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**		**HH - HM**
	Mano de Obra									
1	CONTROLADOR	CONTR	hh	0.200	0.0026	13.8700	0.0361			489.04479
							0.036			
	Equipo									
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470	CFK	hh	1.000	0.0128	187.8300	2.4042			2,407.60512
							2.404	-		

D.2.- TRANSPORTE DE MATERIAL A DME

Sub Partida :										
Fase :										
Actividades :										
Productividad :	Rendim MO :	77.78	m3/Dia	Duración : Dias			Costo unitario directo por : M3			11.94
	Rendim EQ :	77.78	m3/Dia	Turnos :			Producción : M3			188,094.15
	Jornada de Trabajo :	8.00	hrs/Dia	Meses :			Costo : S/.			2,245,844.15
Código	**Descripción de Recurso**		**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio**	**Parcial**	**Acumulado**		**HH - HM**
	Mano de Obra									
1	CONTROLADOR	CONTR	hh	0.500	0.0514	13.8700	0.7129			9,668.03931
							0.713			
	Equipo									
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	CV	hm	1.000	0.1029	109.1400	11.2305			19,354.88804
							11.231	-		

Anexo N°4. 11. Insumo mano de obra para la técnica RPTAE

A.- ESPARCIDO DE MATERIAL GRANULAR

	RENDIMIENTO (EQ):	5,280.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		S/. 0.201
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	0.10	0.0002	19.51	0.004
2	NIVELADOR	HH	1.00	0.0015	19.81	0.030
3	OFICIAL	HH	1.00	0.0015	13.87	0.021
4	PEON	HH	6.00	0.0091	12.09	0.110
5	VIGIA	HH	2.00	0.0030	12.09	0.036
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.201

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	305,035.20	0.0002	61.0070	0.004	1,190.247
2	NIVELADOR	305,035.20	0.0015	457.5528	0.030	9,064.121
3	OFICIAL	305,035.20	0.0015	457.5528	0.021	6,346.257
4	PEON	305,035.20	0.0091	2,775.8203	0.110	33,559.668
5	VIGIA	305,035.20	0.0030	915.1056	0.036	11,063.627
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			4,667.04		61,223.92

A1.- TRANSPORTE DE AGREGADO A OBRA

	RENDIMIENTO (EQ):	50.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		2.219
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	OFICIAL	HH	1.00	0.1600	13.87	2.219
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.219

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	OFICIAL	10,981.27	0.1600	1,757.0028	2.219	24,369.628
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			1,757.00		24,369.63

A.2.- MATERIAL GRANULAR PARA BASE

A.2.1.- EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA

	RENDIMIENTO (EQ):	800.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.242
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	PEON	HH	2.00	0.0200	12.09	0.242
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.242

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	PEON	14,275.65	0.0200	285.5129	0.242	3,451.852
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			285.51		3,451.85

A.2.2.- TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA

	RENDIMIENTO (EQ):	520.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.214
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	OFICIAL	HH	1.00	0.0154	13.87	0.214
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.214

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	OFICIAL	14275.64736	0.0154	219.8450	0.214	3,049.250
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			219.84		3,049.25

A.2.3.- PROCESO MATERIAL BASE

	RENDIMIENTO (EQ):	720.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.788
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	0.30	0.0033	19.51	0.064
2	OPERARIO	HH	1.00	0.0111	16.81	0.187
3	PEON	HH	4.00	0.0444	12.09	0.537
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.788

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	14275.64736	0.0033	47.1096	0.06	919.109
2	OPERARIO	14275.64736	0.0111	158.4597	0.19	2,663.707
3	PEON	14275.64736	0.0444	633.8387	0.54	7,663.110
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			839.41		11,245.93

B.- ESPARCIDO DEL CEMENTO PORTLAND

	RENDIMIENTO (EQ):	5,280.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		S/. 0.153
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	0.10	0.0002	19.51	0.004
2	OFICIAL	HH	1.00	0.0015	13.87	0.021
3	PEON	HH	5.00	0.0076	12.09	0.092
4	VIGIA	HH	2.00	0.0030	12.09	0.036
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.153

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	550,483.20	0.0002	110.0966	0.004	2,147.985
2	OFICIAL	550,483.20	0.0015	825.7248	0.021	11,452.803
3	PEON	550,483.20	0.0076	4,183.6723	0.092	50,580.598
4	VIGIA	550,483.20	0.0030	1,651.4496	0.036	19,966.026
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			6,770.94		84,147.41

C.- RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO

	RENDIMIENTO (EQ):	5,280.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.308
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	0.50	0.0008	19.51	0.016
2	OPERARIO	HH	2.00	0.0030	16.81	0.050
3	OFICIAL	HH	2.00	0.0030	13.87	0.042
4	PEON	HH	8.00	0.0121	12.09	0.146
5	VIGIA	HH	3.00	0.0045	12.09	0.054
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.308

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	550,483.20	0.0008	440.3866	0.016	8,591.942
2	OPERARIO	550,483.20	0.0030	1,651.4496	0.050	27,760.868
3	OFICIAL	550,483.20	0.0030	1,651.4496	0.042	22,905.606
4	PEON	550,483.20	0.0121	6,660.8467	0.146	80,529.637
5	VIGIA	550,483.20	0.0045	2,477.1744	0.054	29,949.038
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			12,881.31		169,737.09

D.- PERFILADO Y COMPACTACION FINAL

	RENDIMIENTO (EQ):	5,280.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.483
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	0.30	0.0005	19.51	0.010
2	NIVELADOR	HH	3.00	0.0045	19.81	0.089
3	PEON	HH	19.00	0.0288	12.09	0.348
4	VIGIA	HH	2.00	0.0030	12.09	0.036
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.483

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	550,483.20	0.0005	275.2416	0.010	5,369.964
2	NIVELADOR	550,483.20	0.0045	2,477.1744	0.089	49,072.825
3	PEON	550,483.20	0.0288	15,853.9162	0.348	191,673.846
4	VIGIA	550,483.20	0.0030	1,651.4496	0.036	19,966.026
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			20,257.78		266,082.66

