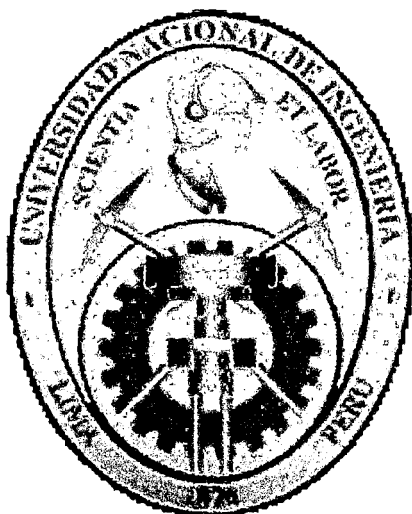


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS DE GRADO**

**ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS  
DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACIÓN DE CAMINOS**

Procedimiento en la Obra: Rehabilitación de la Carretera Cuzco-Juliaca-Desaguadero:  
Tramo Cuzco (San Jerónimo)- Combapata

**Para optar el Título Profesional de:  
INGENIERO CIVIL**

**ELSY CONSUELO CALDERON CANALES**

**LIMA – PERU  
2003**

Digitalizado por:

Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse

*Agradezco a Dios haberme dado:*

*A mis padres J. Nora y F. Enrique  
quienes a su modo me prodigaron  
amor, confianza y apoyo para hacer  
posible cada uno de mis anhelos.*

## AGRADECIMIENTO

*Gracias a la UNI mi Alma Máter y mis profesores por sus enseñanzas en las aulas de la FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.*

*Al Ing y maestro WILFREDO GUTIERREZ LAZARES por la valiosa asesoría para la culminación de la presente tesis.*

*A la Firma Constructora ANDRADE GUTIERREZ por el espacio de prácticas para la realización de los ensayos.*

*A la Empresa Supervisora CESEL S.A., mi sincero agradecimiento al Ing TOMÁS SÁNCHEZ ROLDÁN, por la información del proyecto, por la cual dada la envergadura de la presente tesis ha sido posible y a mi amigo Técnico en suelos y pavimentos HOLMER ARÉVALO MARIN.*

*A todas aquellas personas amigas, quienes con el apoyo y cariño de siempre dieron aliento a mi esfuerzo.*

ELSY CONSUELO CALDERON CANALES

## **INDICE GENERAL**

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCION</b>	
<b>CAPITULO I : MARCO REFERENCIAL DE LA UBICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DENTRO DEL RECICLAJE DE CAMINOS GENERALIDADES</b>	<b>01</b>
1.1 Generalidades	01
1.2 Etapas de la vida de un pavimento	01
1.2.1 Mantenimiento	01
1.2.2 Deterioro	02
1.2.3 Rehabilitación de pavimentos	03
1.3 Opciones de Rehabilitación: El reciclaje de pavimentos como alternativa.	04
1.3.1 Rehabilitación superficial	04
1.3.2 Rehabilitación estructural	05
1.4 Reciclado	05
1.4.1 Etapas de proyecto para pavimento reciclado	06
1.5 Principales aplicaciones de la Técnica del Fresado	08
1.6 Tipos de Reciclado de pavimentos	09
1.7 Ventajas del Reciclado	10
1.8 Perspectiva del reciclaje de pavimentos en el Perú	12
<b>CAPITULO II : ESTUDIO DEL ESTADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE:</b>	
Tramo: Cuzco (San Jerónimo) - Combapata	22
2.1 Generalidades	22
2.1.1 Ubicación de la Obra	22
2.1.2 Topografía y geometría existentes	24
2.1.3 Importancia de la Vía	24
2.2 Antecedentes Básicos para evaluar el Pavimento	24
2.2.1 Evaluación de las capas del pavimento y sub rasante mediante calicatas y ensayos de laboratorio	25



2.3	Conclusiones de los Agregados Conformantes del Pavimento Antiguo	26
2.3.1	Estructura del Pavimento	26
2.3.2	Suelos de Sub rasante	27
2.4	Evaluación Superficial del Pavimento	28
2.4.1	Relevamiento de Fallas Estructurales y Superficiales	29
2.4.2	Evaluación de la Serviciabilidad del Pavimento	29
2.4.3	Evaluación deflectométrica.	31
2.4	Estudio de Tráfico	32
	Cálculo de los EAL	33
	Tráfico Preconstrucción	34
	Tráfico Post Construcción	34
 <b>CAPITULO III : EVALUACIÓN DE SUELOS</b>		<b>49</b>
3.1	Geología y geotecnia vial	49
3.2	Ensayos de agregados en laboratorio para pavimento	51
3.3	Información de canteras	53
3.4	Puntos de aprovisionamiento de agua	53
 <b>CAPITULO IV : ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO</b>		<b>61</b>
4.1	Procedimiento de Diseño	61
4.2	Alternativas analizadas	64
4.3	Solución adoptada	68
4.3.1	Solución traducida a Número Estructural ASSHTO	69
4.4	Evaluaciones Elásticas	70
4.5	Determinación del módulo de rigidez de la capa recuperada	70
4.6	Módulo de rigidez del concreto asfáltico	71
4.6.1	Temperatura Media del aire ponderada	71
4.6.2	Temperatura de la mezcla	71
4.6.3	Módulo dinámico del asfalto	71

4.6.4	Módulo dinámico de la mezcla	72
4.7	Cálculo de las deformaciones y esfuerzos admisibles	72
4.7.1	Verificación de esfuerzos, Deformaciones, Deflexiones y Radios de Curvatura	73
4.7.1.1	Cálculo de los parámetros elásticos	73
4.8	Casos especiales del Diseño	74
 <b>CAPITULO V : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL FRESADO</b>		<b>87</b>
5.1	Modo de operación de la máquina recuperadora	87
5.1.1	Recuperadora de Pavimentos CATERPILLAR RM 350	87
5.1.2	Posicionamiento de la máquina y operación	87
5.1.3	Funcionamiento de la bomba de agua	88
5.2	Resultados de la Evaluación en Laboratorio del material ( anterior a la Rehabilitación)	89
5.3	Observaciones de los Resultados de la Evaluación en Laboratorio del Material Fresado	89
 <b>CAPITULO VI : DEFLECTOMETRIA: Viga Benkelman para el Control</b>		<b>98</b>
6.1	Introducción	98
6.2	Alcances de la metodología	98
6.2.1	El modelo de Hogg	100
6.2.2	Deflexiones en el modelo de Hogg	100
6.2.3	Características y Utilización del modelo	101
6.2.4	Medición y Cálculo de las deflexiones Medidas	102
6.2.5	Capacidad Estructural del Pavimento	103
6.2.6	Aporte Estructural del Pavimento Existente	104
6.3	Resultados de la Evaluación Deflectométrica en la Vía	105
6.3.1	Antes de la Rehabilitación	105
6.3.1.1	Sectorización por resultados con Deflexiones con Viga Benkelman	105
6.3.1.2	Resultados del procedimiento computarizado de Datos	106

6.3.2	Después de la Rehabilitación	107
6.3.2.1	Sub Base Recuperada	107
6.3.2.2	Base Granular	108
6.3.2.3	Carpeta Asfáltica en Caliente	109
 <b>CAPITULO VII : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>120</b>
7.1	Conclusiones	120
7.1.1	Del material recuperado	120
7.1.2	De la vía antes de la rehabilitación	122
7.1.3	De la solución propuesta de la rehabilitación	125
7.1.4	De la vía rehabilitada	127
7.2	Recomendaciones	131
<b>ANEXO 1</b>		<b>141</b>
CBR “IN SITU”		133
Perfil Estratigráfico del Suelo		134
 <b>ANEXO 2</b>		<b>143</b>
Procedimiento Constructivo: Descripción Gráfica y Fotográfica		
Gráficos del procedimiento constructivo: Recuperación de Pavimento asfáltico para conformar nueva Sub-Rasante en Zonas Rurales ( ZR )		136
Gráficos del procedimiento constructivo: Recuperación de Pavimento asfáltico para conformar nueva Sub-Rasante en Zonas Urbanas ( ZU )		137
Gráfico de Tren de trabajo en Zonas Rurales ( ZR * )		138
Gráfico de Tren de trabajo en Zonas Urbanas ( ZU * )		139
Gráfico de Tren de trabajo en para conformar capa de Base Granular (Motoniveladora) ( BG )		140
Gráfico de Tren de trabajo en para conformar capa de Base Granular (Pavimentadora) ( BG * )		141
Gráfico de Tren de trabajo en para imprimación con asfalto líquido MC-30 (IM)		142
Gráfico de Tren de trabajo en para conformar carpeta asfáltica (CP)		143

Secciones de Diseño	
Plano Secciones transversales en zonas rurales ( ST )	144
Plano Secciones transversales en zonas urbanas ( ST )	145
Plano Secciones transversales en zonas de variantes ( ST )	146
Plano Secciones transversales en zonas con elevación de rasante ( ST )	147
Plano Secciones transversales en transiciones ( ST )	148
<b>A2 Descripción fotográfica de la ejecución constructiva</b>	<b>149</b>
A2.1 Recuperación de pavimento asfáltico para conformar nueva sub base	149
A2.2 Conformación de base granular	154
A2.3 Conformación de Carpeta Asfáltica	157
<b>ANEXO 3</b>	<b>146</b>
<b>A3 Diseño de mezcla asfáltica en caliente</b>	<b>164</b>
A3.1 Propuesta del proyecto	164
A3.1.1 Materiales	164
A3.2 Verificación en Obra	166
A3.3 Recomendaciones para mezclas asfálticas en climas fríos y zonas de altura	174
<b>ANEXO 4</b>	<b>181</b>
Ensayos del material Fresado para el tramo monitoreado km 72+000 al km 78+000	
<b>ANEXO 5</b>	<b>221</b>
La viga Benkelman/ Registros de campo/ Resultados del Modelo de Hogg	
<b>ANEXO 6</b>	<b>274</b>
Presupuestos tentativos / fresado de firmes Asfáltico /Reciclaje a Profundidad de Capa	

## INDICE DE GRAFICOS

	Página
GRAFICO Nº 1.1 : ETAPAS DE LA VIDA DE UN PAVIMENTO	14
GRAFICO Nº 1.2 : DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA DEFINIR EL TIPO DE REHABILITACIÓN (PSI vs TIEMPO / TRAFICO)	14
GRAFICO Nº 1.3 : SECUENCIA DE PROYECTO PARA PAVIMENTO RECICLADO	15
GRAFICO Nº 2.1 : LOCALIZACIÓN GEOPOLÍTICA DE LA VÍA	35
GRAFICO Nº 2.2 : LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE CONTEO DE TRÁFICO	36
GRAFICO Nº 3.1 : DIAGRAMA DE CANTERAS	54
GRAFICO Nº 3.1 : PLANO DE UBICACIÓN PU	66
GRAFICO Nº 4.1 : DEFLECTOGRAMA ANTES DE LA REHABILITACIÓN: Do, Dc, Desv Std, POR SECTORES	77
GRAFICO Nº 4.2 : TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE PONDERADA	78
GRAFICO Nº 4.3 : TEMPERATURA DE LA MEZCLA	79
GRAFICO Nº 4.4 : MODULO DINAMICO DEL ASFALTO	80
GRAFICO Nº 4.5 : MODULO DINAMICO DE LA MEZCLA	81
GRAFICO Nº 5.1 : VISTA EN PLANTA DEL TRABAJO DE PRODUCCIÓN DEL MATERIAL RECUPERACIÓN	91
GRAFICO Nº 6.1 : PARÁMETROS DEL MODELO DE HOGG	111
GRAFICO Nº 6.2 : TRANSFORMACIÓN TEÓRICA DEL MODELO REAL EN EQUIVALENTE HOGG	112
GRAFICO Nº 6.3 : ANÁLISIS DE DEFLEXIÓN COMPARATIVO ANTES Y DESPUÉS DE LA REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA CUSCO COMBAPATA -- CARRIL DERECHO 1997-2001	113
GRAFICO Nº 6.4: ANÁLISIS DE DEFLEXIÓN COMPARATIVO ANTES Y DESPUÉS DE LA REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA CUSCO COMBAPATA – CARRIL IZQUIERDO 1997-2001	113

## INDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO Nº 1.1 : COMPARATIVO ENTRE RECUPERACIÓN ‘FDR’ Y RECICLAJE EN FRIO ‘CIR’	17
CUADRO Nº 1.2 : CUATRO CLASES DE RECICLADO EN FRIO IN SITU MAS COMUNES	19
CUADRO Nº 1.3 : ESTIMACIÓN DE COSTOS DE DIFERENTES TRATAMIENTOS DE CAMINOS	20
CUADRO Nº 2.1 : CBR IN SITU: CUADRO RESUMEN	36
CUADRO Nº 2.2 : CUANTIFICACION DE FALLAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO	37
CUADRO Nº 2.3 : RANGO DEL AHUELLAMIENTO	38
CUADRO Nº 2.4 : RESULTADOS DEL AHUELLAMIENTO	39
CUADRO Nº 2.5 : DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE UNA CARRETERA EN FUNCION DEL INDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE	40
CUADRO Nº 2.6 : CLASIFICACION DE LA VÍA DE ACUERDO A SU SERVICIABILIDAD	41
CUADRO Nº 2.7 : TASA ANUAL DE CRECIMIENTO DEL TRÁFICO DE ETAPA DE DISEÑO 1997	41
CUADRO Nº 2.8 : ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL -TRAMO: CUSCO – URCOS	42
CUADRO Nº 2.9 : ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL TRAMO: URCOS – COMBAPATA.	43
CUADRO Nº 2.10 : ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL ANTES DE LA REHABILITACIÓN	44
CUADRO Nº 2.11 : VARIACIÓN DEL EAL 1997-201	45
CUADRO Nº 3.1 : ENSAYOS DE AGREGADOS EN LABORATORIO PARA PAVIMENTO	55
CUADRO Nº 3.2 : RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE CANTERAS	56
CUADRO Nº 3.3 : CONTROLES DE AGREGADOS	57
CUADRO Nº 3.4 : CONTROL DE HUSOS PARA SUB BASE Y BASE (Usados en el MTC)	58
CUADRO Nº 3.5 : CONTROL DE HUSOS PARA BASE (Usados en el MTC)	59
CUADRO Nº 4.1 : DEFLEXIONES ADMISIBLES PARA DIVERSOS CRITERIOS	82
CUADRO Nº 4.2 : RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA	82
CUADRO Nº 4.3 : MODULOS RECOMENDADOS PARA CAPAS ASFÁLTICAS	82
CUADRO Nº 4.4 : RELACIONES DE POISSON ( $\mu$ ) PARA LAS DIFERENTES CAPAS	83
CUADRO Nº 4.5 : DEFLEXIONES Y RADIOS DE CURVATURA	83
CUADRO Nº 4.6 : MODULOS DINAMICOS OBTENIDOS	83
CUADRO Nº 4.7 : RECOMENDACIONES ASSHTO ESPSORES – EAL	84
CUADRO Nº 4.8 : DEFORMACIONES Y ESFUERZOS ADMISIBLES	84
CUADRO Nº 4.9 : PARAMETROS ELASTICOS ADMISIBLES Y CALCULADOS SOLUCION ADOPTADA PARA TODO EL PROYECTO	85
CUADRO Nº 4.10 : DEFLEXIONES Y RADIOS DE CURVATURA CALCULADOS DE LA ESTRUCTURA ANTIGUA Y LOS ESPERADOS CON LA REHABILITACIÓN	85

CUADRO N° 5.1 : RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS A LA MEZCLA DE BASE GRANULAR MÁS CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTES (Anterior a la Rehabilitación)	92
CUADRO N° 5.2 : RESUMEN DE RESULTADOS: ENSAYOS EFECTUADOS A LA MEZCLA DE BASE GRANULAR MÁS CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTES (En la Rehabilitación)	93
CUADRO N° 5.3 : RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS : ( En la Rehabilitación )	94
CUADRO N° 6.1 : PARÁMETROS DEL MODELO DE HOGG	111
CUADRO N° 6.2 : RESULTADOS DEL ANALISIS CON LA VIGA BENKELMAN SIMPLE	114
CUADRO N° 6.3 : RESULTADOS DEL ANALISIS CON LA VIGA BENKELMAN DOBLE	114
CUADRO N° 6.4 : VALORES DE LA DEFLECTOMETRIA : CALCULADOS ANTES DE LA REHABILITACIÓN Y ESPERADOS DESPUÉS DE LA REHABILITACION (PROMEDIO PARA LOS DOS CARRILES)	114
CUADRO N° 6.5 : RESULTADOS DEL MODELO DE HOGG ANTES DE LA REHABILITACIÓN	115
CUADRO N° 6.6 : RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA A NIVEL DE: SUBBASE RECUPERADA	115
CUADRO N° 6.7 : RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG A NIVEL DE SUBBASE RECUPERADA	115
CUADRO N° 6.8 : RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA A NIVEL DE: BASE GRANULAR	116
CUADRO N° 6.9 : RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG A NIVEL DE: BASE GRANULAR	116
CUADRO N° 6.10 : RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA A NIVEL DE: CARPETA ASFÁLTICA	116
CUADRO N° 6.11 : RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG A NIVEL DE: CARPETA ASFÁLTICA	117
CUADRO N° 6.12 : VARIACIÓN DEL EAL 1997-2001.	117
CUADRO N° 6.13 : DEFLEXIONES ADMISIBLES 2001	117
CUADRO N° 6.14 : RESULTADOS COMPARATIVOS PARA LA CARPETA REHABILITADA	118
CUADRO N° 7.1 : RESUMEN DE PARÁMETROS ANTES DE LA REHABILITACION	124
CUADRO N° 7.2 : RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO DE HOGG ANTES DE LA REHABILITACIÓN	125
CUADRO N° 7.3 : PARÁMETROS ELÁSTICOS ADMISIBLES Y CALCULADOS PARA LA SOLUCION ADOPTADA Y LAS DEFLEXIONES Y REDIOS DE CURVATURA ESPERADOS CON LA REHABILITACIÓN.	126
CUADRO N° 7.4 : RESULTADOS DE DEFLECTOMETRIA A NIVEL DE: CARPETA ASFALTICA	129

CUADRO Nº 7.5 : RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG A NIVEL DE : CARPETA ASFALTICA	130
CUADRO Nº 7.6 : DEFLEXIONES ADMISIBLES 2001	130
CUADRO Nº 7.7 : RESULTADOS COMPARATIVOS PARA LA CARPETA REHABILITADA	130



## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
FOTOGRAFÍA N° 1.1 : MAQUINA RECUPERADORA EN LA CARRETERA CUSCO COMBAPATA	20
FOTOGRAFÍA N° 2.1 : RELEVAMIENTO DE FALLAS	45
FOTOGRAFÍA N° 5.1 : VISTA FRONTAL DEL TRABAJO DE RECUPERACIÓN DEL PAVIMENTO DE CAT RM 350	95
FOTOGRAFÍA N° 5.2 : CAMBIO RUTINARIO DE PARTES DEL TAMBOR RM 350	95
FOTOGRAFÍA N° 5.3 : RECUPERACIÓN EN ZONAS URBANAS	96
ANEXO 3 : DESCRIPCIÓN GRAFICA Y FOTOGRAFICA DE OBRA	135

## FUENTES DE INFORMACION

1. PROYECTO ESPECIAL DE REHABILITACIÓN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE  
PROGRAMA REHABILITACIÓN DE TRANSPORTE DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES  
VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN DE LA REPUBLICA DEL PERU  
(PERT-PRT-MTC)
2. EMPRESA CONSTRUCTORA ANDRADE GUTIERREZ S.A.
3. EMPRESA SUPERVISORA CESEL S.A.
4. BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
INGENIERIA CIVIL..
5. BIBLIOTECA – LABORATORIO -MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,  
VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN
6. INTERNET

## BIBLIOGRAFIA

1. WIRTGEN, MANUAL WIRTGEN SOBRE RECICLAJE EN FRIO. 2000
2. CATERPILLAR, MANUAL DE RECUPERACIÓN DE CAMINOS. 1999
3. BROCK, J. Don, PhD. FRESADO Y RECICLAJE. Technical Paper T-127S, ASTEC Industries, Chattanooga, TN 37404 EE.UU 1997.
4. ASOCIACIÓN INTEGRAL S.A - S&Z Consultores Asociados S.A. Expediente técnico del Estudio definitivo de rehabilitación de la carretera Cusco - Juliaca - Desaguadero, tramo Cusco (San Jerónimo) – Combapata 1997.
5. CESEL SA., SUPERVISIÓN DE LA CARRETERA CUSCO COMBAPATA , Informes Deflectometría, Control de Especificaciones 2000-2001.
6. SCIPION PINELLA, Eddy . RECICLAJE DE PAVIMENTOS, Exposición UPC 2001
7. RIVERA E, Gustavo. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN FRIO EMPLEANDO EMULSIONES ASFÁLTICAS. Ed. Alfaomega SA 1997.
8. HUANG. Y.H.: ANALISIS Y DISEÑO DE PAVIMENTOS. Prentice Hall, New Jersey, 1993
9. THE ASPHALT INSTITUTE. PRINCIPIOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE. Manual Series N° 22 (MS-22)
10. DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN, Dpto. de Estado, Evaluación y Seguridad en Caminos. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS. Buenos Aires Argentina.
11. GUTIERREZ LAZARES, Wilfredo. Apuntes de Clase. Curso Mecánica de Suelos Aplicada a las Vías de Transporte FIC/UNI. Ciclo 1999-II
12. BARRIGA –DALL’ORTO S.A., MANUAL DE ENSAYOS GENERALES DE CONSTRUCCIÓN MTC-PERT PRT Lima 1999.
13. MONTEJO F, Alonso. INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS, Colombia 1998.
14. VIVAR R., Germán - GUTIERREZ LAZARES, Wilfredo. PAVIMENTOS DE CONCRETO Y ASFALTO/ MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN. 1era Ed. ACI Lima 1996.
15. DEL AGUILA, Pablo. ESTUDIO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS BASADOS EN LA INTERPRETACIÓN DE CURVAS DE DEFLEXIONES (ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS)-Curso de Actualización 1999.
16. CONREVIAl (Roy Jorgensen Associates, INC.-Sociedad Argentina de Estudios SAE, Barriga Dall’Orto SCRL., H.O.B. SSCRL.). ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE CARRETERAS EN EL PAIS.
17. VALLE RODAS, Raul. CARRETERAS CALLES Y AEROPISTAS. 6ta Ed. 1980.
18. ASOCIACIÓN PERUANA DE CAMINOS. 4<sup>to</sup> CONGRESO NACIONAL DEL ASFALTO. Lima 2000.
19. ASOCIACIÓN PERUANA DE CAMINOS. 11<sup>avo</sup> CONGRESO NACIONAL DEL ASFALTO. Lima 2001.
20. MELÉNDEZ PALMA, José. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL DETERIORO DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN ZONAS DE ALTURA. MTC Lima 2000.