D.1.- TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA

	RENDIMIENTO (EQ):	0.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		1.047
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	OFICIAL	HH	1.00	0.0755	13.87	1.047
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					1.047

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	OFICIAL	12,110.63	0.0755	914.3526	1.047	12,682.070
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			914.35		12,682.07

Anexo N°4. 12. Insumo mano de obra para la técnica convencional

A.- CORTE DE MATERIAL EXISTENTE

	RENDIMIENTO (MO):	460.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	S/. 0.538
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	0.20	0.0035	19.51	0.068
2	OFICIAL	HH	0.20	0.0035	13.87	0.049
3	PEON	HH	2.00	0.0348	12.09	0.421
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.538

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	167,194.80	0.0035	585.1818	0.068	11,416.897
2	OFICIAL	167,194.80	0.0035	585.1818	0.049	8,116.472
3	PEON	167,194.80	0.0348	5,818.3790	0.421	70,344.203
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			6,988.74		89,877.57

B.- PERFILADO Y COMPACTACION EN ZONAS DE CORTE

	RENDIMIENTO (MO):	2,420.00	m2/Dia		Costo unitario por : M2	S/. 0.224
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	1.00	0.0033	19.51	0.064
2	PEON	HH	4.00	0.0132	12.09	0.160
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.224

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	550,483.20	0.0033	1,816.5946	0.064	35,441.760
2	PEON	550,483.20	0.0132	7,266.3782	0.160	87,850.513
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			9,082.97		123,292.27

C.- BASE GRANULAR

	RENDIMIENTO (MO):	1,760.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	S/. 1.099
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	1.00	0.0045	19.51	0.088
2	NIVELADOR	HH	2.00	0.0091	19.81	0.180
3	CONTROLADOR	HH	1.00	0.0045	13.87	0.062
4	PEON	HH	12.00	0.0545	12.09	0.659
5	VIGIA	HH	2.00	0.0091	12.09	0.110
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					1.099

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	550,483.20	0.0045	2,477.1744	0.088	48,329.673
2	NIVELADOR	550,483.20	0.0091	5,009.3971	0.180	99,236.157
3	CONTROLADOR	550,483.20	0.0045	2,477.1744	0.062	34,358.409
4	PEON	550,483.20	0.0545	30,001.3344	0.659	362,716.133
5	VIGIA	550,483.20	0.0091	5,009.3971	0.110	60,563.611
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			44,974.48		605,203.98

1.00.- TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA

	RENDIMIENTO (MO):	50.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	1.047
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	OFICIAL	HH	1.00	0.0755	13.87	1.047
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					1.047

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	OFICIAL	82,572.48	0.1600	13,211.5968	1.047	86,468.662
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			13,211.60		86,468.66

2.00.- MATERIAL PARA BASE

2.01.- EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA

	RENDIMIENTO (MO):	800.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	0.242
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	PEON	HH	2.00	0.0200	12.09	0.242
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.242

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	PEON	217,353.24	0.0200	4,347.0648	0.242	52,556.013
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			4,347.06		52,556.01

2.02.- TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA

	RENDIMIENTO (MO):	520.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.214
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	OFICIAL	HH	1.00	0.0154	13.87	0.214
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.214

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	OFICIAL	217,353.24	0.0154	3,347.2399	0.214	46,426.217
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			3,347.24		46,426.22

2.03.- PROCESO MATERIAL BASE

	RENDIMIENTO (MO):	720.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.788
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAPATAZ	HH	0.30	0.0033	19.51	0.064
2	OPERARIO	HH	1.00	0.0111	16.81	0.187
3	PEON	HH	4.00	0.0444	12.09	0.537
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.788

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CAPATAZ	217,353.24	0.0033	717.2657	0.06	13,993.854
2	OPERARIO	217,353.24	0.0111	2,412.6210	0.19	40,556.158
3	PEON	217,353.24	0.0444	9,650.4839	0.54	116,674.350
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			12,780.37		171,224.36

3.00.- TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR

	RENDIMIENTO (MO):	50.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		S/. 2.219
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CONTROLADOR	HH	1.00	0.1600	13.87	2.219
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.219

COSTO TOTAL POR MANO DE OBRA

Item	Recurso	Metrado (m2)	HH /m2	HH Total	PU / m2	Costo Total
1	CONTROLADOR	167,194.80	0.1600	26,751.1680	2.219	371,038.700
	Horas Hombre Total y Costo Total por Mano de Obra (Nuevos Soles)			26,751.17		371,038.70

D.- ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE A DME

D.1.- CARGUIO DE MATERIAL

	RENDIMIENTO (EQ):	625.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.036
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CONTROLADOR	HM	0.20	0.0026	13.87	0.036
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.036

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CONTROLADOR	188,094.15	0.0026	489.0448	0.036	6,783.051
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			489.04		6,783.05

D.2.- TRANSPORTE DE MATERIAL A DME

	RENDIMIENTO (EQ):	77.78	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.713
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CONTROLADOR	HM	0.50	0.0514	13.87	0.713
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.713

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CONTROLADOR	188,094.15	0.0514	9,668.0393	0.713	134,095.705
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			9,668.04		134,095.71

Anexo N°4. 13. Insumo materiales para la técnica RPTAE

INSUMOS MATERIALES EN RPAE							
SEGÚN DISEÑO				0.036 m3/m2	1.958 gal/m2	0.106 bls/m2	0.022 m3/m2
PROGRESIVA	LONG. (m)	ANCHO PROM. (m)	AREA PARCIAL RECICLADA (m2)	MATERIAL GRANULAR PARA BASE (e=0.03m) (m3)	CEMENTO ASFÁLTICO PEN 85/100 (gal)	CEMENTO PORTLAND TIPO I (bls)	AGUA (m3)
TRAMO: CONOCOCHA - CATAC							
SECTOR 01							
491+760.00 - 496+980.00	5220	7.2	37584.00	1353.02	73589.472	3968.87	826.85
	5220		37584.00	1353.02	73589.47	3968.87	826.85
SECTOR 02							
496+980.00 - 505+980.00	9000	7.2	64800.00	2332.80	126878.4	6842.88	1425.60
	9000		64800.00	2332.80	126878.40	6842.88	1425.60
SECTOR 03							
505+980.00 - 512+300.00	6320	7.2	45504.00	1638.14	89096.832	4805.22	1001.09
	6320		45504.00	1638.14	89096.83	4805.22	1001.09
SECTOR 04							
512+300.00 - 529+580.00	17280	7.2	124416.00	4478.98	243606.528	13138.33	2737.15
	17280		124416.00	4478.98	243606.53	13138.33	2737.15
SECTOR 04.01							
512+770.00 - 514+820.00	2050	7.2	14760.00	531.36	28900.08	1558.66	324.72
	2050		14760.00	531.36	28900.08	1558.66	324.72
SECTOR 05							
529+580.00 - 534+970.00	5390	7.2	38808.00	1397.09	75986.064	4098.12	853.78
	5390		38808.00	1397.09	75986.06	4098.12	853.78
SECTOR 06							
534+970.00 - 536+176.00	1206	7.2	8683.20	312.60	17001.7056	916.95	191.03
	1206		8683.20	312.60	17001.71	916.95	191.03
TRAMO: CATAC - HUARAZ							
SECTOR 01							
536+176.00 - 537+050.00	874	7.2	6292.80		12321.3024	664.52	138.44
	874		6292.80	NO SE COLOCO	12321.30	664.52	138.44
SECTOR 02							
537+050.00 - 538+550.00	1500	7.2	10800.00		21146.4	1140.48	237.60
	1500		10800.00	NO SE COLOCO	21146.40	1140.48	237.60
SECTOR 03							
538+550.00 - 546+550.00	8000	7.2	57600.00		112780.8	6082.56	1267.20
	8000		57600.00	NO SE COLOCO	112780.80	6082.56	1267.20
SECTOR 04							
546+550.00 - 560+150.00	13600	7.2	97920.00		191727.36	10340.35	2154.24
	13600		97920.00	NO SE COLOCO	191727.36	10340.35	2154.24
SECTOR 05							
560+150.00 - 564+000.00	3850	7.2	27720.00		54275.76	2927.23	609.84
	3850		27720.00	NO SE COLOCO	54275.76	2927.23	609.84
SECTOR 06							
564+000.00 - 567+700.00	3700	7.2	26640.00		52161.12	2813.18	586.08
	3700		26640.00	NO SE COLOCO	52161.12	2813.18	586.08
SECTOR 07							
567+700.00 - 570+266.00	2566	7.2	18475.20		36174.4416	1950.98	406.45
	2566		18475.20	NO SE COLOCO	36174.44	1950.98	406.45
TOTAL			**550,483.20**	**10,981.27**	**1,077,846.11**	**58,131.03**	**12,110.63**

Anexo N°4. 14. Insumo materiales para la técnica convencional

MATERIAL GRANULAR PARA BASE									TOTAL
ESPESOR DE BASE GRANULAR	0.2750	m	ESPESOR DE BASE GRANULAR	0.2500	m	ESPESOR DE BASE GRANULAR	0.2000	m	
LONGITUD	5390	m	LONGITUD	73,116.00	m	LONGITUD	2050	m	
ANCHO PROMEDIO	7.2	m	ANCHO PROMEDIO	7.2	m	ANCHO PROMEDIO	7.2	m	
METRADO	38,808.0000	m2	METRADO	526,435.2000	m2	METRADO	14,760.0000	m2	
BASE GRANULAR	0.3300	m3/m2	BASE GRANULAR	0.3000	m3/m2	BASE GRANULAR	0.2400	m3/m2	
MATERIAL GRANULAR PARA BASE	**12,806.640**	**m3**	**MATERIAL GRANULAR PARA BASE**	**157,930.560**	**m3**	**MATERIAL GRANULAR PARA BASE**	**3,542.400**	**m3**	**167,194.60**

ELIMINACION DE MATERIAL									TOTAL
ESPESOR DE BASE GRANULAR	0.2750	m	ESPESOR DE BASE GRANULAR	0.2500	m	ESPESOR DE BASE GRANULAR	0.2000	m	
METRADO	38,808.0000	m2	METRADO	526,435.2000	m2	METRADO	14,760.0000	m2	
BASE GRANULAR	0.3713	m3/m2	BASE GRANULAR	0.3375	m3/m2	BASE GRANULAR	0.2700	m3/m2	
ELIMINACION DE MATERIAL	**14,407.470**	**m3**	**ELIMINACION DE MATERIAL**	**177,671.880**	**m3**	**ELIMINACION DE MATERIAL**	**3,985.200**	**m3**	**188,094.15**

CANTIDAD DE AGUA									TOTAL
ESPESOR DE RECICLADO	0.2750	m	ESPESOR DE RECICLADO	0.2500	m	ESPESOR DE RECICLADO	0.2000	m	
METRADO	38,808.0000	m2	METRADO	526,435.2000	m2	METRADO	14,760.0000	m2	
AGUA	0.1500	m3/m2	AGUA	0.1500	m3/m2	AGUA	0.1500	m3/m2	
CANTIDAD DE AGUA	**5,821.200**	**m3**	**CANTIDAD DE AGUA**	**78,965.280**	**m3**	**CANTIDAD DE AGUA**	**2,214.000**	**m3**	**82,572.48**

Anexo N°4. 15. Insumo equipos para la técnica RPTAE

A.- ESPARCIDO DE MATERIAL GRANULAR

	RENDIMIENTO (EQ):	5,280.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		0.377
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	MOTONIVELADORA 140G 150HP	HM	1.00	0.0015	152.74	0.229
2	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	HM	1.00	0.0015	98.67	0.148
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.377

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM/m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	MOTONIVELADORA 140G 150HP	305,035.20	0.0015	457.553	0.229	69,886.615
2	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	305,035.20	0.0015	457.553	0.148	45,146.735
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			915.11		115,033.349

A.1.- TRANSPORTE DE AGREGADO A OBRA

	RENDIMIENTO (EQ):	50.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		17.462
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	1.00	0.1600	109.14	17.462
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					17.462

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM/m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	10,981.27	0.1600	1,757.003	17.462	191,759.280
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			1,757.00		191,759.280