21. MÉNDEZ PINILLA, Fabio y ULLOA DUARTE, Javier. EXPERIENCIAS DE RECICLAJE EN COLOMBIA. Décimo primer simposio colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Cartagena de Indias, 1997.
22. SHELL PAVEMENT DESIGN MANUAL. ASPHALT PAVEMENTS AND OVERLAYS FOR ROAD TRAFFIC. Londres, 1978.
23. AASHTO: GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES Washington, 1993.
24. LILLI, Félix. CURSO SOBRE DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. Popayán, agosto de 1991. Universidad del Cauca
25. MORILLA ABAD, Ignacio. DICCIONARIO DE INGENIERIA DE CAMINOS. Ed. Pirámide S.A. 1979.

Nota: Las llamadas dentro de la presente tesis están referenciadas hacia esta bibliografía

## INTRODUCCIÓN

La ingeniería como tal, tiene el objeto de utilizar todos los recursos disponibles, creando, transformando, adaptando, teniendo en cuenta la necesidad de hacer útil teorías matemáticas que ofrezcan parámetros de respuesta cuantitativos, que permitan racionalmente identificar comportamientos y por ende optimizar costos.

El avance del conocimiento, en cuanto a pavimentos, es remota. Los conceptos del diseño estructural de pavimentos conjuntamente con la mecánica de suelos, se han desarrollado en los últimos cincuenta años, surgiendo del empirismo y creciendo apoyado de investigaciones y obras. Por lo general las obras de rehabilitación, en nuestro país se orientan a la reconstrucción y/o refuerzos asfálticos. Las redes primaria y secundaria, por las condiciones de tráfico creciente, requieren de espesores elevados de mezclas asfálticas para su rehabilitación.

Luego el ingeniero, debe considerar opciones de rehabilitación no tradicionales, como el caso del reciclado y recuperación de pavimento con bajos costos de ejecución, permitiendo más kilómetros de carreteras en buen estado. Se tendrá en cuenta que es necesario flexibilizar algunas exigencias técnicas vigentes en el país, respaldadas con resultados de otros proyectos de comportamientos similares y con investigaciones locales.

La presente tesis permite conocer resultados obtenidos en la evaluación, desde los estudios básicos hasta el término de la construcción, de un proyecto que incluye procedimiento generalizado de reciclado del pavimento existente, que luego servirá de sub-base, preparada para recibir una base y una carpeta asfáltica en caliente de superficie. Con tal objeto la tesis está organizada en los capítulos siguientes:

El Capítulo I contiene consideraciones generales de reciclado y una perspectiva para el Perú.

El Capítulo II presenta la configuración física, la evaluación previa a la rehabilitación del pavimento como son la evaluación estructural y superficial del pavimento antiguo y el tráfico calculado inicialmente.

El Capítulo III contiene resultados de la investigación de suelos y su contrastación con especificaciones técnicas.

El Capítulo IV explica las bases del diseño consideradas para el proyecto, llegando al planteamiento de las alternativas de rehabilitación.

El Capítulo V contiene el procedimiento en obra de la recuperación de los materiales de carpeta asfáltica antigua y base antigua obtenidos con la máquina recuperadora de caminos y la caracterización de ellos mediante ensayos en los laboratorios de campo.

El Capítulo VI está dedicado a la descripción de la metodología de deflectometría para el control de calidad del pavimento, importante para el diseño y control en las diferentes etapas, permitiendo cuantificar su comportamiento.

Finalmente se ha dedicado el Capítulo VII a presentar conclusiones y recomendaciones más relevantes del trabajo.

**CAPÍTULO**  
**1**

MARCO REFERENCIAL DE LA UBICACIÓN DE  
LA RECUPERACIÓN DENTRO DEL RECICLAJE  
DE CAMINOS

---

# **CAP I: MARCO REFERENCIAL DE LA UBICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DENTRO DEL RECICLAJE DE CAMINOS.**

## **1.1 Generalidades**

El deterioro progresivo de las vías asfaltadas se debe a la falta o insuficiencia de mantenimiento durante la vida de servicio, además de otros factores como el clima, acumulación de fatiga, incremento de tránsito, escasez de fondos para su conservación o simplemente fin de su vida útil. Esto obliga a buscar alternativas de rehabilitación, cada vez mas ventajosas desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

La recuperación de caminos es un proceso realizado sobre el camino en una sola operación, utilizando los mismos materiales deteriorados de la capa asfáltica y de la base, para dejar una nueva capa lista, para compactar y tender la nueva capa asfáltica, a la vez que en forma simultánea se pueden agregar emulsiones líquidas para aumentar la cohesión entre los materiales procesados por la máquina recuperadora de caminos.

El ahorro en el proceso consiste en que se reutilizan los materiales existentes recuperados en el sitio mismo.

De esta manera se eliminan tractores con desgarradores, camiones, cargadores frontales, chancadoras, se reduce la mano de obra, tiempo y el camino puede estar abierto al tráfico, inclusive durante la reparación.

## **1.2 Etapas de la Vida de un Pavimento**

Luego del diseño y posterior construcción, una vía atraviesa un ciclo de vida, descrita en tres fases:

Fase a : Deterioro lento y poco visible, que demanda trabajos de mantenimiento.

Fase b : Deterioro Acelerado.

Fase c : Descomposición total, que demanda la rehabilitación.

### **1.2.1 Mantenimiento**

Es una serie de actividades y medidas para la conservación y recuperación de una carretera en su condición original de construcción o mejorada, estas no solo preservan la superficie de pavimento sino que previenen su desgaste acelerado.



El mantenimiento debe hacerse con el mínimo gasto e interrupción de tráfico, de manera que proteja las grandes inversiones realizadas, se debe realizar un mantenimiento rutinario, periódico o preventivo, teniendo en cuenta las acciones por emergencia además de las medidas por orden ambiental.

### 1.2.2 Deterioro

Se produce por la falta de mantenimiento o que éste se realice de manera inadecuada. Las más frecuentes causas de deterioro de pavimentos asfálticos son:

- **Tráfico vs Infradiseño**

Error de diseño del pavimento, sea estructural , como de la mezcla; una por defecto de capacidad resistencial y la otra por inadecuada característica de su composición y/o ineficaz acción de control de carga de los vehículos.

- **Proceso Constructivo vs Estructura Débil**

Errores o vicios constructivos de carácter fortuito que involucra características inadecuadas de espesores, mezclas, estabilización y deficiencia en distribución y compactación, entre otras.

- **Deficiencias de Proyecto vs Antieconomía**

Diseños inadecuados, con mala valoración de subrasante, dosificación de la mezcla (altitud - clima)

- **Factores Ambientales vs Vida Útil**

Debido a elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencia en el drenaje (superficial o profundo), variación térmica, congelamiento, sales nocivas.

- **Deficiente Mantenimiento vs Pronta Rehabilitación**

Insuficiente mantenimiento o su realización con mucho retardo.

De acuerdo a lo comentado líneas arriba, es evidente que la determinación de las causas de los tipos de falla, resultan necesarias para poder formular correctamente una solución.

### 1.2.3 Rehabilitación de pavimentos

Rehabilitación es rescatar, fortalecer y modernizar calles y caminos deficientes. Muchos pavimentos viejos soportan vehículos cuyo número y peso están por encima de aquellos para los que fueron diseñados. Curvas pronunciadas, taludes empinados, distancias de visibilidad cortas, curvas verticales de radios pequeños y caminos angostos son algunas de las deficiencias geométricas que limitan la capacidad y seguridad de tránsito.

Por otra parte muchos pavimentos, por varias razones, necesitan reforzarse y otros restaurarse.

Por ejemplo un camino antiguo puede ser demasiado angosto y tener una resistencia inadecuada, como así también ser insuficiente al drenaje, alineamientos curvas, sección transversal, ancho de banquetas y otros rasgos geométricos. La rehabilitación involucra la mejora de todos estos aspectos, incluyendo el reciclado de la mayor parte del pavimento antiguo. El ensanchamiento del camino, conjuntamente con capas asfálticas de refuerzo y la reconstrucción de algunos pavimentos resulta práctico y económico.

#### - **Estructuración de las fases**

De acuerdo a lo descrito, tenemos el Gráfico N° 1.1 “Etapas de la vida de un pavimento”, muestra la relación entre la deflexión y las repeticiones de carga se incrementan con el tiempo, diferenciando las fases descritas y con ello la condición del pavimento, por etapas, basado en el criterio de deflexión admisible y la valoración del tráfico. Se tiene en la primera etapa un pavimento sano con ahuellamiento menor a 5 mm, la segunda etapa es crítica, en la cual existirán algunas fisuras simples o ramificadas con un ahuellamiento entre 6 a 12 mm, y la tercera corresponde a una etapa de falla con fisuras reflejadas formando mallas y ahuellamientos mayores de 12 mm, cuando el pavimento pasa de la condición crítica a la falla, se considera que el deterioro aumenta rápidamente necesiéndose mayor inversión para su rehabilitación, en este sentido la interpretación de una vida útil remanente de 2 a 3 años demandan una urgente rehabilitación impostergable, en caso de vida remanente nula, la condición sería de falla y la evolución del deterioro es impredecible, demandando una reconstrucción

El Gráfico N° 1.2 “Diferentes alternativas para definir el tipo de rehabilitación”, se presenta algunas pruebas tentativas, de acuerdo a lo cual la Prueba A no es aceptable como un diseño “total”, pues no alcanza la vida de diseño  $T_d$ , sin embargo ésta puede ser económicamente aceptable si se combina con una sobre capa adecuada aplicada antes del tiempo  $T_a$ , debiendo evaluarse costos y beneficio de los usuarios; pudiendo existir muchas posibilidades de añadir sobre capas. La elección dependerá de el resultado del análisis económico. Los pavimentos pueden proyectarse con la posibilidad de ser construidos para el tiempo total proyectado; Prueba B, o por etapas, a través de sobre capas para la vida de diseño (tiempo total proyectado),

### **1.3 Opciones de Rehabilitación: El Reciclaje de Pavimentos Como Alternativa.**

Existen muchas opciones para rehabilitar una carretera, determinar cuál de ellas es la más conveniente, responderá a las interrogantes siguientes:

- Qué es lo que realmente esta funcionando mal en el pavimento existente
- Para qué condiciones trabajará la rehabilitación geopolíticamente; según esto la estimación del tráfico; condición de carga, clima entre otras
- Qué se desea , un diseño de tiempo de servicio esperado de 15 años o gasto para mantener el pavimento por unos 5 años más

El propósito es determinar la solución más rentable para el problema real dentro del contexto del medio ambiente del proyecto, luego del cual deberá elegirse entre las alternativas de rehabilitación siguientes:

#### **1.3.1 Rehabilitación superficial.**

Son medidas que resuelven problemas de la capa superior del pavimento, relacionado con el envejecimiento del asfalto y el agrietamiento. Los métodos mas comunes para tratar este tipo de problema son:

- Bacheos: Es el método más difundido, en el cual se retiran las partes afectadas y se reemplazan con mezclas asfálticas nuevas.
- Fresado y reemplazo (afeitado de la vía): Es un método relativamente rápido debido a la alta capacidad de las fresadoras actuales, en donde la capa asfáltica es retirada y reemplazada por otra.
- Tratamientos superficiales: Es un método basado en la colocación, sobre toda la superficie existente, de una capa delgada de mezcla asfáltica ( capa nivelante ).
- Entre los más empleados tenemos, uso de rejuvenecedores como Slurry-seal, entre otros.
- Reciclaje poco profundo o superficial: Es un método de ingeniería, mediante el cual se emplea parte o la totalidad de la mezcla asfáltica en la fabricación de otra calidad superior a la existente.

### 1.3.2 Rehabilitación estructural

Son medidas que resuelven los problemas de la estructura del pavimento que normalmente se trata como una solución a largo plazo.

Entre las opciones más conocidas tenemos:

- Reconstrucción total: Este método es empleado cuando se demanda un cambio significativo. La reconstrucción esencialmente implica botar todo y comenzar de nuevo.
- Reciclaje en frío y/o Recuperación full depth: Es un método en el cual se actúa hasta el nivel de la estructura del pavimento en que se presentan los problemas de falla. Las capas inferiores al reciclaje permanecen invariables.

## 1.4 Reciclado

Se entiende por reciclar a la reutilización de algo que ya no cumple su función original. La filosofía del reciclaje se basa en la conservación de recursos, en pro del medio ambiente, a fin de conseguir lo que conocemos como desarrollo sostenible y además en la obtención de beneficios económicos.

Los caminos no están exentos a ser reciclados y/o recuperados pues su estructura se compone de materiales procesados los cuales ya tienen un costo, una de las primeras tentativas en el Perú, la constituye la carretera Cusco Combapata, trabajo que en esta fase se muestra en la Fotografía N° 1.1, “Recuperación en la carretera Cusco Combapata”

#### 1.4.1 Etapas de Proyecto para Pavimentos Reciclados

El Gráfico N° 1.3 “Secuencia de proyecto para pavimentos reciclados”, es un esquema detallando la investigación del pavimento y la metodología de diseño para el reciclaje y/o recuperación del pavimento. Las siguientes siglas usadas para mencionar los métodos de análisis, se detallan a continuación pues en adelante se verán algunos:

**RES:** Métodos de diseño para la Relación de Estabilidad del Suelo, son empíricos y están basados en los valores RES húmedos de los materiales del pavimento. Los métodos suponen que cada capa actúa independientemente en la estructura del pavimento. Los métodos de diseño RES típicos son los desarrollados por el Instituto del Asfalto y por el Laboratorio de Investigación de Pistas de Transporte (LIPT)

Debido al hecho que son métodos que tienen bases empíricas, los métodos RES deben utilizarse solo como guías y el diseño deberá revisarse utilizando otros métodos de diseño.

**PCD:** El método de diseño del Penetrómetro de Cono Dinámico ha sido desarrollado para permitir que se realice una evaluación minuciosa de la estructura del pavimento. Como este método tiene bases empíricas, es recomendable utilizarlo junto con otros métodos de diseño.

El PDC puede ser utilizado para:

- Calcular la RES in situ de los materiales y suelos granulares, así como también, la resistencia a la compresión ilimitada de las capas ligeramente cementadas;
- Determinar el corte vertical de la resistencia de la capa del pavimento existente.
- Determinar el balance de la resistencia entre las capas del pavimento.
- Inspeccionar la capacidad estructural del pavimento existente

- Calcular la resistencia del pavimento y el modulo elástico efectivo de los materiales in situ. Estos módulos pueden utilizarse en el análisis mecánico de la estructura del pavimento.

**DEFLEXIÓN:** Estos métodos utilizan la aproximación del análisis respuesta, donde la máxima deflexión sobre la superficie del pavimento es medida bajo una carga aplicada. La curva de deflexión puede ser utilizada en un retroanálisis, para calcular el módulo elástico in situ de cada capa de pavimento. Estas deflexiones teóricas son comparadas con las medidas en campo. Los módulos supuestos son ajustados luego, en un procedimiento iterativo, hasta que puedan compararse las deflexiones medidas con las teóricas. Entre estos métodos se encuentran el del Instituto del Asfalto que está basado en la relación entre la deflexión de rebote representativa (DRR) y las repeticiones de carga de tráfico, mientras que el método LIPT está basado en la relación entre la deflexión estándar y el tráfico acumulativo. Ambos métodos utilizan rodaduras de 10 mm como condición crítica de pavimento.

Estos diseños están basados en mediciones de los pavimentos donde el deterioro fue causada principalmente por condiciones de subrasante de baja calidad.

Por consiguiente estos métodos solo pueden ser utilizados con mayor aproximación en lugares donde se ha identificado que la deterioración del pavimento ha sido causada por condiciones de subrasante deficiente, antes que por deficiencias en las capas de pavimento. El capítulo VI, comenta ampliamente lo relacionado a este tópico.

**MECÁNICOS:** Estos métodos se basan en el diseño mecánico multicapa elástico, generalmente es el mas utilizado es el multicapa elástico-lineal, sin embargo otras aproximaciones de análisis mecánico tales como los métodos de análisis elástico-plástico, también se encuentran disponible.

El diseño mecánico utiliza programas computacionales, para determinar respuestas del pavimento, como deflexiones, esfuerzos y deformaciones en cada una de las capas del pavimento. El método requiere el ingreso de datos sobre los esfuerzos de la capa y las propiedades de los materiales ( en términos de módulo elástico y coeficiente de Poisson ) por capa. El programa calcula la respuesta de cada capa a la carga del diseño en términos de deflexión, esfuerzo y deformación. Estos valores se utilizan junto con las funciones de transferencia para calcular la capacidad estructural del pavimento, luego el pavimento deteriorado existente es construido según un modelo y diferentes

opciones de rehabilitación para el refuerzo efectivo pueden ser construidas según el modelo, utilizando este método de diseño.

## **1.5 Principales Aplicaciones de la Técnica del Fresado**

Tanto el fresado en frío como en caliente se aplican para lograr lo siguiente:

- Fresar firmes flexibles, constituidos por capas granulares con tratamiento superficial o capa fina de mezcla bituminosa, incluyéndose caminos rurales no pavimentados, esta técnica permite obtener capa base con características mecánicas mejoradas tipo grava-emulsión, terminando en tratamientos superficial o capa fina de Concreto Asfáltico.
- Fresar firmes flexibles, constituidos por capas granulares con carpeta asfáltica donde se fresa sólo este material para volverlo constituir según diseño. Se trata normalmente de carreteras de tráfico medio o pesado, con problemas de rotura a fatiga, despegue de capa de rodadura, envejecimiento, etc. También puede darse este caso cuando se pretenda reciclar las capas superiores de mezcla bituminosa de un firme semirrígido con problemas de reflexión de fisuras. En general son estructuras muy homogéneas que permiten encontrar una fórmula de reciclado de firme existente mediante una emulsión de efecto regenerante de proporciones de 2 – 4 %. Lo mas habitual es el tratamiento de espesores de 6 a 15 cm. y, en cualquier caso, con un espesor mínimo superior al de la capa de rodadura existente.
- Restablecer el peralte y la pendiente correctos de la carretera y eliminar puntos altos y rodadas.
- Muchas veces, para reducir o hasta eliminar los agrietamientos por reflexión.
- Lograr un mejor enrasamiento con el fresado que aplicando una capa niveladora de asfalto.
- Levantamiento selectivo en profundidad del revestimiento antiguo.
- Remoción de las deformaciones plásticas (longitudinales y transversales)
- Corrección del perfil transversal de la vía para mejorar el drenaje superficial.
- Abertura de zanjas para obras de drenaje y/o saneamiento.

## **1.6 Tipos de Reciclado de Pavimentos**

La asociación de Reciclado y Recuperación de Asfalto (ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION, ARRA), reconoce cinco tipos de reciclado de pavimentos.

- **Fresado en Frío (Cold Planning).**- Se remueve el pavimento asfáltico hasta una profundidad especificada y la superficie es restaurada, con las pendientes longitudinal y transversal deseadas, y libres de lomos, huellas y otras imperfecciones superficiales. La remoción del pavimento o fresado se completa con la máquina de tambor giratorio auto propulsado para cepillado en frío. El pavimento asfáltico recuperado (Reclaimend Asphalt Pavement, RAP) es cargado en camiones y acopiado para ser reciclado en caliente o frío
- **Reciclado en Caliente.**- Se combina el RAP con agregado nuevo y cemento asfáltico o agente de reciclado, para producir una mezcla asfáltica en caliente. Si bien se usan plantas en caliente, comúnmente las plantas empleadas para producir la mezcla reciclada son las de tambor. El RAP es producido en su mayor parte por fresado en frío pero también puede elaborarse a partir de la remoción de pavimento y trituración. Los equipos y procedimientos para colocación y compactación de la mezcla son aquellos típicos de las mezclas asfálticas en caliente.
- **Reciclado Caliente In-situ.**-El reciclado se lleva a cabo en el lugar y el pavimento se procesa hasta una profundidad de 2 a 4 cm (3/4 – 1 1/2 pulg). El pavimento asfáltico es calentado, ablandado y escarificado hasta la profundidad especificada. Se agrega una emulsión asfáltica u otro agente de reciclado, y empleando uno de los procesos, se incorpora nueva mezcla asfáltica en caliente en la medición necesaria. Los tres métodos de reciclado en caliente in-situ son: termo escarificación, repavimentación y remezclado.
- **Reciclado en Frío .-** Si bien el reciclado en frío se realiza también empleando la planta central o fija, el método mas utilizado es el reciclado frío in-situ (Cold in-place Recycling, CIR). En el CIR, habitualmente el pavimento asfáltico



existente es procesado hasta una profundidad de 5 a 10 cm ( 2-4 pulgadas). El pavimento es pulverizado y el material recuperado se mezcla con la emulsión asfáltica o el agente de reciclado emulsionado; se extiende y se compacta, construyéndose así una base. Las bases recicladas en frío requieren una nueva superficie asfáltica. Para pavimentos de bajo tráfico, puede aplicarse un tratamiento de superficie con emulsión modificada o una carpeta de rodamiento con una mezcla asfáltica en caliente.