A.2.- MATERIAL GRANULAR PARA BASE

A.2.1.- EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA

	RENDIMIENTO (EQ):	800.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		3.145
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	TRACTOR D8R	HM	1.00	0.0100	314.50	3.145
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					3.145

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM/m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	TRACTOR D8R	14,275.65	0.0100	142.7565	3.145	44,896.911
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			142.76		44,896.911

A.2.2.- TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA

	RENDIMIENTO (EQ):	520.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		3.127
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 4	HM	0.50	0.0077	187.83	1.446
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	1.00	0.0154	109.14	1.681
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					3.127

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM/m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 4	14,275.65	0.0077	109.9225	1.446	20,646.740
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	14,275.65	0.0154	219.8450	1.681	23,993.880
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			329.77		44,640.620

A.2.3.- PROCESO MATERIAL BASE

	RENDIMIENTO (EQ):	720.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		11.622
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	ZARANDA FINLAY 393	HM	1.00	0.0111	173.71	1.928
2	GRUPO ELECTR 400 KW	HM	1.00	0.0111	143.12	1.589
3	CARGADOR FRONTAL 966F	HM	2.00	0.0222	181.41	4.027
4	CHANCADORA PRIM-SECUND	HM	1.00	0.0111	367.38	4.078
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					11.622

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM/m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	ZARANDA FINLAY 393	14275.64736	0.01	158.4597	1.93	27,526.032
2	GRUPO ELECTR 400 KW	14275.64736	0.01	158.4597	1.59	22,678.750
3	CARGADOR FRONTAL 966F	14275.64736	0.02	316.9194	4.03	57,492.343
4	CHANCADORA PRIM-SECUND	14275.64736	0.01	158.4597	4.08	58,214.919
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			792.30		165,912.045

A.2.4.- ELIMINACION DE OVER EN PLANTA

	RENDIMIENTO (EQ):	720.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2		2.307
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CARGADOR FRONTAL 966F	HM	0.20	0.0067	181.41	1.215
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	0.30	0.0100	109.14	1.091
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.307

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CARGADOR FRONTAL 966F	3,294.38	0.0067	22.0723	1.215	4,004.144
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	3,294.38	0.0100	32.9438	1.091	3,595.487
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			55.02		7,599.631

A.2.5.- APILAMIENTO DE ZONA DE ACOPIO

	RENDIMIENTO (EQ):	480.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	2.465
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 4	HM	0.50	0.0083	187.83	1.559
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	0.50	0.0083	109.14	0.906
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.465

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 4	10,981.27	0.0083	91.1445	1.559	17,119.675
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	10,981.27	0.0083	91.1445	0.906	9,947.513
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			182.29		27,067.187

B.- ESPARCIDO DEL CEMENTO PORTLAND

	RENDIMIENTO (EQ):	5,280.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	0.198
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAMION PLATAFORMA	HM	1.00	0.0015	131.77	0.198
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					0.198

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CAMION PLATAFORMA	550,483.20	0.0015	825.7248	0.198	108,805.757
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			825.72		108,805.757

C.- RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO

	RENDIMIENTO (EQ):	5,280.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	2.348
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	GRUPO ELECTROGENO 84 KW	HM	2.40	0.0036	39.66	0.143
2	CALDERO CON QUEMADOR	HM	2.40	0.0036	162.09	0.584
3	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	HM	1.00	0.0015	98.67	0.148
4	COMPRESORA NEUMATICA 90 PCM	HM	1.00	0.0015	58.04	0.087
5	TRACTOR NL12 6X4	HM	2.00	0.0030	121.20	0.364
6	CISTERNA ASFALTO 6000 Gln	HM	2.00	0.0030	51.19	0.154
7	CISTERNA DE AGUA 9000 Gln	HM	1.00	0.0015	150.78	0.226
8						
9	MAQUINA RECICLADRA	HM	1.00	0.0015	428.70	0.643
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.348

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	GRUPO ELECTROGENO 84 KW	550,483.20	0.0036	1,981.7395	0.143	78,595.789
2	CALDERO CON QUEMADOR	550,483.20	0.0036	1,981.7395	0.584	321,220.159
3	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	550,483.20	0.0015	825.7248	0.148	81,474.266
4	COMPRESORA NEUMATICA 90 PCM	550,483.20	0.0015	825.7248	0.087	47,925.067
5	TRACTOR NL12 6X4	550,483.20	0.0030	1,651.4496	0.364	200,155.692
6	CISTERNA ASFALTO 6000 Gln	550,483.20	0.0030	1,651.4496	0.154	84,537.705
7	CISTERNA DE AGUA 9000 Gln	550,483.20	0.0015	825.7248	0.226	124,502.785
9	MAQUINA RECICLADRA	550,483.20	0.0015	825.7248	0.643	353,988.222
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			10,569.28		1,292,399.685

D.- PERFILADO Y COMPACTACION FINAL

	RENDIMIENTO (EQ):	5,280.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	1.367
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	MOTONIVELADORA 140 G 150HP	HM	4.00	0.0061	152.74	0.932
2	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	HM	2.00	0.0030	98.67	0.296
3	RODILLO NEUMATICO 15TN	HM	1.00	0.0015	92.58	0.139
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					1.367

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	MOTONIVELADORA 140 G 150HP	550,483.20	0.0061	3,357.9475	0.932	512,892.904
2	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	550,483.20	0.0030	1,651.4496	0.296	162,948.532
3	RODILLO NEUMATICO 15TN	550,483.20	0.0015	825.7248	0.139	76,445.602
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			5,835.12		752,287.038

D.1.- TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA

	RENDIMIENTO (EQ):	0.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	7.596
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAMION CISTERNA AGUA 4000GLN NL-1	HM	1.00	0.0755	100.61	7.596
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					7.596

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CAMION CISTERNA AGUA 4000GLN NL-1	12,110.63	0.0755	914.3526	7.596	91,993.015
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			914.35		91,993.015

Anexo N°4. 16. Insumo equipos para la técnica convencional

A.- CORTE DE MATERIAL EXISTENTE

	RENDIMIENTO (EQ):	460.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	2.791
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	TRACTOR D7-G	HM	1.00	0.0174	160.40	2.791
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.791

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	TRACTOR D7-G	167,194.80	0.0174	2,909.1895	2.791	466,633.999
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			2,909.19		466,634.00

B.- PERFILADO Y COMPACTACION EN ZONAS DE CORTE

	RENDIMIENTO (EQ):	2,420.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	1.155
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	MOTONIVELADORA 140G 150HP	HM	1.00	0.0033	152.74	0.504
2	RODILLO LISO 10 - 12 TN CS-553	HM	2.00	0.0066	98.67	0.651
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					1.155

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	MOTONIVELADORA 140G 150HP	550,483.20	0.0033	1,816.5946	0.504	277,466.653
2	RODILLO LISO 10 - 12 TN CS-553	550,483.20	0.0066	3,633.1891	0.651	358,486.770
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			5,449.78		635,953.42

C.- BASE GRANULAR

	RENDIMIENTO (EQ):	1,760.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	1.548
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	RODILLO LISO 10 - 12 TN CS-553	HM	1.00	0.0045	98.67	0.444
2	RODILLO NEUMÁTICO 15 TN	HM	1.00	0.0045	92.58	0.417
3	MOTONIVELADORA 140G 150HP	HM	1.00	0.0045	152.74	0.687
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					1.548

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	RODILLO LISO 10 - 12 TN CS-553	550,483.20	0.0045	2,477.1744	0.444	244,422.798
2	RODILLO NEUMÁTICO 15 TN	550,483.20	0.0045	2,477.1744	0.417	229,336.806
3	MOTONIVELADORA 140G 150HP	550,483.20	0.0045	2,477.1744	0.687	378,363.618
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			7,431.52		852,123.22

1.00.- TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA

	RENDIMIENTO (EQ):	105.98	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	7.596
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAMION CISTERNA AGUA 4000GLN	HM	1.00	0.0755	100.61	7.596
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					7.596

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CAMION CISTERNA AGUA 4000GLN	82,572.48	0.0755	6,234.2222	7.596	627,225.100
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			6,234.22		627,225.10

2.00.- MATERIAL PARA BASE

2.01.- EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA

	RENDIMIENTO (EQ):	800.00	m2/Dia		Costo Unitario por: M2	3.145
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	TRACTOR D8R	HM	1.00	0.0100	314.50	3.145
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					3.145

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	TRACTOR D8R	217,353.24	0.0100	2,173.5324	3.145	683,575.940
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			2,173.53		683,575.94

2.02.- TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA

RENDIMIENTO (EQ):	520.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2	3.127

Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU V	HM	0.50	0.0077	187.83	1.446
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	1.00	0.0154	109.14	1.681
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					3.127

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU V	217,353.24	0.0077	1,673.6199	1.446	314,356.035
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	217,353.24	0.0154	3,347.2399	1.681	365,317.762
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			5,020.86		679,673.80

2.03.- PROCESO MATERIAL BASE

RENDIMIENTO (EQ):	720.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2	11.622

Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	ZARANDA FINLAY 393	HM	1.00	0.0111	173.71	1.928
2	GRUPO ELECTR 400 KW	HM	1.00	0.0111	143.12	1.589
3	CARGADOR FRONTAL 966F	HM	2.00	0.0222	181.41	4.027
4	CHANCADORA PRIM-SECUND	HM	1.00	0.0111	367.38	4.078
						11.622

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	ZARANDA FINLAY 393	217,353.24	0.0111	2,412.6210	1.93	419,096.388
2	GRUPO ELECTR 400 KW	217,353.24	0.0111	2,412.6210	1.59	345,294.312
3	CARGADOR FRONTAL 966F	217,353.24	0.0222	4,825.2419	4.03	875,347.138
4	CHANCADORA PRIM-SECUND	217,353.24	0.0111	2,412.6210	4.08	886,348.690
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			12,063.10		2,526,086.53

2.04.- ELIMINACIÓN DE OVER EN PLANTA

RENDIMIENTO (EQ):	240.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2	2.307

Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CARGADOR FRONTAL 966F	HM	0.20	0.0067	181.41	1.215
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	0.30	0.0100	109.14	1.091
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.307

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CARGADOR FRONTAL 966F	50,158.44	0.0067	336.0615	1.215	60,964.925
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	50,158.44	0.0100	501.5844	1.091	54,742.921
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			837.65		115,707.85

2.05.- APILAMIENTO DE ZONA DE ACOPIO

RENDIMIENTO (EQ):	480.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2	2.465

Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU V	HM	0.50	0.0083	187.83	1.559
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	0.50	0.0083	109.14	0.906
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.465

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU V	167,194.80	0.0083	1,387.7168	1.559	260,654.854
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	167,194.80	0.0083	1,387.7168	0.906	151,455.416
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			2,775.43		412,110.27

3.00.- TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR

RENDIMIENTO (EQ):	50.00	m2/Dia	Costo Unitario por: M2	17.462

Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	1.00	0.1600	109.14	17.462
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					17.462

COSTO TOTAL POR EQUIPOS

Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	167,194.80	0.1600	26,751.1680	17.462	2,919,622.476
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			26,751.17		2,919,622.48

D.- ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE A DME

D.1.- CARGUIO DE MATERIAL

	RENDIMIENTO (EQ):	**625.00**	**m2/Dia**		**Costo Unitario por: M2**	**2.404**
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU V	HM	1.00	0.0128	187.83	2.404
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					2.404
	COSTO TOTAL POR EQUIPOS					
Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU V	188,094.15	0.0128	2,407.6051	2.404	452,220.470
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			2,407.61		452,220.47

D.2.- TRANSPORTE DE MATERIAL A DME

	RENDIMIENTO (EQ):	**77.78**	**m2/Dia**		**Costo Unitario por: M2**	**11.231**
Item	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial S/.
1	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	HM	1.00	0.1029	109.14	11.231
	Costo Unitario Directo (Nuevos Soles)					11.231
	COSTO TOTAL POR EQUIPOS					
Item	Recurso	Metrado (m2)	HM /m2	HM Total	PU / m2	Costo Total
1	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	188,094.15	0.1029	19,354.8880	11.231	2,112,392.480
	Horas Maquina Total y Costo Total por Equipos (Nuevos Soles)			19,354.89		2,112,392.48