- **Recuperación Full-Depth.**- En este método, toda la sección del pavimento, y en algunos casos un volumen predeterminado del material subyacente, se mezcla con emulsión asfáltica para construir una base estabilizada. Con este proceso constructivo, los problemas en la base pueden ser corregidos. La recuperación Full-Depth consiste en seis etapas básicas : pulverización, incorporación de aditivos o emulsión asfáltica, extendido, compactación, perfilado y colocación de la nueva superficie asfáltica.

Es el tipo más abundante en América Latina a la par de la recuperación del pavimento asfáltico, a través de una máquina fresadora o de una máquina tradicional de demolición por ser estas menos costosas.

El material recuperado es mezclado con asfalto virgen, y/o con aditivos químicos, sin adicionarles calor, y en algunos casos agregado virgen para corregir su granulometría. El mezclado puede ser realizado en planta como in situ. El Cuadro N° 1.2 “Cuatro clases de reciclado en frío in situ que generalmente se manejan” muestra las cuatro clases más frecuentes de esta opción en Sud América.

Algunas diferencias entre estos métodos son nombradas en el Cuadro N° 1.1, “Comparativo entre recuperación FDR y reciclaje en Frío CIR”; para distinguirlos con mayor claridad.

## 1.7 Ventajas del Reciclado

Las señaladas en obras ejecutadas en Estados Unidos, España, Francia, Ecuador, Argentina y otros países son:

## **Ventajas económicas**

- Esta técnica reduce el costo de la rehabilitación, pues elimina el gasto de puesta en obra de un porcentaje significativo de material de cantera aumentando con ello la productividad de elaboración de base contribuyente del nuevo pavimento, y disminución también al usar menos botaderos. En caso de reciclado a nivel de carpeta asfáltica, elaboración de una nueva con ahorro de material pétreo y asfalto.
- El reciclado y/o recuperación acorta el tiempo de construcción permitiendo al mismo tiempo la circulación del tráfico, con el correspondiente beneficio económico en operatividad de la vía.
- Las anteriores ventajas traen consigo la disminución en gasto en petróleo y mano de obra y gasto administrativo.
- En la actualidad, se puede fresar la superficie de una carretera (incluso una carretera secundaria) con un costo aproximadamente igual o menor que el de aplicar una capa ligante.
- Al repavimentar una calle urbana, no es raro que el costo de elevar los registros de servicio público exceda el costo de la pavimentación. Si se fresan 44 mm de la superficie y se aplica una nueva capa de 40 mm, se puede reparar y mejorar la calle sin alterar la elevación de los registros. Esto ofrece ahorros significativos, a la vez que generan material de reciclaje que puede añadirse a la mezcla nueva usada para pavimentar la calle.

## **Ventajas técnicas**

Además de las que se consideraron por el proceso de fresado inmerso dentro del reciclado y recuperación se tienen los siguientes:

- Corregir las características de los diseños de mezclas.

- Disminución del periodo de construcción respecto al tradicional
- Posibilita la mejora estructural del pavimento. Logrando un nuevo ciclo de vida como consecuencia de extraer un material viejo y volverlo a procesar.
- No es necesario elevar las barreras, bordillos, el gálibo de los puentes permanecen iguales, obviando la necesidad de reemplazar los avisos de altura libre.

### **Ventajas ambientales**

- Produce un efecto de conservación de las fuentes de materiales, de energía , no contribuye con la degradación del medio ambiente.

### **1.8 Perspectivas del Reciclaje de Pavimentos en el Perú.**

Las carreteras asfaltadas existentes en el Perú, tienden una extensión de aproximadamente 12,000 Km<sup>(1)</sup>., de los cuales 5,600 Km. esta en la costa, 5,400 Km. en la sierra, y 1,000 Km. en la selva alta, y en ellas debe realizarse mantenimiento rutinario permanentemente; y mantenimiento periódico aproximadamente cada 4 años.

Según informes recogidos por el SINMAC, puede considerarse, en líneas generales, que en la actualidad en la RED VIAL ASFALTADA, el 50% (6,000Km) esta en buen estado, el 30% (3,600 Km.) en estado regular y el 20% (2,400Km) en mal estado.

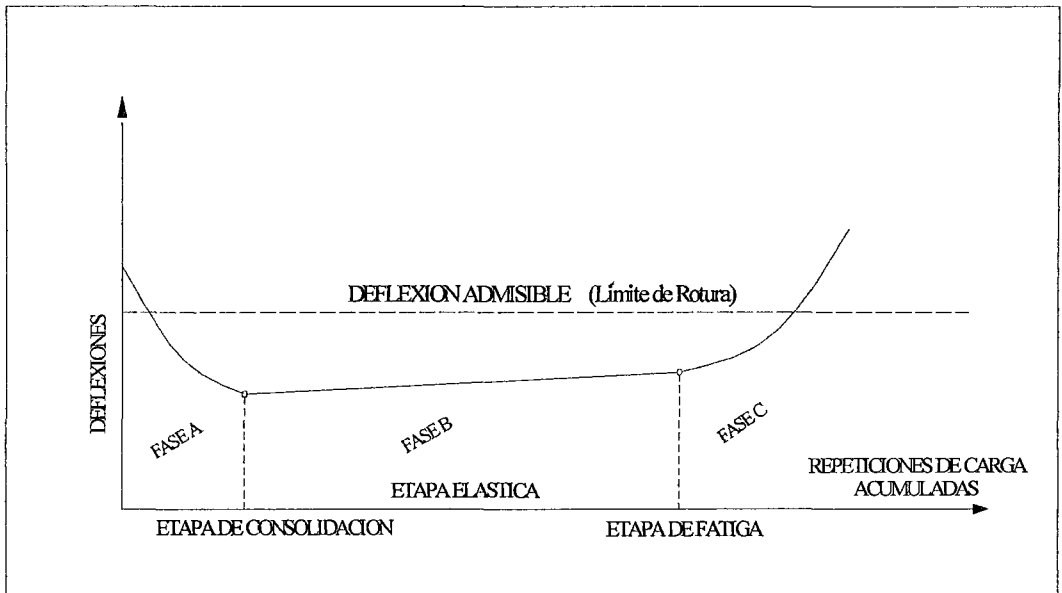
En la actualidad el mantenimiento de la red vial asfaltada se hace exclusivamente con ingresos provenientes del cobro de peajes, los cuales son insuficientes. cubriendo con esto solo el mantenimiento rutinario<sup>(2)</sup>, dejando un pequeño superávit de US \$ 5'492,000 para el mantenimiento periódico, el que debe ser cubierto con el presupuesto nacional; debiendo presupuestarse anualmente US \$ 45'000,000 para poder darle mantenimiento periódico que requieren los 12,000 Km. De carreteras asfaltadas que tenemos, para asegurar la vida útil permanente de las vías pavimentadas. De no asignarse esta partida necesaria, habrán vías que por no recibir el mantenimiento adecuado tendrán que pasar a ser rehabilitadas con un costo innecesariamente alto:

La vida útil de una carretera generalmente se considera 10 años y si a partir del segundo o tercer año de construcción no se le dá el debido mantenimiento, comienza un deterioro progresivo, que a los 10 años hace necesaria su rehabilitación. Si durante esos diez años se le hubiera dado el mantenimiento rutinario y periódico, su costo hubiera sido de US\$ 58,552 / Km (3,140 y 4,179 respectivamente por Km para 8 años) en este lapso y, de acuerdo a las cifras presentadas, los usuarios habrían disfrutado de un excelente camino y de costos normales. De no hacerse el mantenimiento entonces llevaremos a la carretera a la rehabilitación inminente con el cual el costo pasaría a ser US\$ 167,000 / Km es decir US\$ 108,448 / Km en exceso motivando la elaboración para un comparativo en el Cuadro N° 1.3 ,“Estimación de Costos de Diferentes Tratamientos de caminos”

Como es sabido esta situación se ha venido manteniendo por diferentes índices por lo tanto al 20% de carreteras en mal estado que requieren rehabilitación se le van ha ir incrementando por límite de tiempo de servicios de los demás kilómetros en estado regular.

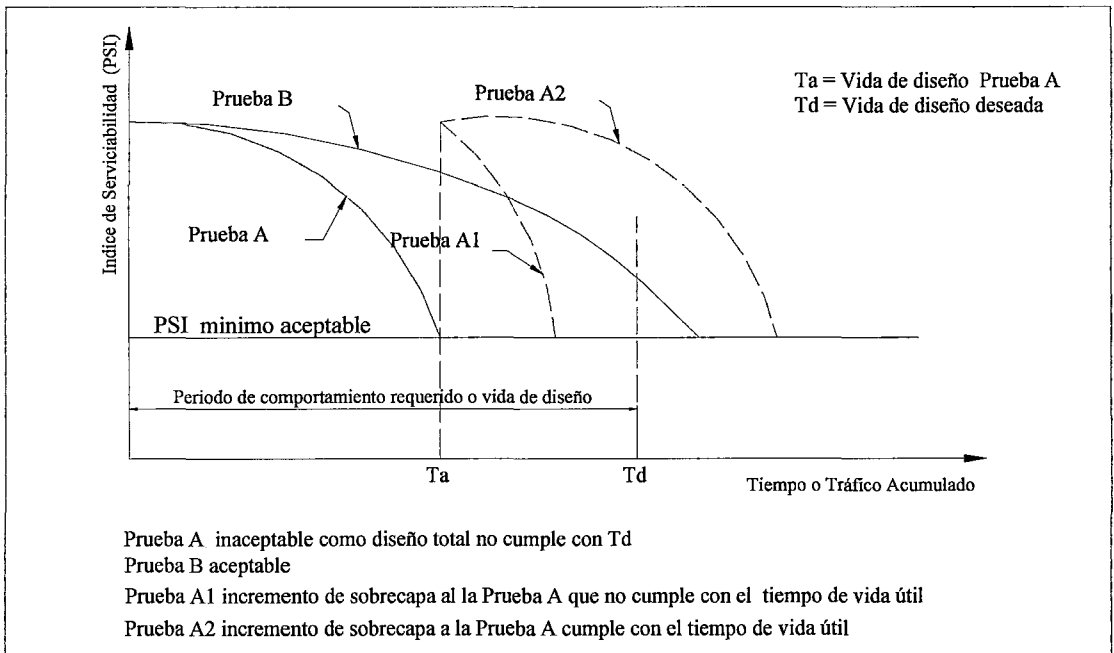
Frente ha esta realidad y dado que los medios de financiamiento: el autogestionario ( de peaje) no cubre los montos se hace necesario recurrir al presupuesto público, el cual a su vez tiene uno de sus pilares en el financiamiento externo.

- (1) MTC + Ejército + CTAR'S + Gobiernos Locales (Datos Oficiosos)
- (2) MANTENIMIENTO RUTINARIO Consiste en reparaciones localizadas en el pavimento y bermas (parchados, tratamientos de fisura, bacheos y limpieza); mantenimiento regular de drenajes, alcantarillas, taludes naturales y bordes; limpieza de las zonas de derecho de vía; control de vegetación o de arena.
- (3) MANTENIMIENTO PERIODICO Consiste en la renovación de pavimento (revestimiento de asfalto delgado, tratamiento superficial, o capa de resellado, riego niebla, lechadas u otros); verificación general de alcantarillas y obras de arte; verificación de señalizaciones y seguridad complementaria.
- (4) REHABILITACIÓN Consiste en la reparación selectiva de la base o sub. base recuperando su funcionalidad y capacidad estructural, rehaciendo el pavimento en algunos tramos, mejoramiento del drenaje, alcantarillas y obras de arte, así como la recuperación de las señalizaciones.
- (5) RECONSTRUCCIÓN Entendiéndose por reconstrucción la renovación de la estructura total de camino, con mejoramiento geométrico, arreglos en la estabilidad y drenaje; así como la reposición de una nueva carpeta asfáltica.



**ETAPAS DE LA VIDA DE UN PAVIMENTO**

Gráfico N° 1.1



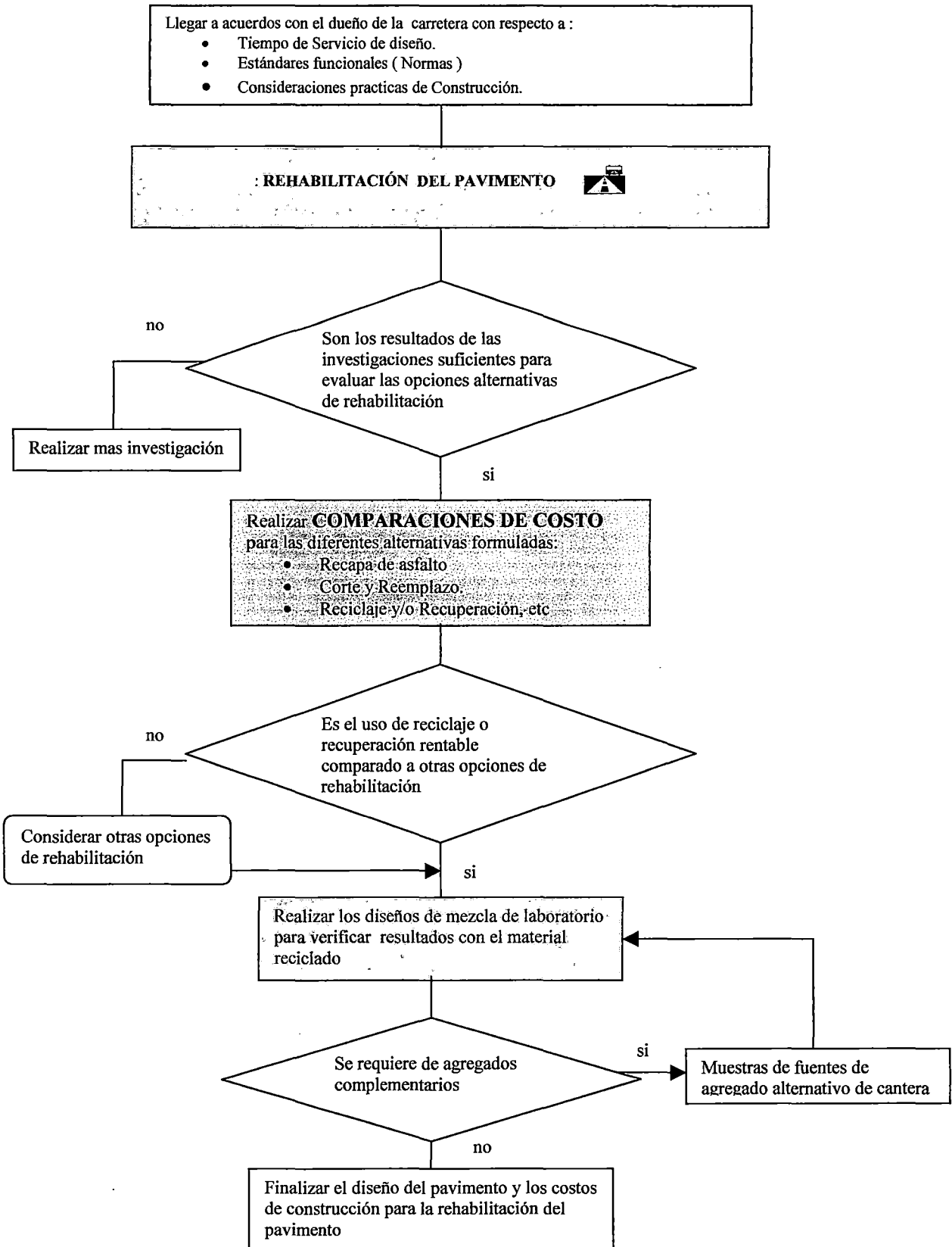
Fuente: AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993


**DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA DEFINIR EL TIPO DE REHABILITACIÓN.**

Gráfico N° 1.2

Gráfico N° 1.3

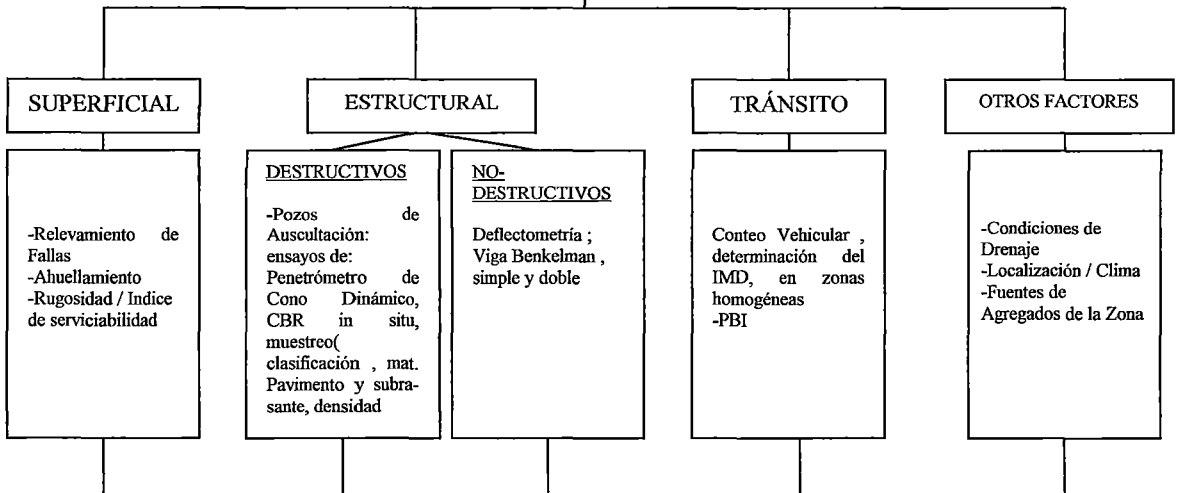
**SECUENCIA DE PROYECTO PARA PAVIMENTOS RECICLADOS**



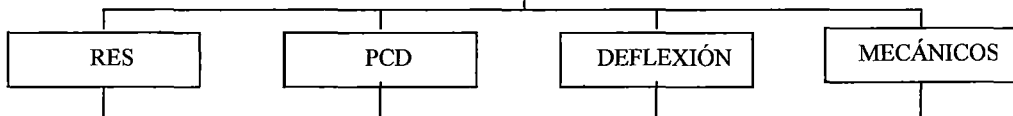
Desarrollo **REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO** 

Diseño original del Proyecto / Antecedentes

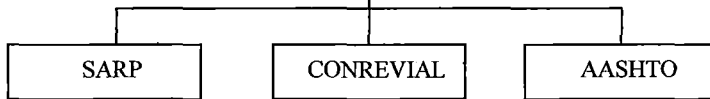
Evaluación



Aporte estructural del pavimento Caracterización



Diseño

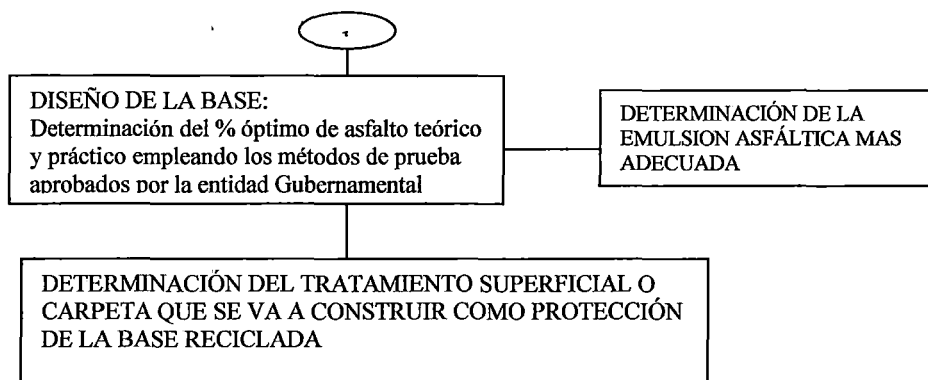


Realizar los diseños de mezcla de laboratorio para verificar resultados con el material reciclado

EXTRACCIÓN DE TESTIGOS CON DIAMANTINA DE LAS CAPAS ASFÁLTICAS REPRESENTATIVAS (Reciclado)/ MATERIAL TRITURADO (carpeta + base) (Recuperado)

- CON ASFALTO:**
- Granulometría
  - % de Asfalto
  - %Equivalente de Arena

- MATERIAL DE BASE:**
- Granulometría
  - %Equivalente de Arena.
  - Tipo de material pétreo
  - Densidad.
  - Absorción



Cuadro N° 1.1

**COMPARATIVO ENTRE RECUPERACIÓN ‘FDR’ Y RECICLAJE EN FRIO ‘CIR’**

<b><u>RECUPERACIÓN</u></b>	<b><u>RECICLAJE EN FRIO “IN SITU ”</u></b>
Full Depth Pavement Reclamation FDR	Cold in -place Recycling CIR
<b>DEL LUGAR DEL PROCESO</b>	
Se realiza en el sitio.	Se realiza en el sitio.
<b>DEL USO</b>	
El material es triturado/conformado, compactado y usado como base o capa de base sobre la cual se coloca una superficie de rodadura	El material es triturado/conformado, compactado y usado como base o capa de base sobre la cual se coloca una superficie de rodadura
<b>CAPAS INVOLUCRADAS Y ESPESORES FRECUENTES</b>	
La recuperación a profundidad total FDR siempre reutiliza toda la capa de carpeta asfáltica del pavimento existente puede también utilizarse parte del material subyacente. Frecuentemente de 15 a 25 cm	El reciclaje en frío in situ recupera solo una parte de la capa asfáltica (5 a 10 cm) de espesor



MAQUINARIA A UTILIZAR Marcas y Modelos	
<p>✓ Máquina de recuperación</p> <p>CATARPILLAR: R-250, R-350, RM-350 WIRTGEN: 1000 CR, entre otras.</p>	<p>✓ Se ejecuta con perfiladoras en frío sencillas especialmente modificadas o por trenes de reciclaje</p> <p>WIRTGEN: 2100 DCR, también CATARPILLAR: R-250, R-350, RM-350, entre otras.</p>
EL LUGAR DONDE SE TRITURA EL MATERIAL	
<p>El material pulverizado se enraza uniformemente detrás de la cámara del rotor a través de todo el ancho de dicho rotor. Los aglomerantes, rejuvenecedores, estabilizadores o agregados vírgenes adicionales se pueden mezclar con el material de recuperación.</p>	<p>El material fresado es dimensionado por una machacadora o criba grande y se mezcla asfalto emulsificado con el material de reciclaje de pavimentos. La mezcla de reciclaje fría se coloca en una pavimentadora/recolector de camellones en tándem o se esparce con una moto niveladora</p>
ADITIVOS PARA TRATAMIENTO DEL RAP	
<p>Al RAP puede agregarse durante el proceso, agua para el OCH, la ceniza de vuelo (fly ash) y cemento usando un propagador químico seco calibrado. La lima se ha aplicado en seco pero a causa del polvo, la lima se está agregando como una mezcla de cal y agua (slurry) y emulsión asfáltica. Eventualmente otro agente estabilizador</p>	<p>Primariamente son: emulsiones asfálticas del tipo lento o mediano, aceite sulfonado, cemento Pórtland.</p>
COMPACTACION	
<p>En compactación se usan diversos tipos de compactadores, dependen de la profundidad de tratamiento y el tipo de aditivo.</p>	<p>Un exitoso CIR comúnmente requerirá el uso de una compactadora pesada de ruedas neumáticas (23,000 kg o más grande) en combinación con una compactadora vibratoria de doble tambor es generalmente suficiente para obtener la densidad deseada</p>

CURADO	
Es necesario que los materiales reclamados sean curados adecuadamente Para los aditivos químicos, el proceso de curar se puede realizar con un liviano rocío de agua, o por medio del uso de un sello bituminoso de curaje, o por medio de un asfalto fluidificado de baja viscosidad y curación mediano, o con una emulsión asfáltica diluida de reducción lenta Esto permite obtener resistencias de laboratorio.	Con la estabilización bituminosa, un período de cura se requiere para que la carpeta de CIR pueda ser cubierta con una sobrecapa o con un tratamiento de superficie. La colocación de la superficie demasiado temprano resulta en que la mezcla reciclada no tiene cohesión interna suficiente, resultando en desprendimiento y aún ahuellamiento. Las carpetas de CIR pueden aguantar tránsito por algún tiempo pero se recomienda que se cubran tan pronto como es posible después de un tiempo de cura adecuado.
RIEGO DE LIGA	
FDR bituminoso con una recapa o para FDR de químico sin ningún sello de cura, un riego de liga de emulsión de reducción lenta diluida es aplicado para asegurar buen ligamento.	Tratamiento convencional entre base negra y carpeta asfáltica riego de RC.
LA CARPETA ASFÁLTICA O TRATAMIENTO	
La superficie bituminosa puede ser una mezcla asfáltica en caliente, revestimiento de mezcla fría o un tratamiento sencillo o múltiple de la superficie bituminosa si el tráfico es muy bajo	La superficie bituminosa puede ser una mezcla asfáltica en caliente, revestimiento de mezcla fría o un tratamiento sencillo o múltiple de la superficie bituminosa si el tráfico es muy bajo

ELABORACIÓN BASADA EN REF (18)

Cuadro N° 1.2

**CUATRO CLASES DE RECICLADO EN FRÍO IN SITU QUE GENERALMENTE SE MANEJAN.**

TIPO DE LIGANTE	EMULSION BITUMINOSA			CEMENTO
	I	II	III	
<b>CLASE</b>				IV
<b>DOSIFICACION</b>	4.70%	3-5%	2-4%	4-6%
<b>FIRME A RECICLAR</b>	PAVIMENTO BITUMINOSO (< 5cm) + BASE GRANULAR	PAVIMENTO BITUMINOSO (< 10cm) + BASE TRATADA O NO	MEZCLAS BITUMINOSAS	FIRMES DEGRADADOS
<b>ESPESOR (cm)</b>	8-15	8-15	8-15	15-35
<b>OBJETIVOS</b>	ESTABILIZACION Y REGULACION DEL FIRME		RECICLADO Y REGENERACION DEL LIGANTE EXISTENTE	FORMACION IN SITU DE UNA BASE TRATADA

FUENTE EN REF (6)

Cuadro N° 1.3

**ESTIMACIÓN DE COSTOS DE DIFERENTES TRATAMIENTOS DE CAMINOS**

<b>COSTO EN US \$</b>	<b>MANTENIMIENTO RUTINARIO (Km/año)</b>	<b>MANTENIMIENTO PERIODICO (km/4 años)</b>	<b>REHABILITACIÓN (Km/&gt;10 años)</b>	<b>RECONSTRUCCIÓN (Km/&gt;12 años)</b>
<b>COSTA</b>	2,700	14,000	140,000	300,000
<b>SIERRA</b>	3,400	18,000	180,000	700,000
<b>SELVA</b>	4,200	25,000	250,000	800,000
<b>* MONTO TOTAL</b>	37'680,000 c/año	200'600,000 c/4años	2,006'000,000	6,260'000,000
<b>COSTO PROM. Km/año.</b>	3,140	4,179	167,000	
<b>TOTAL A ** años</b>	263'760,000	401'200,000	2,006'000,000	

FUENTE EN REF DATOS MTC (1)

\* Para los 12,000 Km

\*\* Para mantenimiento rutinario presupuesto para 7 años



**RECUPERACIÓN EN LA CARRETERA CUSCO COMBAPATA**

Fotografía N° 1.1

**CAPÍTULO**

**2**

**ESTUDIO DEL ESTADO DEL PAVIMENTO  
EXISTENTE**

---

## CAP II ESTUDIO DEL ESTADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE

### 2.1 Generalidades

#### 2.1.1 Ubicación de la Obra:

La vía se ubica en el Sur Este del Perú, en la zona geográfica correspondiente a la Sierra, departamento del Cusco, provincias de Cusco y Quispicanchis.

El inicio del tramo se encuentra en el poblado de San Jerónimo, a unos 5 Km. al Oeste de la ciudad del Cusco y una altitud de 3,225 m.s.n.m., (km. 0+000). El final, se ubica antes de la población de Combapata a una altitud de 3,447 m.s.n.m.. La longitud total de 96.302 km.

La vía es parte de la Carretera Longitudinal de la Sierra (Ruta N. 3 Sur), que se extiende de Norte a Sur, enlazando las ciudades de Ayacucho, Abancay, Cusco, Puno y Desaguadero. De esta ruta se desprenden varias vías que conectan, departamentos de la Sierra y de la Costa hacia la vía Panamericana y, con los departamentos de la Selva.

Entre las características técnicas de la Vía, se resumen las siguientes:

Categoría de la carretera	Segundo Orden
Longitud	96.301.8 Km
Topografía del terreno	Plana y semiaccidentada
Velocidad de la vía	45 a 55 km/h
Ancho de vía	6.60 m.
Ancho de berma variable	0,45m. a 1,20 m.
Radio mínimo normal	110 m.
Radio mínimo excepcional	100 m.
Radio mínimo en zonas urbanas	20 m.
Pendiente máxima normal	7 %
Ancho de la plataforma	9.00m.
Bombeo de la calzada	2 %
Pendiente de las bermas	2 %

Dimensión de la cuneta	1.00 x 0.50 m.
Talud de relleno	1,5 H = 1 V para rellenos menores de 3 m 2 H = 1 V para rellenos mayores de 3 m
Talud de corte	De acuerdo al material

A lo largo del desarrollo de la vía, se integran las localidades siguientes:

- San Jerónimo	Km	0+000
- Saylla	Km	7+000
- Huasao	Km	8+830
- Tipon	Km	11+740
- Oropesa	Km	14+878
- Huacarpay	Km	18+370
- Lucre (Acceso)	Km	18+000
- Piñipampa	Km	26+060
- Andahuaylillas	Km	29+000
- Huaro	Km	33+580
- Urcos	Km	34+800
- Muñapata	Km	38+960
- Acceso a Pto. Maldonado	Km	39+600
- Pampachulla	Km	43+000
- Chupanhuro (Mollebamba)	Km	44+690
- Ttio	Km	51+200
- Accopata	Km	56+000
- Quiquijana	Km	59+480
- Pampacolca	Km	64+700
- Cusipata	Km	70+320
- Yaucat (Acceso)	Km	76+000
- Accobamba	Km	77+270
- Acomayo (Acceso)	Km	80+190
- Llocllora	Km	83+120
- Checcacupe	Km	87+838
- Pte. Combapata	Km	96+000

### 2.1.2 Topografía y geometría existentes:

La zona presenta una topografía plana al inicio y semiaccidentada a partir de la mitad del tramo. La vía en sus inicios se desarrolla sobre una plataforma en relleno con terrenos de cultivo a ambos lados y con la presencia del Río Huatanay al lado izquierdo de la vía que se extiende hasta el Km. 18+500 a la altura del poblado de Huacarpay, Desde Huacarpay hasta el parque arqueológico de Pikillacta, la vía se localiza sobre una topografía semiaccidentada con una pendiente ascendente, para luego descender hasta Piñipampa y continuar a la misma altura hasta Huaro. A partir de esta localidad, la vía se va tornando accidentada con la presencia de curvas cerradas y pendientes elevadas. En Urcos el eje pasa por la misma localidad y sobre calles muy reducidas, para luego tomar los puentes sobre el ferrocarril y el río Vilcanota.

Después de pasar el poblado de Urcos, el río Vilcanota discurre al lado derecho, paralelo al eje de la vía, para lo cual el desarrollo es a media ladera.

### 2.1.3 Importancia de la Vía

La importancia se debe a la interconexión con la vía de penetración Nazca – Puquio – Abancay – Cuzco, así como su continuidad con la vía Cuzco – Puno – Desaguadero (frontera con Bolivia), con proyección al departamento de Madre de Dios y con el país del Brasil, mediante la carretera Urcos – Quincemil – Puente Inambari – Madre de Dios. Este último sector es parte de la posible ruta de la carretera Transoceánica.

La vía, busca garantizar en corto plazo un crecimiento considerable en la dinámica comercial y económica de la región, mejorar la infraestructura de las comunicaciones al interior y hacia el exterior del país, buscando mejores condiciones de transitabilidad, para un transporte cómodo, seguro y económico para los usuarios, lo que se refleja, en las condiciones económicas de la sociedad.

## 2.2 Antecedentes Básicos para Evaluar el Pavimento.

La evaluación del pavimento existente se realizó mediante:

- Ensayos destructivos .-Corresponden a los estudios de suelos mediante calicatas a lo largo de la vía con los diversos ensayos.

- No destructivos .-Mediante evaluación superficial y estructural del pavimento.

La evaluación superficial se efectúa mediante los ensayos siguientes:

- Relevamiento de fallas.
- Medida del ahuellamiento.
- Medida de la rugosidad e índice de serviciabilidad.

La evaluación estructural se efectúa mediante los ensayos siguientes de Deflectometría mediante viga Benkelman simple o doble.

### 2.2.1 Evaluación de las capas del pavimento y subrasante mediante calicatas y ensayos de laboratorio

Se efectuaron excavaciones de pozos de 0.60 m de ancho, 1.00 m de largo, 1.50 m de profundidad ubicadas cada kilómetro de distancia de manera alternada al borde de la calzada. (97 pozos); en los cuales se realizaron ensayos en las capas de pavimento y suelo de subrasante, obteniéndose el perfil estratigráfico que se presenta en el Anexo 2

Asimismo, se efectuaron las excavaciones de pozos de 0.40 m de ancho y 0.80 m de largo, aproximadamente, y con una profundidad máxima de 0.60 m. Ubicándose igualmente espaciadas en un kilómetro.(167 perforaciones.)

En los pozos a nivel de subrasante se efectuaron ensayos de penetración con el Penetrómetro Dinámico de Cono, además de ensayos de densidad de campo de acuerdo al método del cono y arena, en las calicatas de 1.50 m de profundidad y en los niveles siguientes:

- a. Nivel superior de la capa de base (debajo de la carpeta asfáltica)
- b. Nivel superior de la capa de sub-base (debajo de la capa de base)
- c. Nivel de subrasante o terreno natural (0.40 m de profundidad)



Se tomaron muestras para la determinación de la humedad natural, a fin de calcular la densidad seca de los materiales del pavimento y suelos de subrasante y/o terreno natural.

En cuanto a los ensayos de CBR "in situ" , se puede indicar que en cada pozo de 1.50 m de profundidad, se determinó la capacidad de soporte del suelo de subrasante, en el nivel inferior de la capa de sub-base. En los lugares donde existió duda sobre el nivel señalado, por la existencia de terraplenes construidos con material similar al de la capa de sub-base, se efectuó el ensayo a una profundidad estándar de 0.60 m. Los ensayos de CBR in situ se efectuaron en el mismo nivel y posición que los ensayos con el penetrómetro dinámico de cono (PDC), Anexo 2, los resultados se muestran en el Cuadro N° 2.1, "CBR in situ cuadro resumen" presenta los valores por sectores, mínimos, promedios.

El muestreo de los materiales de cada una de las capas del pavimento (carpeta asfáltica, base, sub-base) y de los suelos de la subrasante existentes para obtener resultados, fueron ensayados de acuerdo a los ensayos siguientes:

- Análisis granulométrico por tamizado
- Límites de Atterberg (líquido y plástico)
- Clasificación por los métodos SUCS y AASHTO
- Contenido de humedad natural
- Densidad natural
- Próctor modificado
- CBR ( California Bearing Ratio)

## **2.3 Conclusiones de los Agregados Conformantes del Pavimento Antiguo**

### **2.3.1 Estructura del pavimento**

En general, el pavimento está compuesto por una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor y una capa de base y sub-base cuyos espesores oscilan entre 30 y 35 cm de espesor promedio. La carpeta está constituida con mezcla asfáltica en caliente, y la base de

materiales con aceptable granulometría. Sin embargo, en las capas granulares se han utilizado materiales con alto contenido de finos, pasante la malla N° 200.

Los materiales de base y sub-base corresponden a gravas bien a mal graduadas, ligeramente limosas o limosas completamente, clasificados como GW-GM, GP-GM y GM, respectivamente, de acuerdo al sistema SUCS.

Los materiales granulares se encuentran sub-compactados y los contenidos de humedad que presentan son relativamente bajos.

### 2.3.2 Suelos de Subrasante

Los resultados de los ensayos de laboratorio, en cuanto a la clasificación y plasticidad de los suelos de subrasante, son concordantes con la naturaleza y el origen aluvional y coluvial de los materiales encontrados, formando en su mayor parte terraplenes de regular potencia, y en otros, depósitos naturales asociados con la cuenca del río Vilcanota.

Los suelos de subrasante son en su mayoría gruesos, gravas bien a mal graduadas, con contenido de finos limosos o arcillas. Eventualmente se presentan arenas arcillosas y/o arcillas de baja a mediana plasticidad.

En cuanto a la capacidad portante, los ensayos de CBR in-situ han dado resultados generalmente elevados, debido a la presencia de partículas de grava en la subrasante, con tamaños nominal máximo que exceden las 2 pulgadas. Por ser suelos muy gravosos, la aplicación de los resultados con el penetrómetro dinámico de cono ha sido limitada, no habiéndose logrado establecer alguna correlación válida.

Los suelos en campo presentan características desfavorables que explican los valores de capacidad de soporte evaluados con deflectometría, con bajos valores de compactación, según los ensayos de densidad de campo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los estudios de suelos, se concluye que los valores más reales para definir la capacidad portante del suelo de fundación, son los

determinados por la deflectometría, ya que corresponden al comportamiento en conjunto del suelo y para las condiciones existentes in situ.

## **2.4 Evaluación Superficial del Pavimento**

La evaluación del estado superficial del pavimento ha comprendido:

- La evaluación de las fallas o deterioros de la superficie del pavimento, observables visualmente.
- La evaluación de la capacidad de servicio o serviciabilidad del pavimento.

En cuanto a la evaluación de las fallas del pavimento, se ha efectuado en base a la determinación detallada de todos los deterioros y fallas observables en la superficie transitable y visible del mismo, estableciéndose la ubicación, extensión y grado de severidad de los mismos. (Referencia: catálogo de fallas del Instituto Nacional de Vías de Colombia )

### **Fallas estructurales**

- Fallas asociadas a la fatiga de las capas asfálticas (fisuras transversales, longitudinales, piel de cocodrilo, bloques, nido de gallina).
- Fallas asociadas a la deformación del perfil por deformaciones plásticas acumuladas (ahuellamientos, ondulaciones y hundimientos).
- Fallas asociadas a la inestabilidad del terraplén (fisuras en arco, fisuras longitudinales y transversales).

### **Fallas Superficiales**

- Fallas asociadas a deficiencias en el diseño o fabricación de la capa asfáltica (exudación, fisura parabólica, desplazamiento de borde, peladuras, nido de gallina, fisura longitudinal de junta).
- Fallas asociadas a la calidad de los materiales y su afinidad (peladuras, nido de gallina, pulimento).

#### 2.4.1 Relevamiento de Fallas Estructurales y Superficiales

Del relevamiento de las fallas observadas en la superficie del pavimento, cuantificando la severidad, extensión y ubicación de los deterioros se tiene en Cuadro N° 2.2, “Cuantificación de Fallas” de acuerdo a la extensión realizadas a cada 50 m de longitud de pista y a todo lo ancho de la misma. El tipo de falla principal del pavimento, está asociado con la fatiga de las capas asfálticas, siendo el grupo de fisuramientos piel de cocodrilo y bloque, los de mayor incidencia. Este tipo de daños se presenta exclusivamente entre los Km. 0+000 y Km. 86+500. como muestra la Fotografía N° 2.1 “Relevamiento de fallas , fisuras mas representativas”. Entre los km. 86+500 al km. 96+358, el pavimento no presenta daños estructurales ni superficiales de importancia.

La medición sistemática de los ahuellamientos tiene en cuenta el reglado manual de todo el tramo, labor ejecutada transversalmente al eje de la calzada y cada 50 m, en las dos huellas de ambos carriles, resultando así 04 mediciones por estación. Para las mediciones se utilizó, conforme lo establece la metodología, una regla de 1.5 m de longitud, a fin de reproducir las condiciones de la sección transversal del proyecto original. Los valores mostrados en los formatos se dan en unidades de 6 mm. Para el efecto se utilizó un escantillón (ahuellómetro) con escalones de dicha dimensión, de acuerdo con los rangos de magnitud establecidos. Los rangos se muestran en el Cuadro N° 2.3, “Rango del ahuellamiento” conjuntamente con la medición de los ahuellamientos, cuyos resultados son mostrados en el Cuadro N° 2.4, “Resultados del ahuellamiento”, que incluyen el valor del promedio total y el representativo para cada tramo los mismos que se encuentran en magnitud leve e inferior a 6mm.

#### 2.4.2 Evaluación de la Serviciabilidad del Pavimento

Para evaluar la serviciabilidad del pavimento se determinó el Índice de Serviciabilidad Presente (Present Serviciability Index - PSI), el cual establece la condición funcional actual del pavimento (transitabilidad), de acuerdo a los criterios desarrollados en el experimento vial AASHTO; la cual relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad; la correlación adoptada se desarrolló usando los datos obtenidos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad en Caminos.

La ecuación que se tiene para el caso es:

$$R = 5.5 \ln (5.0/PSI), \quad \text{para } R \text{ menor que } 12$$

En la expresión anterior se tiene:

R : rugosidad en IRI (m/Km)

PSI : Índice de Serviciabilidad Presente

De acuerdo a la metodología, para determinar el PSI se debe hallar la rugosidad de la vía, la cual se ha efectuado mediante mediciones directas, utilizando el rugosímetro tipo MERLIN.

La rugosidad, se ha evaluado efectuando un recorrido completo de todo el tramo, en ambos carriles y cada 400 m de longitud. En base a los valores de rugosidad medidos, se sectorizó la vía, de acuerdo a las tendencias observadas.

El grado de transitabilidad de la vía se evaluó en función de los valores de PSI calculados, de acuerdo a los rangos que se muestran en el Cuadro N° 2.5, “Descripción del estado de una carretera en función del Índice de Serviciabilidad Presente.”.