Anexo N°4. 17. Gastos generales de la conservación periódica

DESCRIPCION	UND	CANT.	TIEMPO	COSTO UNITARIO MES	MONTO PARCIAL	MONTO TOTAL
			(MES)	(S/.)	(S/.)	(S/.)
A- SUELDOS PERSONAL						**1,457,166.00**
a) Dirección Técnica						
Ing. Gerente Vial	mes	1.00	6.00	17,300.00	103,800.00	
Ing. Residente Vial 1	mes	1.00	6.00	9,600.00	57,600.00	
Ing. Residente Vial 2	mes	1.00	6.00	7,250.00	43,500.00	
Ing. Especialista de Pavimentos	mes	1.00	6.00	10,000.00	60,000.00	
Ing. Especialista de Suelos y Pavimentos	mes	1.00	6.00	7,500.00	45,000.00	
Ing. Asistente de Producción (C1,C2)	mes	2.00	6.00	4,275.00	51,300.00	
b) Oficina Técnica						
Ing. Control de Costos	mes	1.00	6.00	7250.00	43,500.00	
Ing. Asistente de Control de Costos	mes	1.00	6.00	3000.00	18,000.00	
Ing. De Planeamiento y Control	mes	1.00	6.00	4275.00	25,650.00	
Ing. Asistente de Planeaamiento y Control	mes	1.00	6.00	4000.00	24,000.00	
Ing. Asistente de Oficina Técnica	mes	1.00	6.00	3850.00	23,100.00	
Autocadista	mes	2.00	6.00	1810.00	21,720.00	
Jefe de Topografia	mes	1.00	6.00	5000.00	30,000.00	
Topógrafo	mes	2.00	6.00	3100.00	37,200.00	
c) Control de Calidad						
Ing. Jefe de Control de Calidad	mes	1.00	6.00	5125.00	30,750.00	
Asistente de Calidad QA/QC	mes	2.00	6.00	4063.00	48,756.00	
Auxiliar de Laboratorio (Digitadora)	mes	1.00	6.00	1200.00	7,200.00	
Tecnico de Laboratorio	mes	2.00	6.00	3100.00	37,200.00	
Ayudante de Laboratorio	mes	4.00	6.00	2200.00	52,800.00	
d) Seguridad y Medio Ambiente						
Jefe de Seguridad y MA	mes	1.00	6.00	6400.00	38,400.00	
Supervisor de Seguridad (Prevencionista)	mes	2.00	6.00	4275.00	51,300.00	
Asistente de Seguridad y Medio Ambiente	mes	2.00	6.00	2575.00	30,900.00	
e) Equipos						
Ing.Jefe de Equipos	mes	1.00	6.00	4700.00	28,200.00	
Especialista en Montaje y Demontaje de Chancad	mes	2.00	6.00	4000.00	48,000.00	
Ayudante Mecanico	mes	2.00	6.00	2500.00	30,000.00	
Guardianes Equipos (N)	mes	16.00	6.00	1800.00	172,800.00	
f) Administración						
Jefe de Administración	mes	1.00	6.00	3850.00	23,100.00	
Asistente Administrativo	mes	2.00	6.00	1895.00	22,740.00	
Almacenero (C1,C2)	mes	2.00	6.00	1980.00	23,760.00	
Asistente de Almacen	mes	4.00	6.00	960.00	23,040.00	
Controlador de combustible y Equipos (C1,C2)	mes	2.00	6.00	875.00	10,500.00	
Asistentes Controladores de Equipos	mes	4.00	6.00	800.00	19,200.00	
Asistente de RR.HH.	mes	1.00	6.00	2125.00	12,750.00	
Secretaria	mes	1.00	6.00	1200.00	7,200.00	
Conserge	mes	2.00	6.00	1000.00	12,000.00	
Guardianes	mes	4.00	6.00	800.00	19,200.00	
Limpieza de Oficinas	mes	2.00	6.00	600.00	7,200.00	
Choferes	mes	14.00	6.00	1200.00	100,800.00	
Asistenta Social	mes	1.00	6.00	2500.00	15,000.00	