En el Cuadro N° 2.6, “Clasificación de la Vía de acuerdo a su Sevicibilidad” presenta los resultados del cálculo de la rugosidad promedio y de la serviciabilidad, PSI y transitabilidad, deducidos en base a los valores de rugosidad, para cada uno de los tramos homogéneos seleccionados.

La presencia de fallas estructurales en el tramo comprendido entre los km 0+000 y km 86+500, se complementa con una transitabilidad de regular a mala, con un PSI indicando la necesidad de una inmediata rehabilitación.

La transitabilidad entre el km 86+500 y km 96+358 es buena, mientras que un PSI igual a 3.58 indica que la estructura puede brindar aún un período adicional de servicio; no obstante, este lapso adicional sería inferior al período de diseño contemplado por los TDR del proyecto, por lo que se concluye también sobre la necesidad de una rehabilitación, a fin de elevar la serviciabilidad a un rango óptimo (PSI mayor que 4).

La determinación analítica del PSI se ha efectuado utilizando la expresión aproximada establecida por Sayers, publicada en el manual *The Highway Design and Maintenance Standard Model*, (Volume I, Description of the HDM-III Model. Transportation Department, World Bank. Washington, D.C.), la cual relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad; la correlación adoptada se desarrolló usando los datos obtenidos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad en Caminos, realizado en Brasil en 1982.

La determinación de la rugosidad se ha efectuado mediante mediciones directas, utilizando el rugosímetro tipo MERLIN. La metodología utilizada se basa en los lineamientos contenidos en la publicación *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*, (M.W. Sayers et al. World Bank Technical Paper N° 46, 1986), y el método de ensayo establecido por el Laboratorio Británico de Transporte (TRRL), cuyos lineamientos están contenidos en el documento *MERLIN. A Low-Cost Machine for Measuring Road Roughness in Developing Countries*, (M.A. Cundill. Transportation Research Record, 1988).

### 2.4.3 Evaluación Deflectométrica

En esta evaluación se usó la base de la metodología racional (Modelo de Hogg; modelo matemático para pavimentos y sistemas computarizados para la ejecución de los cálculos) analizando, no sólo los valores obtenidos en cuanto a la deflexión máxima que utiliza el método empírico, sino además de la interpretación de la curva de deflexión obtenida de las mediciones con la Viga Benkelman. El método de análisis se orienta fundamentalmente a la determinación de las propiedades elásticas de las capas, esto es, los módulos de elasticidad del suelo subrasante y del pavimento en conjunto, para luego cuantificar el valor estructural del pavimento existente. La explicación y aplicación se puede apreciar en el capítulo VI.

## 2.5 Estudio de Tráfico

El estudio de tráfico vehicular tiene por objeto, cuantificar, clasificar y conocer el volumen de los vehículos que se movilizan por la carretera; así como conocer el origen - destino de los vehículos, efectuar el control de la velocidad de recorrido de los vehículos y el pesaje por eje de los vehículos pesados; elementos indispensables para la determinación de las características de diseño del pavimento en la carretera en estudio, así como para la evaluación económica de la carretera.

La ejecución de la rehabilitación tiene por una de sus finalidades que esta vía ofrezca una adecuada serviciabilidad con capacidad estructural para soportar el tráfico actual y el proyectado (diseño), su utilización será requerida para:

- Juzgar la capacidad estructural, donde se compara la deflexión recuperable con la obtenida con la deflexión admisible o tolerable, función del tráfico actual y/o previsto.
- La estimación de la vida útil remanente, donde se suma al factor anterior el conocimiento del tráfico pesado o soportado por la vía.
- El proyecto de refuerzo o rehabilitación donde el tránsito estimado o futuro permite establecer la deflexión de diseño, es empleado como un factor en los métodos tradicionales para diseños de pavimento.

El tráfico es un valor de difícil cuantificación, pues es el parque automotor se compone de diversos modelos de vehículos, caracterizados por distintos números de ejes de diferente configuración, número y tipo, variedad de cargas y presión de inflado de los neumáticos. Surgiendo así un “espectro de cargas”. Para tal efecto es necesario contar con información real del tráfico circulante. Considerándose el primer año de vida útil de la vía cuando esta rehabilitación halla sido concluida

Este análisis tiene por finalidad transformar el efecto que genera este espectro de cargas en Número de Repeticiones de Ejes Simples equivalentes a 8.2 Tn para períodos de análisis establecidos

## CALCULO DE LOS EAL

El calculo de la carga axial equivalente (EAL), considera el conteo del volumen , clasificación del tráfico y la composición de los ejes de estos, para cada sentido de tráfico. Estos datos se han obtenido del los Estudios de tráfico realizados en las diferentes estaciones ( E1, E2, C1) mostrados en el Gráfico N° 2.2, “Localización de estaciones de conteo de tráfico”.

El procedimiento que se utilizó para proyectar el tráfico en esta vía fue con indicadores macro económicos, expresando el factor de crecimiento, deducida de tasas de generación de viajes; en función de las variables macro económicas como el Producto Bruto Interno (PBI), la Población y el PBI por Habitante, Origen y Destinos de los camiones y el número (n) de años a proyectar.

Los datos del tránsito obtenidos de los censos volumétricos con sus correspondientes espectros de carga y su posterior procesamiento y análisis permitieron juzgar la capacidad estructural del pavimento existente y diseñar sus obras de mejoramiento. La información del tránsito se resume en los siguientes valores:

- El IMD :Índice Medio Diario ; Para convertir el volumen de tráfico obtenido del conteo, en Índice Medio Diario (IMD), se utiliza la siguiente fórmula:

$$I.M.D. = \frac{5PromLab+S+D}{7} \times F.C$$

donde:

PromLab =	Promedio de volumen de tránsito de días laborables
S =	Volumen de tránsito del sábado
D =	Volumen de tránsito del domingo
F.C. =	Factor de Corrección, obtenido de la Estación de Mayor Control, de similares características, para el mes que se ha realizado la cobertura. (Peaje de Saylla)



El IMD está basado en la composición vehicular y variación diaria con lo cual se tiene el promedio aritmético del volumen de tráfico de los siete días de conteo, a partir de los volúmenes diarios de tránsito durante un mes, para cada día de la semana .

- El IMD<sub>A</sub>: Índice Medio Diario Anual, Teniendo la operación de IMD de todos los meses el IMD<sub>A</sub> sería el promedio.

Luego el EAL se calcula multiplicando, el IMD<sub>A</sub> por 365 días del año por el factor de carga correspondiente y por la tasa de crecimiento anual.

### 2.6.1 Tráfico Pre Construcción

Los Cuadros N° 2.7, “Tasa anual de crecimiento del tráfico de la Etapa de Diseño”, el Cuadro N° 2.8, “Índice medio diario anual –Tramo Cusco-Urcos” y el Cuadro N° 2.9, “Índice medio diario anual –Tramo Urcos-Combapata”, presentan de los conteos de tráfico, los resultados del IMDA obtenidos para el año de 1997, con los que se referenció los valores de tráfico para la vía; en el Cuadro N° 2.10, “Índice medio anual antes de la rehabilitación”, presenta los resultados proyectados, considerando la existencia de otro tipo de tráfico diferente al normal o existente en la vía; tráfico generado; debido a la potencialidad económica que alcanzará la región, la cual se verá beneficiada no solo por el mejoramiento de la vía sino también por programas de desarrollo que se tienen previstos en diferentes áreas como la agrícola, industrial, turística y del mismo sector de transporte. Estimándose este tipo de tráfico en una magnitud igual al 15% del tráfico normal o existente en el primer año de operación del proyecto.

Determinándose el tráfico de diseño en ejes de 8,2 toneladas para un período de diseño de 10 años comprendido desde el año 1998 al 2007. Su valor es de:

$$EAL = 0,8 * 10^6 \text{ ejes de } 8,2 \text{ ton}$$

### 2.6.2 Tráfico Post Construcción

El tráfico posterior a la rehabilitación es mostrado en el Cuadro N° 2.11, “EAL Post Construcción” para la proyección de vida útil de 10 años considerando el inicio de su periodo de servicio en el año 2001 que presenta un incremento significativo comparado con el tráfico pre construcción 1997 del orden del 280% en EAL producto del tráfico inducido por las mejoras efectuadas .

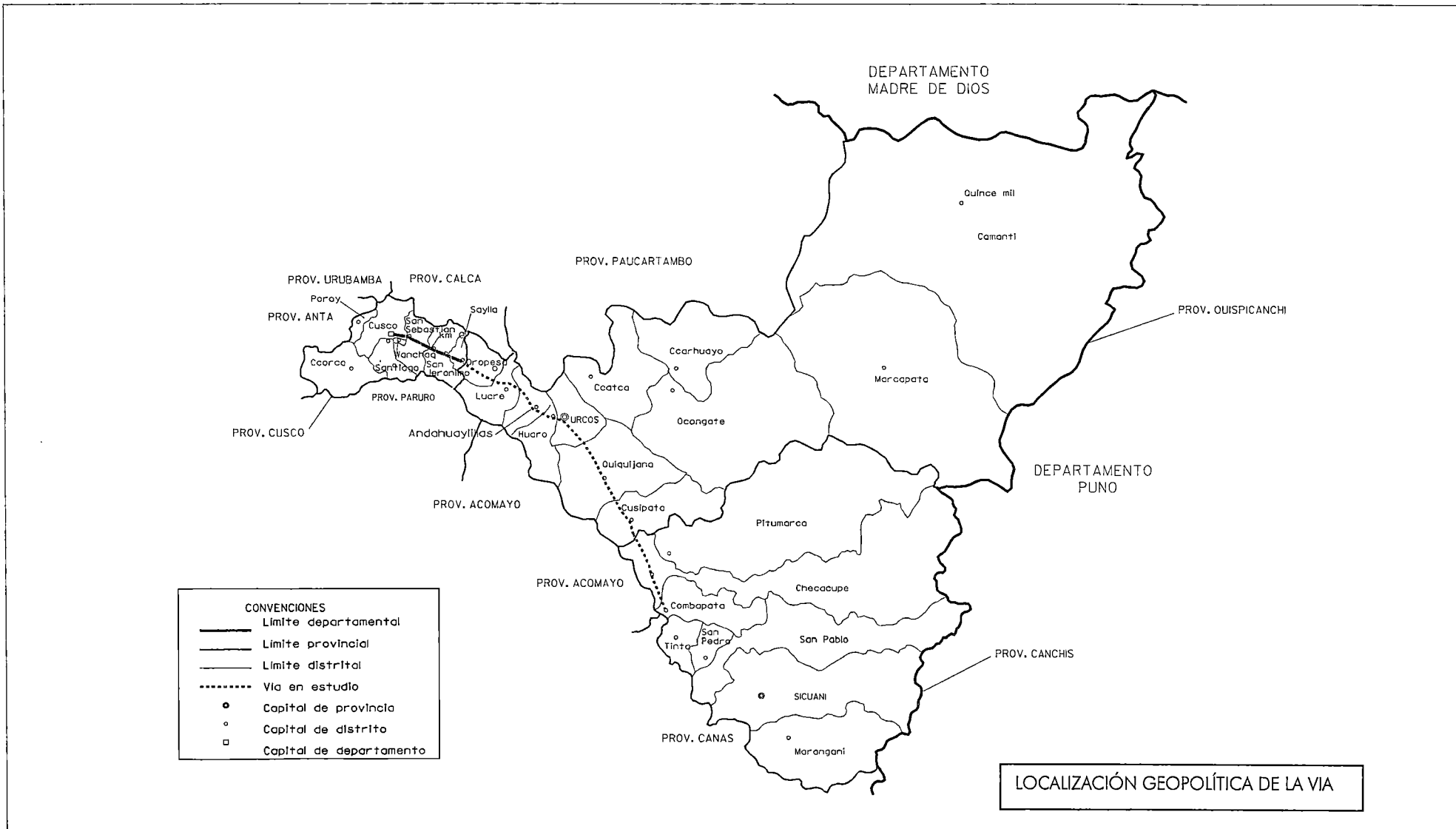
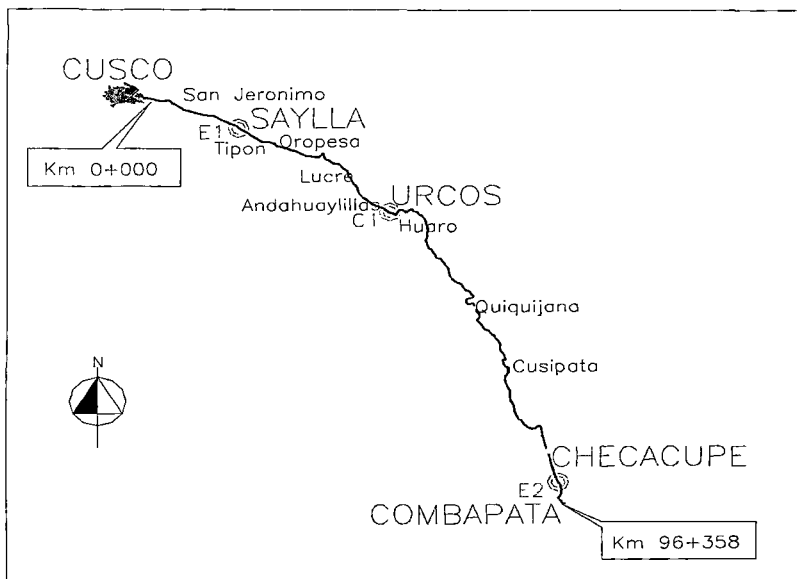


GRAFICO Nº 2.1

GRAFICO N° 2.2

**LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES DE CONTEO DE TRÁFICO**



EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES DEL TRÁFICO VEHICULAR LA CARRETERA SE SECTORIZÓ EN DOS TRAMOS: Cusco – Urcos y Urcos – Combapata

CUADRO N° 2.1

**CBR IN SITU: CUADRO RESUMEN**

SECTOR	PROGRESIVAS	CBR Min	CBR Prom	Desv Est
1	km 0+000 - km 7+000	5.9	32.5	27.9
2	km 7+000 - km 20+000	12.4	31.5	19.1
3	km 20+000 - km 45+000	5.8	33.1	22.2
4	km 45+000 - km 86+500	10.5	62.2	27.8
5	km 86+500 - km 96+358	5.8	43.4	25..1

Fuente(4) ANEXO (1)

CUADRO N° 2.2

**CUANTIFICACION DE FALLAS**

TIPO DE FALLA	POSIBLES CAUSAS	AREA AFECTADA (m <sup>2</sup> )	(% )AREA TOTAL
<b>DEFORMACIONES</b>			
Ondulaciones	Deficiencia estructural, defectos constructivos, relación estabilidad fluencia deficientes	36 963	5,82
Hundimientos	Valor de soporte no acorde con espesores(diseño estructural insuficiente, o disminución del valor de soporte por entrada de agua y/o degradación del material, o relación estabilidad fluencia insuficiente	12 986	2,04
Desplazamientos	Falta de adherencia en la capa de rodadura, Falta de contención por la bermas, contaminación de las capas granulares, baja estabilidad de la capa de rodadura.	743	0,12
Deslizamientos	Falta o exceso del riego de adherencia	17	0,003
<b>FISURAMIENTOS</b>			
Piel de cocodrilo	Consideradas falla estructural severa producidas por la fatiga del cemento asfáltico. Pavimento estable sobre subrasantes elásticas. Transito pesado para espesor de pavimento. Asfalto muy duro o en cantidad deficiente	239 514	37,68
Bloque	Causadas por la contracción del asfalto, por efecto de las variaciones cíclicas de la temperatura. Uso de asfalto de baja penetración No están asociadas a carga por fatiga. Indican que el asfalto se ha endurecido considerablemente.	139 095	21,88

Longitudinal	Mala construcción de junta en franjas de asfalto. Contracción del asfalto debido a cambios de temperatura y envejecimiento. Reflexión de las grietas del pavimento inferior por mala construcción.	129 179	20,32
Transversal	No están asociadas a tráfico y son causadas también por las anteriores condiciones, juntas de trabajo deficientes, espesor insuficiente.	62 849	9,89
<b>DESINTEGRACIONES</b>			
Peladuras	Porcentaje de asfalto deficiente, falta de adherencia asfalto – agregado o acción del agua(inadecuado drenaje superficial)	47 101	7,41
Baches	Insuficiente tarea de mantenimiento	1 007	0,16
Nido de gallina	Defectos constructivos localizados	479	0,08

Fuente(4) (16) (13)

CUADRO N° 2.3

**RANGO DEL AHUELLAMIENTO**

RANGO (mm)	MAGNITUD
$0 < a < 6$	Leve
$6 < a < 12$	Moderado
$> 12$	Severo

CUADRO N° 2.4

**RESULTADOS DEL AHUELLAMIENTO**

SECCION	AHUELLAMIENTO PROMEDIO (mm)
km 0+000- km 3+000	5,90
km 3+000- km 7+000	3,70
km 7+000- km 12+000	4,56
km 12+000- km 15+000	5,56
km 15+000- km 22+000	3,99
km 22+000- km 31+000	3,16
km 31+000- km 42+000	4,09
km 42+000- km 70+000	2,97
km 70+000- km 85+000	3,82
km 85+000- km 96+358	1,84
PROMEDIO TOTAL	3,96

Fuente(4)

CUADRO N° 2.5

**DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE UNA CARRETERA EN FUNCION DEL  
INDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE**

IRI	PSI	TRANSITABILIDAD	DESCRIPCION
15-20	0 - 1	Fallado	Carreteras asfaltadas frecuentes depresiones y baches muy profundos en carreteras no asfaltadas frecuente erosión transversal (encalaminado) y deformación longitudinal. Velocidad de conducción < 50Km/hr.
8 - 15	1 – 1.5	Pésimo	Carreteras no asfaltadas,, frecuentes depresiones profundas corrugaciones(>20mm frecuentes baches superficiales, velocidad de conducción usual <60 km/hr)
5 - 8	1 – 2	Mala	Pavimento severamente afectado con depresiones, profundas y desiguales(>20mm/3), baches frecuentemente
2.5 - 5.0	2 - 3	Regular	El pavimento muestra tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1 a 3 baches cada 50m, 2% de baches) depresiones (20 a 40 mm cada 5 m ó 10 a 20 mm cada 3m ). Velocidad normal de conducción 100 Km/hr.
1.5 - 2.5	3 - 4	Buena	Pavimentos de Concreto asfáltico de buena calidad , tratamiento superficial muy bueno , no existen baches ni corrugaciones
1.0 -1.5	4 - 5	Muy buena	Pavimentos de Concreto asfáltico de muy alta calidad , valor generalmente en aeropuertos poco común en carreteras

Escala Establecida en los Circuitos de la Carretera Experimental AASHO (1956-1960)

CUADRO N° 2.6

**CLASIFICACION DE LA VÍA DE ACUERDO A SU SERVICIABILIDAD**

SECCIONES	IRI M/KM	SERVICIABILIDAD P S I	TRANSITABILIDAD
Km. 0+000- Km. 3+000	5,90	1,71	Mala
Km. 3+000- Km.7+000	3,70	2,55	Regular
Km. 7+000- Km.12+000	4,56	2,18	Regular
Km. 12+000- Km.15+000	5,56	1,82	Mala
Km 15+000- Km 22+000	3,99	2,42	Regular
Km 22+000- Km 31+000	3,16	2,82	Regular
Km 31+000- Km 42+000	4,09	2,38	Regular
Km 42+000- Km 70+000	2,97	2,91	Regular
Km 70+000- Km 85+000	3,82	2,50	Regular
Km 85+000- Km 96+358	1,84	3,58	Buena

Fuente(4)

CUADRO N° 2.7

**Tasa anual de crecimiento del tráfico de  
ETAPA DE DISEÑO 1997**

TIPO DE VEHÍCULO	TASA (%)
Ligero	2.24
Bus	2.53
Camión	4.51

Fuente(4)

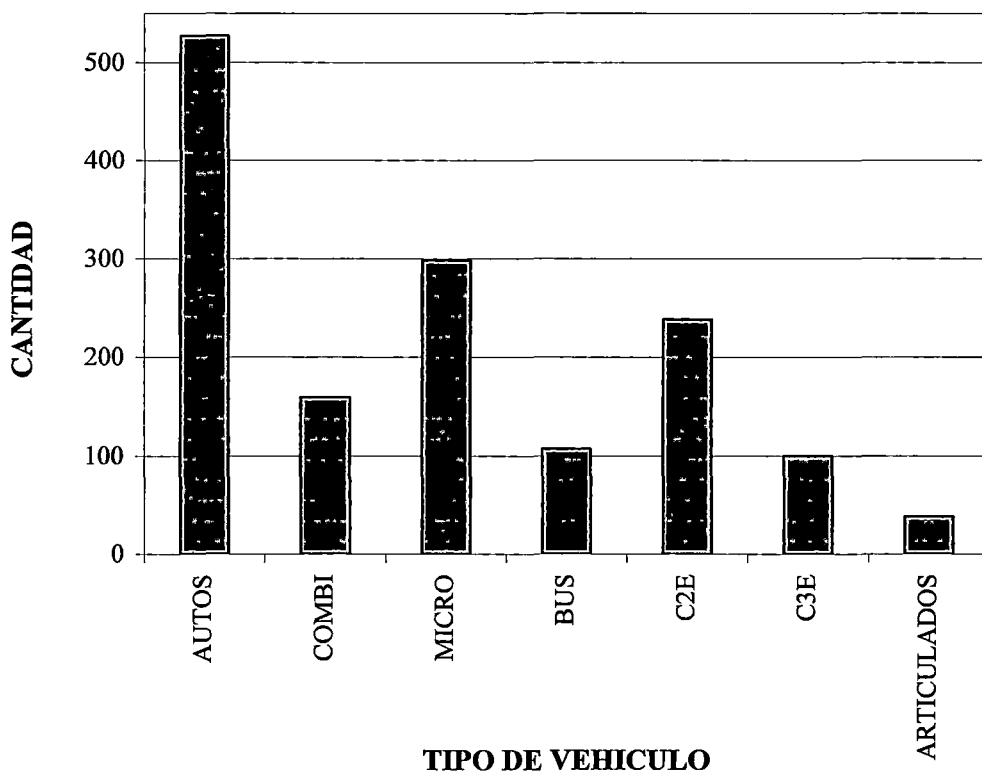


CUADRO N° 2.8

**ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL -TRAMO: CUSCO - URCOS**

Tipo	IMDA	Auto	Combi	Micro	Bus	C2E	C3E	ST/TR
<b>Total</b>	1467	527	159	298	107	238	100	38
<b>%</b>	100	36	11	20	7	16	7	3