DESCRIPCION	UND	CANT.	TIEMPO	COSTO UNITARIO MES	MONTO PARCIAL	MONTO TOTAL
			(MES)	(S/.)	(S/.)	(S/.)
B - ALQUILERES DE EQUIPOS						**788,062.21**
a) Alquileres de camioneta y otros						
Camioneta Gerente Vial	mes	1.00	6.00	3540.00	21,240.00	
Camioneta Residente	mes	1.00	6.00	3540.00	21,240.00	
Camioneta Pavimentos	mes	1.00	6.00	3540.00	21,240.00	
Camioneta Seguridad	mes	1.00	6.00	3540.00	21,240.00	
Camion Baranda Deutro 300 4x2 (5 ton)	mes	1.00	6.00	5833.04	34,998.21	
Camioneta Control de Calidad	mes	1.00	6.00	3982.50	23,895.00	
Camioneta Of.Tecnica.	mes	1.00	6.00	3982.50	23,895.00	
Camioneta Equipos	mes	1.00	6.00	3540.00	21,240.00	
Camioneta administración	mes	1.00	6.00	3540.00	21,240.00	
Cama Baja	mes	1.00	1.00	11800.00	11,800.00	
Camion Abastecedor de Combustible	mes	0.50	1.00	8850.00	4,425.00	
Bus de Transporte personal	mes	1.00	6.00	7500.00	45,000.00	
Combi de 12 pasajeros (Topografia)	mes	1.00	6.00	4867.50	29,205.00	
Camioneta para la Supervisión	mes	1.00	6.00	3540.00	21,240.00	
b) Combustibles para vehiculos						
Camioneta Gerente Vial	mes	1.00	6.00	2550.00	15,300.00	
Camioneta Residente	mes	1.00	6.00	2550.00	15,300.00	
Camioneta Pavimentos	mes	1.00	6.00	2805.00	16,830.00	
Camioneta Seguridad	mes	1.00	6.00	2805.00	16,830.00	
Camion Baranda Deutro 300 4x2	mes	1.00	6.00	4080.00	24,480.00	
Camioneta Control de Calidad	mes	1.00	6.00	2622.86	15,737.14	
Camioneta Of.Tecnica.	mes	1.00	6.00	2914.29	17,485.71	
Camioneta Equipos	mes	1.00	6.00	2914.29	17,485.71	
Camioneta administración	mes	1.00	6.00	2914.29	17,485.71	
Cama Baja	mes	1.00	6.00	4080.00	24,480.00	
Camion Abastecedor de Combustible	mes	0.50	6.00	4590.00	13,770.00	
Bus de Transporte personal	mes	1.00	6.00	4335.00	26,010.00	
Combi 12 pasajeros	mes	1.00	6.00	2550.00	15,300.00	
Camioneta para la Supervisión	mes	1.00	6.00	2914.29	17,485.71	
COMBUSTIBLES OTROS	mes	1.00	6.00	3825.00	22,950.00	
c) Alquiler de equipos de Top.,Lab. y Oficina						
Estacion total	mes	1.00	6.00	2950.00	17,700.00	
Nivel Topografico	mes	1.00	6.00	1200.00	7,200.00	
Equipo de Laboratorio	mes	1.00	6.00	7000.00	42,000.00	
Radio comunicación (2 estaciones + 8 moviles)	mes	1.00	6.00	2000.00	12,000.00	
Densimetro Nuclear	mes	2.00	6.00	2500.00	30,000.00	
Tanque estacionario de PEN 9000 Gln	mes	4.00	6.00	2700.00	64,800.00	
Tanque estacionario D2 5000 Gln	mes	2.00	6.00	1000.00	12,000.00	
Deflectometro - Viga Benkelman	mes	1.00	6.00	219.00	1,314.00	
Rugosimetro	mes	1.00	6.00	170.00	1,020.00	
Equipo Menor y Herramientas	mes	1.00	6.00	200.00	1,200.00	

DESCRIPCION	UND	CANT.	TIEMPO (MES)	COSTO UNITARIO MES (S/.)	MONTO PARCIAL (S/.)	MONTO TOTAL (S/.)
C - ALQUILER DE ALMACEN/CAMPAMENTO Y HOSPEDAJE						**242,190.49**
Campamento / Oficinas	Glb	3.00	6.00	2626.05	47,268.91	
Habilitacion de Almacen - taller - cerco	Glb	3.00	6.00	582.57	10,486.32	
Mantenimiento	mes	3.00	6.00	500.00	9,000.00	
Agua, Luz.	mes	3.00	6.00	600.00	10,800.00	
Dormitorios Tecnicos	Und.	3.50	6.00	180.00	3,780.00	
Dormitorios Ingenieros de obra	Und.	2.00	6.00	220.00	2,640.00	
No considerados	mes	1.00	6.00	800.00	4,800.00	
Juego de sabanas	Und.	6.90	6.00	62.10	2,570.94	
Frazadas	Und.	6.90	6.00	82.80	3,427.92	
Cama de madera	Und.	6.90	6.00	126.00	5,216.40	
Camarotes para obreros	Und.	50.00	6.00	150.00	45,000.00	
Grupo Electrogeno 40 kw (todo incluído)	Und.	3.00	6.00	5400.00	97,200.00	
D - GASTOS DE OFICINA, TRANSPORTE DE PERSONAL Y ALIMENTACION						**601,401.00**
a) Materiales y utiles de oficina						
Telefono RPM	Und.	25.00	6.00	90.00	13,500.00	
Modem de Internet	Und.	2.00	6.00	250.00	3,000.00	
Encomiendas	Glb	1.00	6.00	2000.00	12,000.00	
Utiles de Escritorio	Glb	1.00	6.00	1300.00	7,800.00	
Consumibles de computo	Glb	1.00	6.00	2800.00	16,800.00	
Muebles de oficina	Glb	1.00	6.00	3500.00	21,000.00	
Utencilios de higiene	Glb	1.00	6.00	500.00	3,000.00	
Computadoras	Und.	25.00	6.00	3072.92	460,937.50	
Impresora A4, A3	Glb	1.00	6.00	417.92	2,507.50	
Tintas para impresora	Glb	1.00	6.00	1416.00	8,496.00	
Fotocopiadora	Glb	1.00	6.00	491.67	2,950.00	
Calefacción	Und.	4.00	6.00	150.00	3,600.00	
Máquina de Agua	Und.	8.00	6.00	30.00	1,440.00	
Cafetera	Und.	2.00	6.00	20.00	240.00	
Licencias Software	Glb	1.00	6.00	1770.00	10,620.00	
Licencia S10	Glb	3.00	6.00	600.00	10,800.00	
b) Pasajes Terrestres						
Pasajes terrestres / Personal Staff (Lima-Huaraz)	Und.	2.00	6.00	120.00	1,440.00	
Pasajes Terrestre / Tecnicos, Operarios (Lima-Hu	Und.	3.50	6.00	100.00	2,100.00	
b) Alimentación del Personal						
Profesionales	Und.	2.00	6.00	600.00	7,200.00	
Tecnicos	Und.	3.50	6.00	450.00	9,450.00	
Persona Auxiliar y de Servicios	Und.	1.40	6.00	300.00	2,520.00	
E - IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD E HIGIENE Y SEÑALIZACIÓN						**35,368.00**
a) Implemetos de Seguridad e Higiene						
Cascos Empleados	Und.	97.00	6.00	12.00	1,164.00	
Uniformes Empleados	Und.	97.00	6.00	120.00	11,640.00	
Chalecos Ingenieros y Tecnicos	Und.	97.00	6.00	36.00	3,492.00	
Botas de cuero P/ACERO (Empleados)	Und.	71.00	6.00	50.00	3,550.00	
Botas de cuero P/ACERO (Staff)	Und.	26.00	6.00	80.00	2,080.00	
Lentes de seguridad	Und.	97.00	6.00	11.00	1,067.00	
Botiquin de Obra	Und.	7.00	6.00	150.00	1,050.00	
Carteles de Seguridad (Retroreflectivas)	Und.	20.00	6.00	120.00	2,400.00	
Conos de Seguridad	Und.	25.00	6.00	45.00	1,125.00	
Tranqueras	Und.	10.00	6.00	200.00	2,000.00	
Cinta señalizadora (Rollo)	Roll.	10.00	6.00	55.00	550.00	
Baños Quimicos	mes	7.00	6.00	750.00	5,250.00	
F - OTROS						**91,830.00**
Seguro SCTR Salud y Pensión	MES	97.00	6.00	65.00	37,830.00	
Servicio Control Policial	MES	4.00	6.00	54,000.00	54,000.00	

Anexo N°4. 18. Insumo combustibles usados de equipos para RPTAE

A.- ESPARCIDO DE MATERIAL GRANULAR

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	MOTONIVELADORA 140G 150HP	457.55	3.50	1,601.43
2	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	457.55	3.00	1,372.66
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				2,974.09

A.1.- TRANSPORTE DE AGREGADO A OBRA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	1,757.00	3.50	6,149.51
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				6,149.51

A.2.- MATERIAL GRANULAR PARA BASE

A.2.1.- EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	TRACTOR D8R	142.76	10.00	1,427.56
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				1,427.56

A.2.2.- TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470	109.92	6.20	681.52
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	219.84	3.50	769.46
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				1,450.98

A.2.3.- PROCESO MATERIAL BASE

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	ZARANDA FINLAY 393	158.46	5.20	823.99
2	GRUPO ELECTR 400 KW	158.46	12.00	1,901.52
3	CARGADOR FRONTAL 966F	316.92	5.50	1,743.06
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				4,468.56

A.2.4.- ELIMINACION DE OVER EN PLANTA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CARGADOR FRONTAL 966F	22.07	5.50	121.40
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	32.94	3.50	115.30
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				236.70

A.2.5.- APILAMIENTO DE ZONA DE ACOPIO

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470	91.14	6.20	565.10
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	91.14	3.50	319.01
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				884.10

B.- ESPARCIDO DEL CEMENTO PORTLAND

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CAMION PLATAFORMA	825.72	5.00	4,128.62
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				4,128.62

C.- RECICLADO CON ASFALTO ESPUMADO

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	GRUPO ELECTROGENO 84 KW	1,981.74	2.00	3,963.48
2	CALDERO CON QUEMADOR	1,981.74	12.00	23,780.87
3	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	825.72	3.00	2,477.17
4	COMPRESORA NEUMATICA 90 PCM	825.72	2.00	1,651.45
5	TRACTOR NL12 6X4	1,651.45	4.00	6,605.80
6	CISTERNA ASFALTO 6000 Gln	1,651.45	3.00	4,954.35
7	CISTERNA DE AGUA 9000 Gln	825.72	5.00	4,128.62
9	MAQUINA RECICLADRA	825.72	15.00	12,385.87
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				59,947.62

D.- PERFILADO Y COMPACTACION FINAL

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	MOTONIVELADORA 140 G 150HP	3357.94752	3.50	11,752.82
2	RODILLO LISO 10-12TN CS-533	1651.4496	3.00	4,954.35
3	RODILLO NEUMATICO 15TN	825.7248	2.00	1,651.45
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				18,358.61

D.1.-TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CAMION CISTERNA AGUA 4000GLN NL-10 6X4	914.35	3.50	3,200.23
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				3,200.23

Anexo N°4. 19. Insumo combustibles propuestos técnica convencional

A.- CORTE DE MATERIAL EXISTENTE

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	TRACTOR D7-G	2,909.19	5.50	16,000.54
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				16,000.54

B.- PERFILADO Y COMPACTACION EN ZONAS DE CORTE

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	MOTONIVELADORA 140G 150HP	1816.59456	3.50	6,358.08
2	RODILLO LISO 10 - 12 TN CS-553	3633.18912	3.00	10,899.57
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				17,257.65

C.- BASE GRANULAR

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	RODILLO LISO 10 - 12 TN CS-553	2,477.17	3.00	7,431.52
2	RODILLO NEUMÁTICO 15 TN	2,477.17	3.00	7,431.52
3	MOTONIVELADORA 140G 150HP	2,477.17	3.50	8,670.11
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				23,533.16

1.00.- TRANSPORTE DE AGUA PARA LA OBRA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CAMION CISTERNA AGUA 4000GLN NL-10 6X4	6,234.22	3.50	21,819.78
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				21,819.78

2.00.- MATERIAL PARA BASE

2.01.- EXTRACCION DE MATERIAL EN CANTERA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	TRACTOR D8R	2,173.53	10.00	21,735.32
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				21,735.32

2.02.- TRANSP. DE CANT. A PLANTA CHANCADORA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470	1,673.62	6.20	10,376.44
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	3,347.24	3.50	11,715.34
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				22,091.78

2.03.- PROCESO MATERIAL BASE

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	ZARANDA FINLAY 393	2,412.62	5.20	12,545.63
2	GRUPO ELECTR 400 KW	2,412.62	12.00	28,951.45
3	CARGADOR FRONTAL 966F	4,825.24	5.50	26,538.83
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				68,035.91

2.04.- ELIMINACIÓN DE OVER EN PLANTA

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CARGADOR FRONTAL 966F	336.06	5.50	1,848.34
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	501.58	3.50	1,755.55
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				3,603.88

2.05.- APILAMIENTO DE ZONA DE ACOPIO

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470	1,387.72	6.20	8,603.84
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	1,387.72	3.50	4,857.01
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				13,460.85

3.00.- TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	26,751.17	3.50	93,629.09
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				93,629.09

D.- ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE A DME

Item	Recurso	HM Total	Consumo (gal/hr)	Consumo Total (gals)
1	CARGADOR FRONTAL KOMATSU WA 470	2,407.61	6.20	14,927.15
2	CAMION VOLVO NL 12 6X4 15m3	19,354.89	3.50	67,742.11
Costo Total de Consumo de Combustible (Nuevos Soles)				82,669.26