Fuente(4)

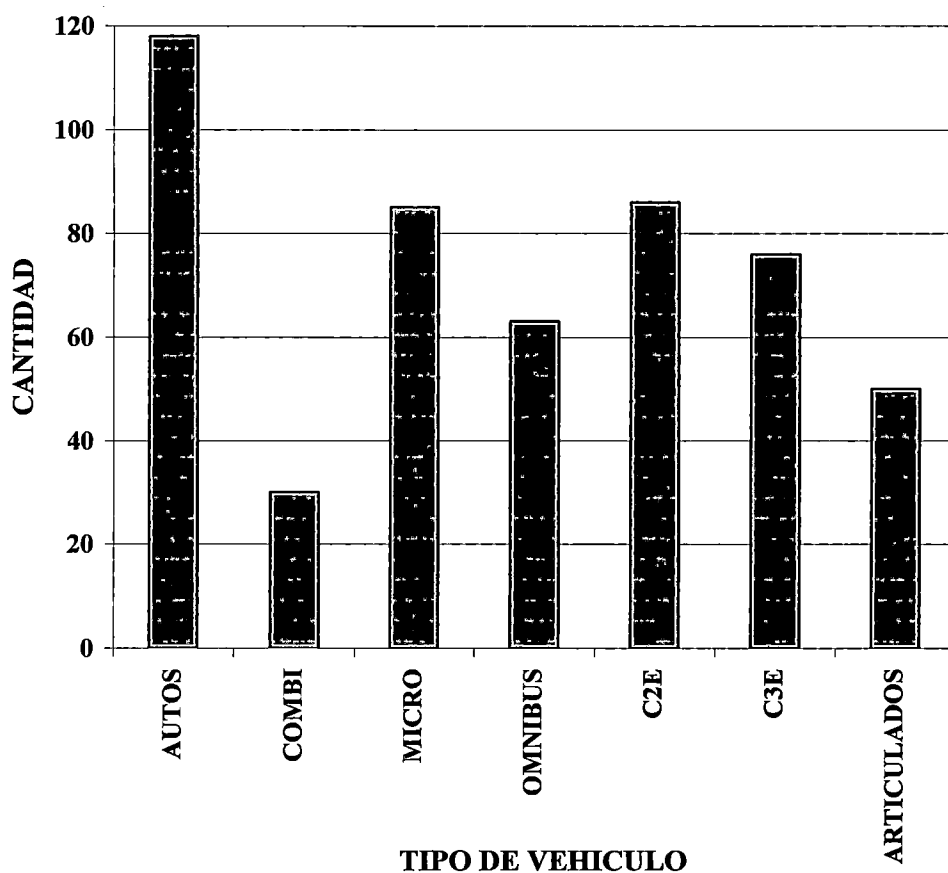


**CLASIFICACION VEHICULAR TRAMO CUSCO-URCOS**

CUADRO N° 2.9

**ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL TRAMO: URCOS - COMBAPATA**

Tipo	IMDA	Auto	Combi	Micro	Bus	C2E	C3E	ST/TR
<b>Total</b>	507	118	30	85	63	86	76	50
<b>%</b>	100	23	6	17	12	17	15	10



**CLASIFICACION VEHICULAR TRAMO URCOS-  
COMBAPATA**

CUADRO N° 2.10

## ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL ANTES DE LA REHABILITACIÓN

Año	Tramo	Cusco - Urcos	Urcos - Combapata
1997	Ligero	984	233
	Bus	107	63
	Camión	376	212
	<b>Total</b>	<b>1467</b>	<b>508</b>
1998	<u>Tráfico normal</u>		
	Ligero	1006	238
	Bus	110	65
	Camión	393	222
	<u>Tráfico generado</u>		
	Ligero	148	35
Bus	16	9	
Camión	56	32	
1998	<b>Total</b>	<b>1154</b>	<b>273</b>
	<b>Ligero</b>	<b>126</b>	<b>74</b>
	<b>Bus</b>	<b>449</b>	<b>253</b>
	<b>Camión</b>		
	<b>Total</b>	<b>1729</b>	<b>601</b>
2003	Ligero	1289	305
	Bus	142	84
	Camión	560	316
	<b>Total</b>	<b>1992</b>	<b>705</b>
2008	Ligero	1440	341
	Bus	161	95
	Camión	699	394
	<b>Total</b>	<b>2300</b>	<b>830</b>
2018	Ligero	1802	430
	Bus	207	124
	Camión	1093	616
	<b>Total</b>	<b>3102</b>	<b>1170</b>

CUADRO N° 2.11

VARIACIÓN DEL EAL 1997-2001

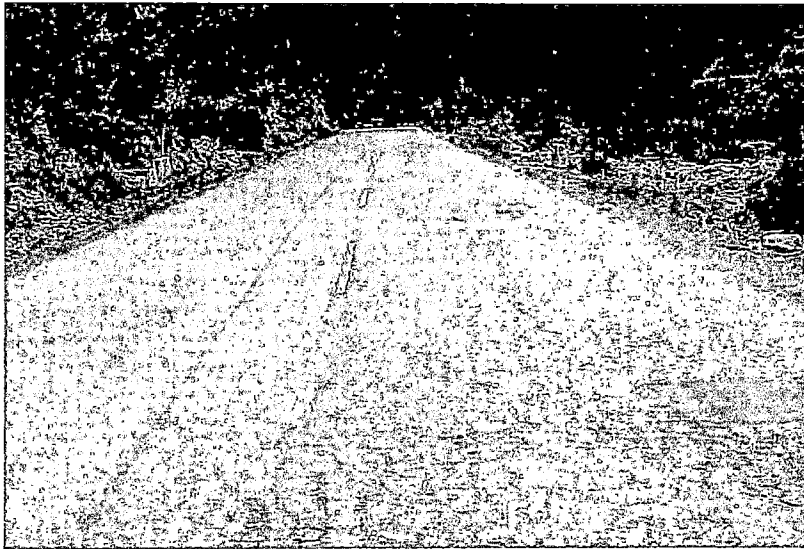
Etapas	Antes de la rehabilitación Mayo de 1997	Tráfico después de rehabilitado Dic 99- Ago 2001 Estación Saylla	Tráfico después de rehabilitado Dic 99- Ago 2001 Estación Urcos	Tráfico después de rehabilitado Dic 99- Ago 2001 Estación Checacupe
<b>PROGRESIVAS</b>	0+000 – 96+358	0+000 – 20+000	20+000 – 45+000	45+000 – 96+358
<b>EAL</b>	0.8X10 <sup>6</sup>	5.90X10 <sup>6</sup>	3.74X10 <sup>6</sup>	3.04X10 <sup>6</sup>

FOTOGRAFÍAS N° 2.1

RELEVAMIENTO DE FALLAS



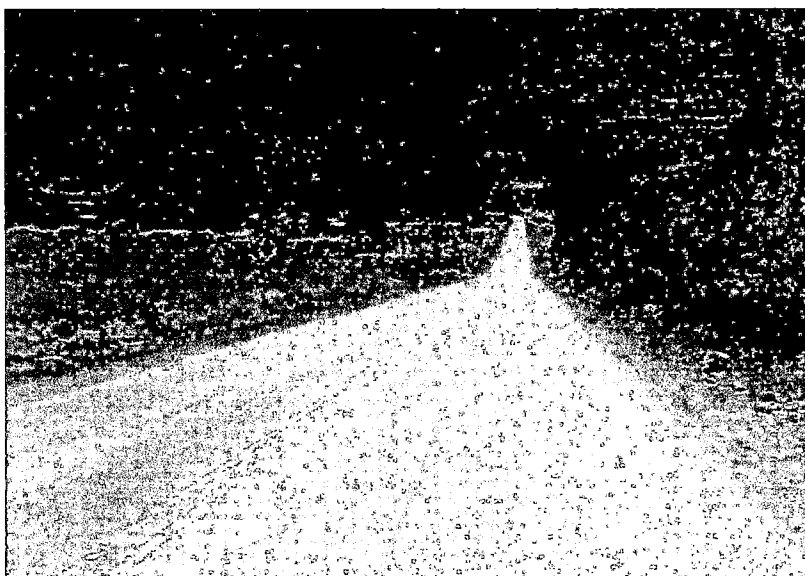
FISURAS EN BLOQUE



**FISURAS PIEL DE  
COCODRILO**



**FISURAMIENTO  
GENERALIZADO**



**FISURAS  
LONGITUDINALES**

**CAPÍTULO**  
**3**

EVALUACIÓN DE SUELOS

## **CAP III EVALUACIÓN DE SUELOS**

### **3.1 Geología y Geotecnia vial**

La vía Cusco Combapata se desarrolla por los valles de los Ríos Huatanay y Vilcanota, incluyendo una divisoria de las dos cuencas entre los kilómetros 20 y 25.

A lo largo de su trazo, la vía intercepta una geología variada, constituida por rocas de origen sedimentario y metamórfico, en variados estados de fracturamiento y meteorización, y especialmente por suelos de origen fluvio-torrencial, los cuales corresponden a grandes formaciones de tipo conoides como resultado de las diferentes corrientes de agua que son interceptadas por la vía y que descargan en los ríos Huatanay y el Vilcanota.

Las condiciones geomorfológicas a lo largo de la vía están enmarcadas dentro de los valles cuyos nombres son los mismos de los ríos que los atraviesan.

En los primeros 20 km la vía transcurre por el valle del río Huatanay, en una zona plana que puntualmente es interrumpida por pequeños cortes en roca.

Entre los kilómetros 8 al 11 y 14 al 15, se localiza una zona plana que en época de lluvia se vuelve pantanosa. En este sector se detectaron zonas bajas, con niveles freáticos prácticamente a nivel con la rasante. En este sector se construyeron filtros laterales a la plataforma.

En el km 14+600 y la localidad de Oropeza se localizan quebradas portadoras de huaycos .

Entre los km 20 y 25 se cruza la divisoria entre los ríos Huatanay y Vilcanota. Esta afecta superficialmente los depósitos coluviales y algunos conoides que a su vez producen problemas de erosión concentrada por falta de un adecuado control de las aguas de escorrentía.

Entre el km 25 y la población de Huaro, la vía transcurre por una zona plana correspondiente al valle del río Vilcanota, cuyo único problema geotécnico es la

aparición de zonas bajas con niveles freáticos altos, en los cuales se levantó la plataforma y colocó drenes paralelos a la carretera.

Entre Huaró y el puente sobre el río Vilcanota ubicado en la zona de Urcos, la vía es relativamente estable.

A partir del puente sobre el río Vilcanota hasta Combapata, la vía transcurre por la margen derecha del río Vilcanota, interceptando rocas metamórficas y pizarras principalmente. También se tienen rocas sedimentarias, localmente fracturadas y cubiertas en un alto porcentaje por depósitos coluviales y conoides. Además se observan grandes depósitos que corresponden a los conos de deyección de las diferentes corrientes que drenan hacia el río Vilcanota. En este tramo los taludes presentan en general condiciones de estabilidad satisfactoria pero afectada por procesos erosivos.

En general el problema de estabilidad más frecuente, en las laderas y en los estudios detallados de algunos sitios, corresponde a problemas erosivos, tanto laminar como concentrada, los cuales están asociados a las características de los materiales. Estos en general presentan plasticidad media a baja, al fracturamiento de la roca, especialmente de las pizarras, y al régimen hidrológico del sector, caracterizado por largos períodos de sequía, por lo cual no permiten el desarrollo de una cobertura vegetal. En los pocos meses con lluvias intensas se produce arrastre de partículas e incluso se generan huaycos. Por esta razón se realizó una serie de obras de protección geotécnicas orientadas especialmente a controlar y reducir la erosión.

Con excepción de los problemas de Muñapata y el km 41+400, no se reportaron hundimientos ni fallas en la plataforma de la vía. En estos sitios, las situaciones observadas no están asociadas directamente con un problema de estabilidad general, sino que están relacionadas más con una inadecuada conformación de los materiales. Después de la construcción del proyecto entre los km 39+300 al km 39+400, se presentó un asentamiento de la plataforma, producido por la presencia de una falla geológica profunda y localizada, la solución que se le dió en la etapa de estudio, la cual consistía en la eliminación del material existente y la conformación de un nuevo relleno además de un muro de contención de concreto armado en el talud inferior, complementado con un subdren.



En general, a lo largo de la vía se observa un fenómeno generalizado debido a la gran cantidad de material que transportan las diferentes corrientes de agua que interceptan la vía, las cuales bajan por el margen derecho y descargan al río Huatanay, en los primeros 22 kilómetros, y al río Vilcanota en el resto de la carretera. Esta condición hace necesario que las obras de paso cuenten con longitudes y gálibos importantes para facilitar el paso de los huaycos y crecientes de estas corrientes. Una de las corrientes que no presenta problemas es Cachimayo debido a que cuenta con un puente de 60 m de luz y un gálibo de más de 6 m. En las zonas críticas de Chupanhuario y Accopata se proyectaron variantes con longitudes del orden de 600 metros. Ambas incluyen la construcción de puentes. Estos se han diseñado de 30 m en una sola luz, con lo cual se garantiza una sección apropiada para el paso de huaycos.

En la variante de Chupanhuario se logra mejorar el alineamiento geométrico, a 55 metros aguas abajo de las alcantarillas existentes. La variante de Accopata, se trazó 38 metros aguas arriba del puente actual.

Aguas arriba del puente Pampacolca se ha proyectado la construcción de espolones en gaviones para la estabilización del cauce de la quebrada del mismo nombre.

### **3.2 Ensayos de agregados en laboratorio para pavimento**

Dependiendo del uso, el Laboratorio de la Oficina de Control de Calidad, hoy Oficina de Apoyo Tecnológico, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones realiza los ensayos a los agregados, presentados en el Cuadro N° 3.1, “Ensayos de Agregados en laboratorio para pavimento”

Para verificar la calidad de un determinado banco de materiales, estos deben ser sometidos a ensayos cuyos resultados deben de cumplir las Especificaciones Técnicas de Obra, los Cuadros N° 3.3, “Control de Agregados Referenciales y de Obra” y N° 3.4, “Control de husos para base y sub base (Usados en el MTC)”, presentan las Especificaciones Técnicas para materiales empleados en construcción de carreteras de la Dirección General de Caminos-Oficina de Control de Calidad del MTC.

A través de todo el trazo se han ubicado puntos donde la existencia de bancos de materiales fluvio-aluvionales constituyen las fuentes más apropiadas, ya sea por la relativa facilidad para los procesos de explotación, así como por su relativa calidad respecto a otras alternativas.

Las muestras obtenidas de calicatas de las diferentes canteras han sido sometidas a los ensayos de laboratorio que corresponden al uso asignado preliminarmente. Los ensayos ejecutados fueron:

- Análisis granulométrico por tamizado
- Límite líquido
- Límite plástico
- Próctor modificado (densidad humedad)
- C.B.R. (California Bearing Ratio)
- Abrasión en la máquina de los Ángeles
- Durabilidad en sulfato de Sodio
- Equivalente de arena
- Peso Unitario
- Absorción
- Riedel Weber
- Revestimiento Desprendimiento

Las canteras que luego de la exploración son las aceptadas por calidad y potencia se presentan en el Gráfico N° 3.1, “Diagrama de canteras” en el que se definen usos de las canteras y en el Cuadro N° 3.2, “Resumen de resultados de los ensayos de calidad de canteras” cuantifica la calidad mediante los ensayos descrito líneas arriba. Sin embargo, como regla general se encontró que los materiales naturales necesitan ser tratados para alcanzar los requerimientos granulométricos y de resistencia deseados para los usos propuestos.

### 3.3 Información de Canteras

Para la provisión del material de base granular se identificaron las canteras Collana, Saylla Piñipampa, Chimpapampa, Lucre, Urcos, Uchuymayo, Quiquijana, Combapata I y Combapata II. Los materiales de estas canteras requieren ser procesados mediante chancado y zarandeo. Además, se deberá efectuar el lavado del contenido de finos de la malla N° 200 a fin de obtener las Especificaciones Técnicas de Índice de plasticidad y Equivalente de arena.

Para la explotación de materiales a emplear en la carpeta asfáltica, se han identificado las canteras Piñipampa, Uchuymayo, Ttio, Quiquijana, Combapata I y Combapata II, siendo aptas Piñipampa y Combapata II. Los materiales deberán ser procesados mediante un adecuado sistema de chancado y zarandeo, a fin de evitar el excesivo contenido de partículas redondeadas en la fracción de grava. Asimismo, se establece que la fracción gruesa debe estar libre de polvo y elementos que dificulten la adherencia con el asfalto, por lo cual se prevé el lavado de esta fracción.

Todas las canteras indicadas para este uso de acuerdo a los resultados de los ensayos presentan deficiencia técnica en absorción, adhesividad de los agregados fino y gruesos, inclinándose con ello al uso del aditivo mejorador de adherencia que en obra, posteriormente al chancado no fue necesario su uso.

Básicamente todas las canteras son aptas para la utilización en sub-base granular, pero las que poseen material redondeado deben evitarse o triturarse. Sólo la cantera de Lucre no cumple con el ensayo de durabilidad por ello no fue utilizado en base, salvo en sub base ya que no posee especificación al respecto.

### 3.4 Puntos de aprovisionamiento de agua

Los lugares tomados como puntos de aprovisionamiento de agua, fueron aquellos de cursos permanentes y sin problemas de contaminación. Entre ellos

- Quebrada Tipón (km 12+000)
- Río Vilcanota (km 53+740)
- Río Vilcanota (km 27+320)
- Río Salcca (km 96+358)

De estos puntos se extrajeron muestras aproximadas de 01 litro, se practicaron ensayos químicos de ph, cloruros y sulfatos, que arrojaron resultados satisfactorios. Considerándose factible el uso de las aguas del río Vilcanota a lo largo de la vía.

# DIAGRAMA DE CANTERAS

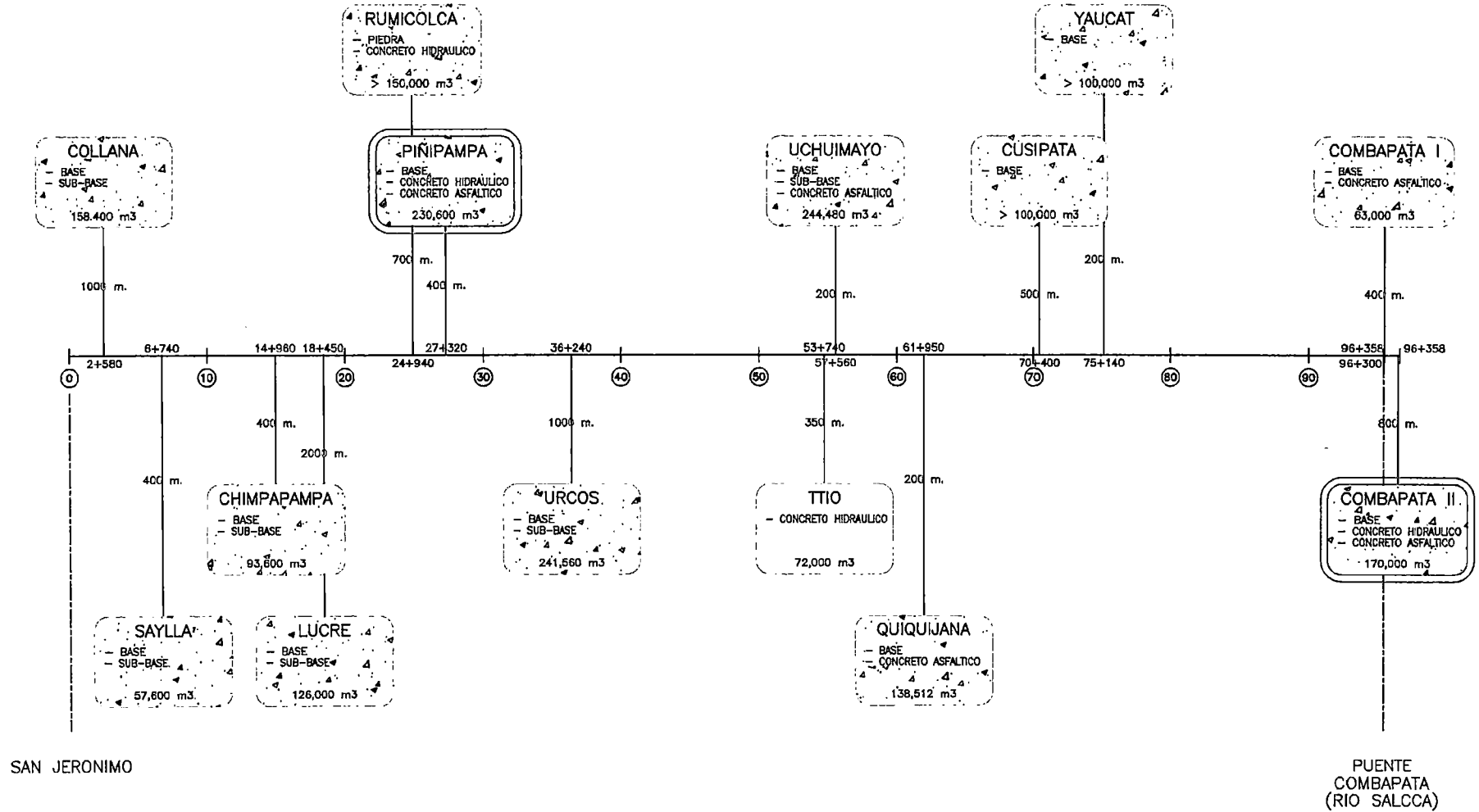


GRAFICO N° 3.1

CUADRO N° 3.1

**ENSAYOS DE AGREGADOS EN LABORATORIO PARA PAVIMENTO**

ENSAYOS	Sub base	Base Granular	Asfalto	
			Piedra	Arena
Análisis Granulométrico por Tamizado	✓	✓	✓	✓
Límites de Consistencia	✓	✓		N°40 y N°200
Equivalente de Arena	✓	✓		✓
Peso específico y abrasión			✓	✓
Peso unitario suelto			✓	✓
Peso unitario varillado			✓	✓
Abrasión	✓	✓	✓	✓
Próctor Modificado	✓	✓		
CBR	✓	✓		
Porcentaje de caras fracturadas	✓	✓	✓	
Porcentaje de partículas chatas y alargadas	✓	✓	✓	
Contenido de impurezas orgánicas	✓	✓		✓
Contenido de sales solubles totales	✓	✓	✓	✓
Adherencia (entre mallas N°3/8" y 1/4")			✓	
Riedel Weber (entre mallas N°30 y 80)				✓
Durabilidad		✓	✓	✓
Absorción			✓	✓

CUADRO N° 3.3

**CONTROLES DE AGREGADOS**

ENSAYO	*SUBBASE (RECUPERACIÓN)	SUB BASE	BASE
Límite Líquido (%) ASTM D-4318		Menor 25	Menor 25
ESPEC TEC. DE OBRA	Referencia ASTM D1423 AASHTO T-89	Igual ó Menor 25 AASHTO T-89	Igual ó Menor 25 ASTM D1423
Índice Plástico (%)		N.P. ó menor a 6	N.P. ó menor a 4
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp.	Igual ó Menor 3 AASHTO T-91	Igual ó Menor 2 ASTM D-424
Abrasión (%) ASTM C-131		Menor 50	Menor 40
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp.	Igual ó Menor 50 AASHTO T-96	Igual ó Menor 40 ASTM C-131
Equivalente de arena (%) ASTM D-2419		Mayor 30	Mayor 50 (tráfico pesado)* Mayor 35 (tráfico liviano)
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp.	Mayor 30	Mayor 40
CBR al 100% de la M.D.S. ASTM D-1883		Mayor 40	Mayor 80
ESPEC TEC. DE OBRA	Mayor de 35% para el 95% de la densidad del Próctor Modificado	Igual ó Mayor 35 ASTM D-1883	Igual ó Mayor 100 ASTM D-1883
Porcentaje de compactación del Próctor Modificado ASTM D-1557		Igual ó mayor a 100	Igual ó mayor a 100
ESPEC TEC. DE OBRA ASTM D-1557	Referencia AASHTO T-180, Método D	Igual ó Mayor 100 AASHTO T-180, Método D	Igual ó Mayor 100 ASTM D-1556
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D1422			A, B, C, ó D
ESPEC TEC. DE OBRA	Referencia ASTM D1422 AASHTO T-88	A, B, C ASTM D1422	A, B, C ASTM D1422
Caras de fractura (%)		Mayor 25	Mayor 50
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp	No Esp.	Mayor 75 Al menos 1 cara
Partículas chatas y alargadas (%) ASTM D-4791		Menor 25	Menor 20
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp.	No esp	Menor 15 ASTM D-693
Variación en el O.C.H. del Proctor Modificado (%)		±1,5	±1,5
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp.	±1,5	±1,5
Sales Solubles Totales (%)		Menor 1	Menor 1
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp.	No Esp	Igual o Menor 1

Contenido de impurezas orgánicas (%)		2.0	2.0
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp.	No Esp.	2.0
Durabilidad (%) ASTM C-88		12	12
ESPEC TEC. DE OBRA	No Esp.	No Esp.	12 ASTM C-88

- No habiéndose realizado este procedimiento anteriormente en MTC no existe referencia salvo las propias del proyecto para verificar la calidad de los materiales recuperados y adicionados .

CUADRO N° 3.4

**CONTROL DE HUSOS PARA SUB BASE Y BASE (Usados en el MTC)**

Tipo		Tipo I				Tipo II	
Gradación		A ( * )	B ( * )	C ( * )	D	E	F
Tamiz	Abertura (mm)	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa
2"	50,300	100	100				
1"	25,400		75-95	100	100	100	100
3/8"	9,525	30-65	40-75	50-85	60-100		
N°4	4,760	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
N°10	2,000	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
N°40	0,426	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
N°200	0,074	2-8	5-15	5-15	8-15	6-15	8-15

Nota.- La fracción que pasa el tamiz N°200 no debe ser mayor que dos tercios la fracción que pasa el tamiz N°40

Fuente:Standard Specification for Materials for Soil-Aggregate Subbase, Base and Surface Courses. ASTM

D-1241-68 (Reapproved 1994)

(\*) Estos usos fueron utilizados para SUBBASE en el proyecto

**CUADRO N° 3.5**  
**CONTROL DE HUSOS PARA BASE (USADOS EN EL MTC)**

<b>Muestra</b>		<b>BASE</b>							
<b>Gradación</b>		<b>Grad A (**)</b>		<b>Grad B (**)</b>		<b>Grad C (**)</b>		<b>Grad D</b>	
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa
2"	50.300	100.0	100.0	100.0	100.0				
1"	25.400	100.0	100.0	75.0	95.0 *100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.525	30.0	65.0	40.0	75.0	50.0	85.0	60.0	100.0
N°4	4.760	25.0	55.0	30.0	60.0	35.0	65.0	50.0	85.0
N°10	2.000	15.0	40.0	20.0	45.0	25.0	50.0	40.0	70.0
N°40	0.426	8.0	20.0	15.0 *10.0	30.0 *25.0	15.0 *10.0	30.0 *25.0	25.0	45.0
N°200	0.074	2.0 *2.0	8.0 *5.0	5.0 *2.0	15.0 *5.0	5.0 *2.0	15.0 *5.0	8.0	15.0

(\*\*) Estos usos fueron utilizados para Husos de BASE en el proyecto, con variaciones algunas \*



**CAPÍTULO**  
**4**

ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO

## **CAP IV ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO**

### **4.1 Descripción del procedimiento**

Para obtener el diseño de la rehabilitación de la estructura del pavimento se consideraron:

- Los resultados de la evaluación de la condición estructural y superficial en los sectores homogéneos de la vía. La cual indica deficiencia estructural y superficial.
- El Gráfico N° 4.1," Deflectograma antes de la rehabilitación: Do, Dc, Desv. Std por sectores" <sup>(4)</sup> contiene el perfil de las deflexiones corregidas en toda la longitud de la vía, con el seccionamiento establecido de acuerdo con la uniformidad de los valores de las deflexiones. Aparecen las deflexiones características, los valores de desviación estándar, número de datos, rango de valores y coeficientes de variación de cada tramo seleccionado, así como la deflexión característica y datos estadísticos por tramos.
- Análisis de la respuesta esfuerzo deformación evaluando para ello el programa DEFLEX, desarrollado por la Universidad del Cauca y el Instituto Nacional de Vías de la República de Colombia; el Radio de Curvatura, indicativo de la elasticidad, el valor de deflexión de diseño, tratando de cuantificar su respuesta a las cargas colocadas en la superficie.
- Aplicación como uno de los criterios para evaluar la capacidad estructural, el parámetro Deflexión Admisible, las fórmulas empleadas son empíricas, donde N es el número de Ejes Equivalentes utilizado para los cálculos ( $N = 0.8 \times 10^6$ ), así tenemos la evaluación de este valor para obtener la deflexión admisible; de las diferentes fórmulas; consideradas en el Cuadro N° 4.1," Deflexiones admisibles para los diversos criterios", de éstos resultados se asume una respuesta de la deflexión característica igual a  $60 \times 10^{-2}$  mm, valor conservador, que se considera aceptable para el tipo de vía que se diseña.

- La deflexión admisible, radio de curvatura para un 85% percentil, la deflexión característica de los datos analizados para cada sector, tomando siempre el promedio entre los dos carriles, se muestran en el Cuadro N° 4.2, “Resultados de la evaluación deflectométrica”.
- De acuerdo a lo presentado se concluye que el sector 5 no presenta fallas estructurales (deflexión característica menor que la admisible) ; este sector posee a diferencia de los anteriores un carpetín asfáltico de 1” de espesor, superpuesto a la carpeta que se encontró en los demás sectores de 2” de espesor. Considerándose deficiencias superficiales funcionales y motivos de homogenización de la construcción, se dió una solución similar a la de los anteriores sectores.
- El refuerzo de diseño se basa en la metodología AASHTO. Se tiene que los sectores 1, 2, 3 y 4 (km 0+000 al km 86+500) requieren un refuerzo de 4,4” (11,2 cm), que puede ser traducido a espesores de sumatorias de subbase, base, carpeta asfáltica, de diferentes espesores y/o tratamientos de acuerdo con las consideraciones de calidad, tiempo proyectado, factibilidad de recursos de la zona, entre otros.
- Mediante la utilización del programa DEPAV, implementado en Colombia por la Universidad del Cauca a partir del método ALIZE III, se hizo el modelado de la estructura existente del pavimento, con los valores característicos que se describen en las siguientes líneas:
  - Se registran los espesores promedios de las distintas capas que componen la estructura del pavimento existente: carpeta asfáltica, base granular y subbase granular.
  - Luego de realizar la exploración de la subrasante se determina el CBR de diseño tomado a partir del 85% percentil, previo análisis y depuración estadística de los datos, para luego obtener el módulo resiliente de la subrasante, que inicialmente se estima por medio de la expresión propuesta por la Casa Shell:

$$E_{\text{subrasante}} = K * \text{CBR} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

- En la anterior expresión K puede variar entre 50 y 200 .
- Para las capas granulares se determinan inicialmente los módulos de elasticidad con base en la siguiente expresión dada por la Shell:

$$E = 0.206 * h^{0.45} * E_{\text{capa subyacente}}$$

En la expresión anterior se tiene:

h: espesor de la capa granular en mm.

E:  $E_{\text{capa subyacente}}$  en  $\text{Kg/cm}^2$ .

- El módulo de elasticidad finalmente obtenido para la estructura dependerá de los resultados entregados por la modelación.
- Para la modelación de la estructura se estima un valor de módulo dinámico de la carpeta existente el cual depende principalmente del estado de fisuramiento del concreto asfáltico. El inventario de fallas aporta considerablemente en el criterio de selección del módulo. Debe mencionarse, que en los primeros cuatro sectores de la vía el fisuramiento de la vía es AASHTO clase 3, o severamente fisurado (en piel de cocodrilo y en bloque generalizado), mientras que en el quinto sector se clasifica como AASHTO clase 2, o moderadamente fisurado (fisuras longitudinales cerradas en la huella del carril derecho y fisuras transversales incipientes también cerradas, debidas éstas al alto gradiente térmico). En el Cuadro N° 4.3, “Módulos recomendados para capas asfálticas” tenemos los módulos recomendados para los diferentes estados en que encontraríamos a una carpeta asfáltica
- La diferente condición del quinto sector, se verá reflejada en un mayor módulo dinámico para la carpeta asfáltica existente, como se detalla más adelante.

- Respecto de las relaciones de Poisson ( $\mu$ ), se emplean valores dentro de los rangos recomendados en la bibliografía técnica especializada, Cuadro N° 4.4 , “Relaciones de Poisson ( $\mu$ ) para las diferentes capas”.
- La modelación se basa en la comparación de las deflexiones calculadas teóricamente con la ayuda del programa DEPAV en función de módulos elásticos y coeficientes de Poisson, los espesores de las capas que componen la estructura existente y las características de carga del eje de diseño, versus las deflexiones medidas en la estructura real con la viga Benkelman doble. En la convergencia de la comparación de deflexiones, los módulos que finalmente se obtuvieron son los siguientes: concreto asfáltico, base granular, subbase granular, subrasante .
- El Cuadro N° 4.5, “Deflexiones y radios de curvatura”, muestra estos valores obtenidos del proceso iterativo de la modelación, contra las deflexión y radio de curvatura del análisis deflectométrico para el percentil escogido.
- Con dicha modelación se obtienen los módulos de cada capa que integra la estructura del pavimento; el Cuadro N° 4.6, “Módulos dinámicos obtenidos”, muestra estos resultados, de acuerdo con los cuales la modelación de la estructura existente, en los sectores 1, 2, 3 y 4, requieren de un refuerzo. para contrarrestar las deficiencias estructurales que presenta el pavimento, lo cual se vio reflejado en los resultados del análisis deflectométrico y en los bajos módulos de elasticidad dinámicos de la carpeta de rodadura.

## 4.2 Alternativas analizadas

Dentro de las soluciones que implican mejoras estructurales se analizaron.

### **Alternativa 1.- Recuperación y refuerzo en concreto asfáltico en caliente**

Consiste en el fresado de 10 cm de la capa de base granular y los 5 cm de la carpeta asfáltica actualmente existentes. La adición de una emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento, CRL-1 o CRL-1h, previa la prehumectación de dichos materiales y

el posterior perfilado y compactación de la capa así conformada. En esta forma, se consigue una estabilización de los materiales existentes y la ganancia de poder de soporte por causa del ligante que se incorpora. El tratamiento finaliza con el sellado de la estructura mediante la construcción de un concreto asfáltico en caliente.

**Sectores 1, 2, 3 y 4 : km 0+000 al km 86 +500**

Concreto asfáltico en caliente (carpeta nueva)	= 7.5 cm
Base asfáltica reciclada en frío “in situ” (Fresado 10cm+5cm de carpeta)	= 15.0 cm
Subbase granular (20.0 cm existente + 5.0 cm base)	= 25.0 cm

**Sector 5: km 86+500 al km 96+358**

Concreto asfáltico en caliente (carpeta nueva)	= 7.5 cm
Geotextil no tejido	<hr/>
Concreto asfáltico existente	= 5.0 cm
Base granular existente	= 15.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

**Alternativa 2.- Diseño convencional sectorizado y refuerzo en concreto asfáltico en caliente.**

El diseño convencional comprende la remoción de la carpeta asfáltica fatigada. La construcción de una base granular con materiales procesados y que satisfagan unas condiciones mínimas de calidad. Finalmente la construcción de una carpeta de concreto asfáltico en caliente.

**Sectores 1 y 2: km 0+000 al km 20+000**

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 12.0 cm
Base granular convencional (nueva)	= 15.0 cm
Base granular existente	= 15.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

**Sectores 3 y 4: km 20+000 al km 86+500**

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 12.0 cm
Base granular existente	= 15.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

**Sector 5: km 86+500 al km 96+358**

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 7.5 cm
Geotextil no tejido	
Concreto asfáltico existente	= 5.0 cm
Base granular existente	= 15.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

**Alternativa 3.- Reciclaje y refuerzo en concreto asfáltico en caliente**

Es simplemente la extensión de la solución analizada para los primeros cuatros sectores al último sector de la primera alternativa, al sector 5 ( km 86+500 - km 96+358.) Su incorporación se debió a lo oneroso del geotextil contemplado en la solución.

**Sectores 1,2,3,4 y 5: km 0+000 al km 96+358**

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 7.5 cm
Base asfáltica reciclada en frío	= 15.0 cm
Subbase granular existente	= 25.0 cm

**Alternativa 4.- Fresado de carpeta asfáltica existente más adición de material de base granular y refuerzo en concreto asfáltico en caliente**

En el análisis de soluciones equivalentemente estructurales, se miró esta como una de las factibles a tenerse en cuenta. Consiste en el fresado de la carpeta asfáltica existente y la incorporación de los agregados así obtenidos a materiales con calidad de base granular, los cuales se importan desde las plantas chancadoras. El perfilado y compactación de la capa así conformada. Finalmente la construcción de una carpeta de rodadura con mezcla asfáltica en caliente.

**Sectores 1,2,3,4 y 5: km 0+000 al km 96+358**

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 7.5 cm
Fresado (carpeta asfáltica existente + 10.0 cm base granular nueva)	= 15.0 cm
Base granular existente	= 15.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

**Alternativa 5.- Fresado de la carpeta asfáltica y base granular existentes más adición de base granular nueva y refuerzo en concreto asfáltico en caliente**

Esta alternativa es mas conservadora pues deja el fresado de la base antigua conjuntamente con la carpeta asfáltica antigua como nueva sub base.

**Sectores 1,2,3,4 y 5: km 0+000 al km 96+358**

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 7.5 cm
Base granular convencional (nueva)	= 15.0 cm
Fresado (carpeta asfáltica existente + base granular existente)	= 20.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm



### **Alternativa 6.- Diseño convencional total y refuerzo en concreto asfáltico en caliente.**

El diseño convencional total requiere que sea removida toda la carpeta asfáltica existente. Luego, implica la construcción de una base granular procesada y una nueva carpeta asfáltica fabricada con mezcla asfáltica en caliente. En esta alternativa, se tiene en cuenta el dimensionamiento obtenido mediante la metodología AASHTO.

#### **Sectores 1,2,3,4 y 5: km 0+000 al km 96+358**

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 12.0 cm
Base granular convencional (nueva)	= 15.0 cm
Base granular existente	= 15.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

### **Alternativa 7.- Diseño convencional total y refuerzo en concreto asfáltico en caliente**

Esta alternativa es una variación de la que se presenta en el numeral anterior. En resumen, se reduce el espesor del concreto asfáltico de 12.0 cm a 7.5 cm.

#### **Sectores 1,2,3,4 y 5: km 0+000 al km 96+358**

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 7.5 cm
Base granular convencional (nueva)	= 15.0 cm
Base granular existente	= 15.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

### **4.3 Solución adoptada**

La elección de la solución se hizo del lado de la seguridad del proyecto en base a análisis estructural considerando composición de base, uso de carpeta asfáltica, y sub base; sectorizando soluciones, elástico; modelando las soluciones, ambiental; evitando el uso de botaderos en caso de no utilización de materiales conformantes del pavimento

antiguo, implementación del fresado, factibilidad de recursos, controles de obra, entre otros.

Finalmente, y en concordancia con los análisis antes descritos, se estableció la alternativa mencionada bajo el numeral 4.2.5 como la estructura de rehabilitación de la carretera CUSCO – COMBAPATA. Es la siguiente:

Carpeta nueva en concreto asfáltico en caliente:	= 7.5 cm
Base granular nueva	= 15.0 cm
Fresado de la carpeta asfáltica y base granular existentes	= 20.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

#### 4.3.1 Solución traducida a número estructural ASSHTO

Los espesores mínimos en pulgadas recomendados, son presentados en el Cuadro N° 4.7, “Recomendaciones ASSHTO ESPESORES–EAL”; de acuerdo con la solución adoptada traducida a Número Estructural es una referencia a compatibilizar con la metodología de modelación propuesta; considerando:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Donde:

- $a_i$  = Coeficiente de la capa “i”
- $D_i$  = Espesor de la capa (pulgadas) “i”
- $m_i$  = Coeficiente de drenaje de la capa “i”

Donde  $a_i$  = coeficientes de capa representativos.

Para: Carpeta Asfáltica = 0.17/cm

Base Granular (grava arenosa) CBR 40% = 0.04/cm

CBR 80% = 0.06/cm

Base Granular Tratada con Asfalto = 0.135/cm

Sub Base Granular (grava arenosa) CBR 40% = 0.04/cm

Para lo cual tendremos se está dentro del rango de  $2 \times 10^6 - 7 \times 10^6$  para el cual se recomienda espesores mínimos de 3.5" de carpeta asfáltica y 6" de base granular, los cuales tendrán un valor de Numero Estructural Asociado de:

$$SN_{AASHTO} = 3.5(2.54)(0.17) + 6(2.54)(0.04) = 2.121$$

$$SN_{REHABILITACION} = 7.5(0.17) + 15(0.06) + 20(0.05) + 20(0.04) = 3.975$$

Pese al incremento en los resultados de los conteos de tráfico, se tiene una estructura conservadora que sobrepasa lo requerido por especificaciones de carga.

#### **4.4 Evaluaciones elásticas**

La evaluación elástica de cada una de las alternativas descritas. Se realizó utilizando el programa DEPAV del paquete INPACO.

La evaluación elástica requiere de la clasificación del concreto asfáltico existente y del que se va a construir en el proceso de la rehabilitación. Se ha tenido en cuenta, exposición de los conceptos relacionados con la técnica de recuperación.

#### **4.5 Determinación del módulo de rigidez de la capa recuperada**

La determinación del módulo dinámico de la mezcla recuperada se hace fundamentalmente en función de la clasificación, en donde por ser abierta y tener un porcentaje de vacíos significativos, se puede asimilar a una base negra o abierta cuyo módulo varía en un rango de 4000 - 8000 Kg/cm<sup>2</sup>, dependiendo de la compacidad del material, tipo de asfalto y condición climática; de acuerdo a lo cual y teniendo en cuenta las condiciones climáticas, así como experiencias de este tipo en proyectos similares de reciclado, y algunas recomendaciones obtenidas por recientes investigaciones del Instituto Nacional de Vías de Colombia <sup>(21)</sup> se estima un valor de módulo dinámico de 6000 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### **4.6 Módulo de rigidez del concreto asfáltico**

El criterio empleado corresponde a las condiciones climáticas de la región, fabricación del concreto asfáltico con asfalto de alta penetración, obtención del módulo dinámico del carpeta asfáltica determinado con la metodología Shell,<sup>(22)</sup> como se muestra a continuación:

##### **4.6.1 Temperatura media del aire ponderada**

La temperatura del aire media ponderada (w-MAAT) para el proyecto Cusco - Combapata, se calcula promediando las temperaturas medias mensuales.<sup>(22)</sup>

Los factores de ponderación se determinan en la Gráfico N° 4.2 <sup>(4)</sup>, “Temperatura media del aire ponderada” correspondiente a la carta W del manual de diseño de la Shell, en función de las temperaturas medias mensuales.

Luego con el factor de ponderación promedio (0,35), en la misma carta W, se obtiene una temperatura ponderada del aire (w-MAAT) de 12 °C.

##### **4.6.2 Temperatura de la mezcla**

La temperatura de la mezcla se obtiene en la Gráfico N° 4.3 <sup>(4)</sup>, “Temperatura de la mezcla”, carta RT de la metodología Shell, en función de la temperatura (w-MAAT). Como resultado, se obtuvo por correlación, una temperatura de mezcla de 18°C.

##### **4.6.3 Módulo dinámico del asfalto**

Empleo de un asfalto lo menos susceptible térmicamente, con índices de penetración mayor de -0.5 (IP > -0.5) y temperaturas de penetración, T<sub>800</sub> (1/100 mm) no mayores de 40 °C.

Para calcular el módulo del asfalto se ha empleado el conocido nomograma de Van Der Poel . Gráfico N° 4.4<sup>(4)</sup> , “ Módulo dinámico del asfalto”, con los datos de entrada siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Índice de penetración IP} &= -0,5 \\ \text{Temperatura para 800 (0,01 mm) de penetración } T_{800} &= 40^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Con los parámetros anteriores se tiene:

$$\begin{aligned} T_{800} - \text{Temp. de mezcla} &= 40^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C} = 22^{\circ}\text{C} \\ \text{Frecuencia} &= 10 \text{ Hertz} \\ \text{Índice de penetración (IP)} &= -0,5 \end{aligned}$$

⇒ El módulo del asfalto es  $8 * 10^6$  Newtons/m<sup>2</sup>.

#### 4.6.4 Módulo dinámico de la mezcla

La composición volumétrica promedia de las mezclas asfálticas de acuerdo a los diseños Marshall se encuentra normalmente en los siguientes rangos:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de agregados} &= 78\% - 85\% \\ \text{Volumen de asfaltos} &= 12\% - 16\% \\ \text{Volumen de vacíos} &= 3\% - 6\% \end{aligned}$$

Con los datos promedios de volumen de agregado de 82%, volumen de asfalto de 14% y el módulo de rigidez del asfalto, se obtiene el módulo de rigidez o dinámico de la mezcla de  $1.3*10^9$  Newtons/m<sup>2</sup> Gráfico N° 4.5 <sup>(4)</sup> , “Módulo dinámico de la mezcla”.

#### 4.7. Cálculo de las deformaciones y esfuerzos admisibles

A la estructura propuesta se le deben verificar las deformaciones por tracción en la fibra inferior de la carpeta y de compresión en la subrasante, así como el esfuerzo de compresión en la misma capa de subrasante, los cuales deben ser menores a los admisibles;

Donde:

$$N = \text{tráfico de diseño} = 0,8 * 10^6 \text{ ejes de } 8,2 \text{ ton y}$$

$E_3$  = módulo resiliente de la subrasante.

- Deformación unitaria de tracción en la fibra inferior de la carpeta asfáltica  $\epsilon_\tau$  donde :

$$\epsilon_\tau = (2,5 * 10^{-3}) * N^{-0,1626}$$

$$\epsilon_\tau = (2,5 * 10^{-3}) * (0,8 * 10^6)^{-0,1626}$$

$$\epsilon_\tau = 2,74 * 10^{-4}$$

- Deformación unitaria vertical de compresión en la subrasante.  $\epsilon_z$

$$\epsilon_z = (2,1 * 10^{-2}) * N^{-0,25} \quad \text{para un nivel de confianza del 85\%}$$

$$\epsilon_z = (2,1 * 10^{-2}) * (0,8 * 10^6)^{-0,25}$$

$$\epsilon_z = 7,02 * 10^{-4}$$

- Esfuerzo de compresión admisible en la subrasante.  $\sigma_z$

$$\sigma_z = \frac{0,007 * E_3}{1 + 0,7 * \log N} \quad (\text{Kg} / \text{cm}^2)$$

Reemplazando los valores de los módulos obtenidos de la modelación de los respectivos tramos y el valor de diseño de tráfico, se obtiene el Cuadro N° 4.2, “Resultados de la evaluación deflectométrica” señalando que el menor esfuerzo lo tiene el primer sector.

#### 4.7.1 Verificación de Esfuerzos, Deformaciones, Deflexiones y Radios de Curvatura.

Se presenta en primera instancia, el cálculo de los parámetros elásticos de la solución adoptada.

##### 4.7.1.1 Cálculo de los parámetros elásticos.

De estos cálculos mostramos en el Cuadro N° 4.9, “Parámetros elásticos admisibles y calculados solución adoptada para todo el proyecto”, los resultados por sectores de deformación unitaria y esfuerzos de compresión de la carretera sin rehabilitar, valores

admisible y rehabilitada, valores calculados con las nuevas características de la solución de rehabilitación.

Las deflexiones y radios de curvatura esperados con la implementación de la solución de rehabilitación y los obtenidos en la modelación de estructuras, sin solución de rehabilitación, los tenemos en el Cuadro N° 4.10 “ Deflexiones y radios de curvatura calculados de la estructura antigua y los esperados con la rehabilitación”.

Por tanto se espera resultados de esfuerzos y deformaciones calculadas para la rehabilitación, menores que las admisibles; dada la nueva estructura. La comprobación de estos resultados, luego de la rehabilitación son mostrados en el capítulo VI.

#### **4.8 Casos Especiales del Diseño**

##### **- Zonas con Nivel Freático Crítico.**

En estas zonas que se detallan a el abatimiento del nivel freático mediante la construcción de un terraplén de 35.0 cm. El terraplén será conformado con material de base granular. Se hará el fresado de la carpeta asfáltica más la base granular con el fin de incorporar las capas estructurales existentes al nuevo diseño.

En consecuencia, en estos sectores el diseño de pavimentos se define mediante la siguiente estructura :

Concreto asfáltico en caliente (nuevo)	= 7.5 cm
Terraplén con material de base granular	= 35.0 cm
Fresado (carpeta asfáltica existente + base granular existente)	= 20.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

##### **- Zonas Urbanas**

Con el fin de no afectar las veredas en las zonas pobladas se dió una solución de rehabilitación diferente a la adoptada para estas zonas. Las siguientes son las actividades que se adoptaron :

- Remoción de la carpeta asfáltica existente.

- Reconformación de la base granular existente. Los trabajos de esta reconformación son , la escarificación del nivel superior hasta una profundidad variable entre los 5.0 y los 10.0 cm. Eventual adición de agregados pétreos procesados con el fin de mejorar la gradación de esta capa estructural. Humedecimiento y compactación.
- Imprimación.
- Construcción de una nueva carpeta con mezcla asfáltica en caliente y en un espesor de 12.5 cm. La mezcla asfáltica se extenderá y compactará en dos capas así : la primera o inferior de 7.5 cm y la segunda o superior de 5.0 cm. La mezcla a utilizar en ambas capas será tipo rodadura.

#### - **Zonas de Transición**

Considerando zonas de transición, los puentes y pontones existentes y el paso a nivel de la vía férrea (km 6+892) en los cuales se tendrá un dimensionamiento apropiado que satisfaga tanto los criterios estructurales del pavimento como de diseño geométrico de la rasante. Se ha hecho la verificación elástica de los dimensionamientos de transición en su zona crítica (sitio de contacto con la estructura). Para tal efecto, se elaboró el cálculo de acuerdo con los cinco subsectores en los cuales se subdividió la vía con base en la capacidad portante determinada en la modelación. La solución considera la remoción de la carpeta asfáltica y de las capas de base y subbase granulares y su reemplazo por una estructura equivalente a la adoptada para la rehabilitación. Para simplificar los trabajos, se adoptó una solución única, la cual comprende:

- Remoción de las capas de subbase y base granulares y de la carpeta asfáltica existentes.
- Construcción de una capa de base granular de acuerdo con las especificaciones. El espesor de la misma en su sección crítica (punto de contacto) será de 35.0 cm.
- Construcción de la carpeta asfáltica de rodadura con mezcla asfáltica en caliente en un espesor de 7.5 cm.



- **Zonas de Variantes**

Para el diseño de la estructura de pavimento en las variantes se obtuvo la siguiente estructura típica:

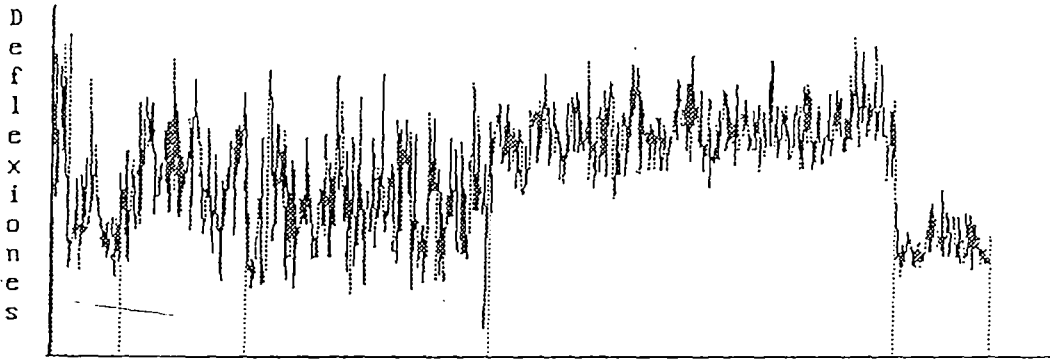
Concreto asfáltico en caliente	= 7.5 cm
Base granular	= 20.0 cm
Subbase granular	= 20.0 cm

Las Secciones obtenidas del diseño se pueden apreciar en el Anexo 2.

GRAFICO N° 4.1

DELECTOGRAMA ANTES DE LA REHABILITACIÓN : D<sub>0</sub>, D<sub>c</sub>, Desv. Std POR SECTORES

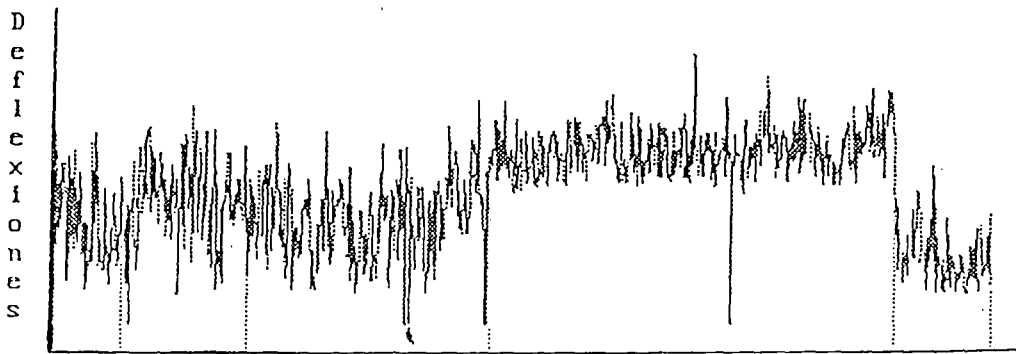
	SECCIONES		RANGO			#	Desv.		Dc	Absc.I = 0.00	Absc.F = 96300.00
	A.Inic.	A.Final	<	>	Datos		Prom.	Stand.			
1	0.0	7000.0	25	144	70	64	27.4	110			
2	7000.0	20000.0	24	132	130	76	21.5	117	No. Datos = 964		
3	20000.0	45000.0	17	127	249	61	23.4	101	Dc = 125		
4	45000.0	86500.0	64	143	415	97	13.0	132	Promedio = 77		
5	86500.0	96300.0	26	68	99	42	8.8	61	Desv.Std. = 26.8		
6									Coef.U. = 34.9		
7											
8											
9											
10											



c : 23-DER Cusco-Combapata

Carr. : Cusco-Juliaca-Desag.

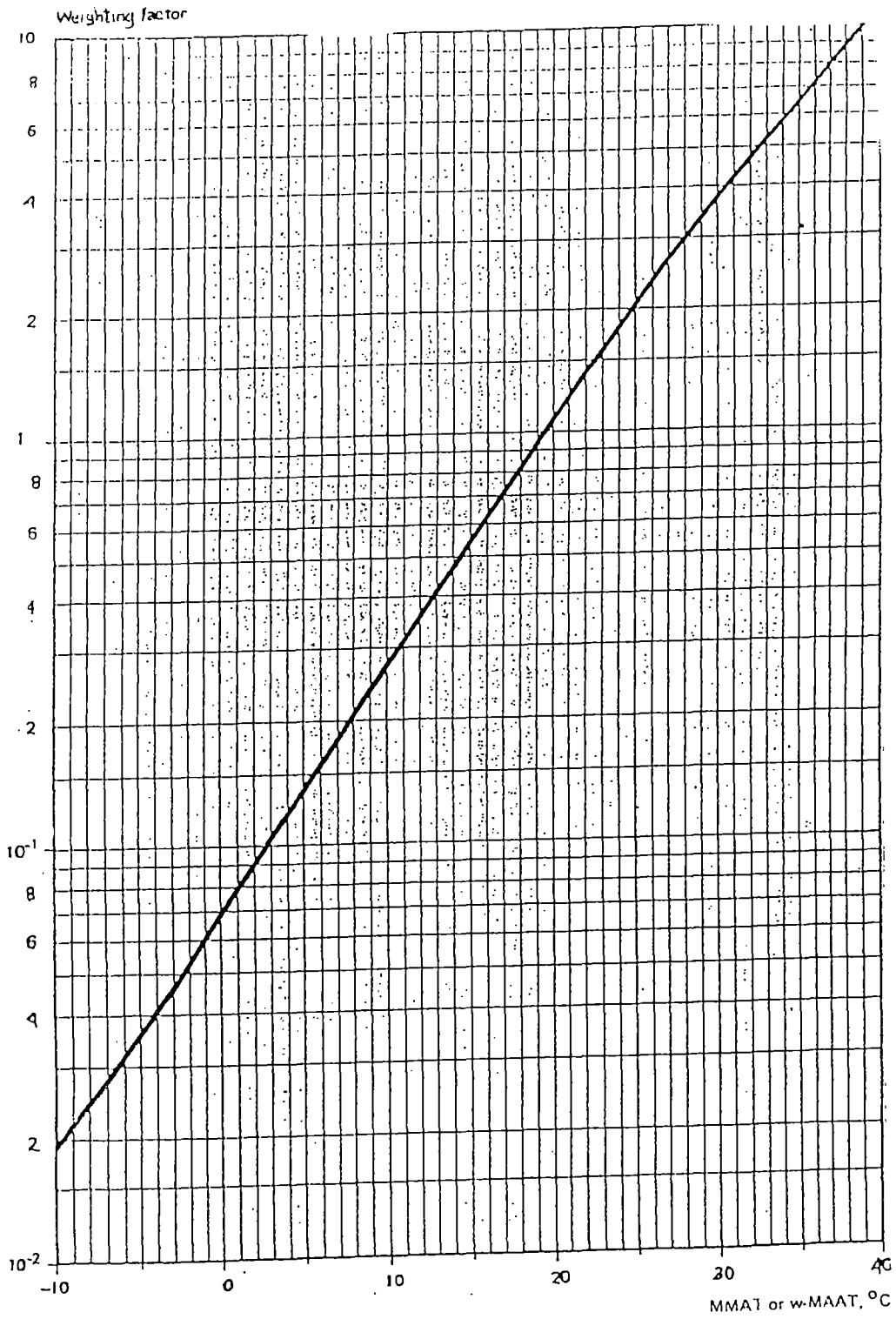
	SECCIONES		RANGO			#	Desv.		Dc	Absc.I = 50.00	Absc.F = 96350.00
	A.Inic.	A.Final	<	>	Datos		Prom.	Stand.			
* 1	50.0	7050.0	21	112	70	60	23.8	101			
2	7050.0	20050.0	18	127	129	73	22.8	115	No. Datos = 964		
3	20050.0	45050.0	19	130	245	63	21.5	101	Dc = 128		
4	45050.0	86550.0	76	165	414	101	13.2	137	Promedio = 78		
5	86550.0	96350.0	18	91	99	39	16.0	66	Desv.Std. = 28.4		
6									Coef.U. = 36.5		
7											
8											
9											
10											



c : 24-IZQ Cusco-Combapata

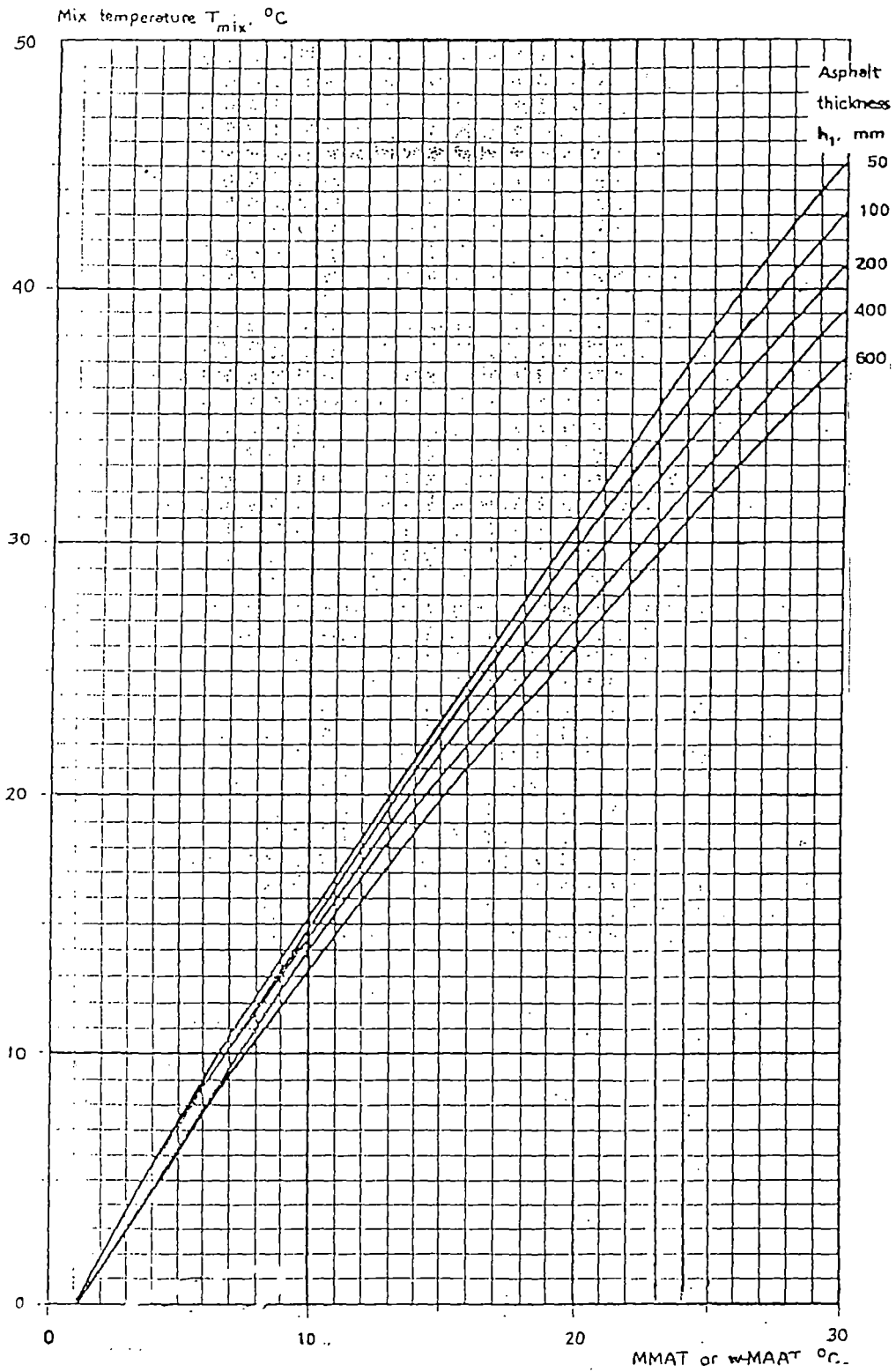
Carr. : Cusco-Juliaca-Desag.

GRAFICO N° 4.2  
 TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE PONDERADA



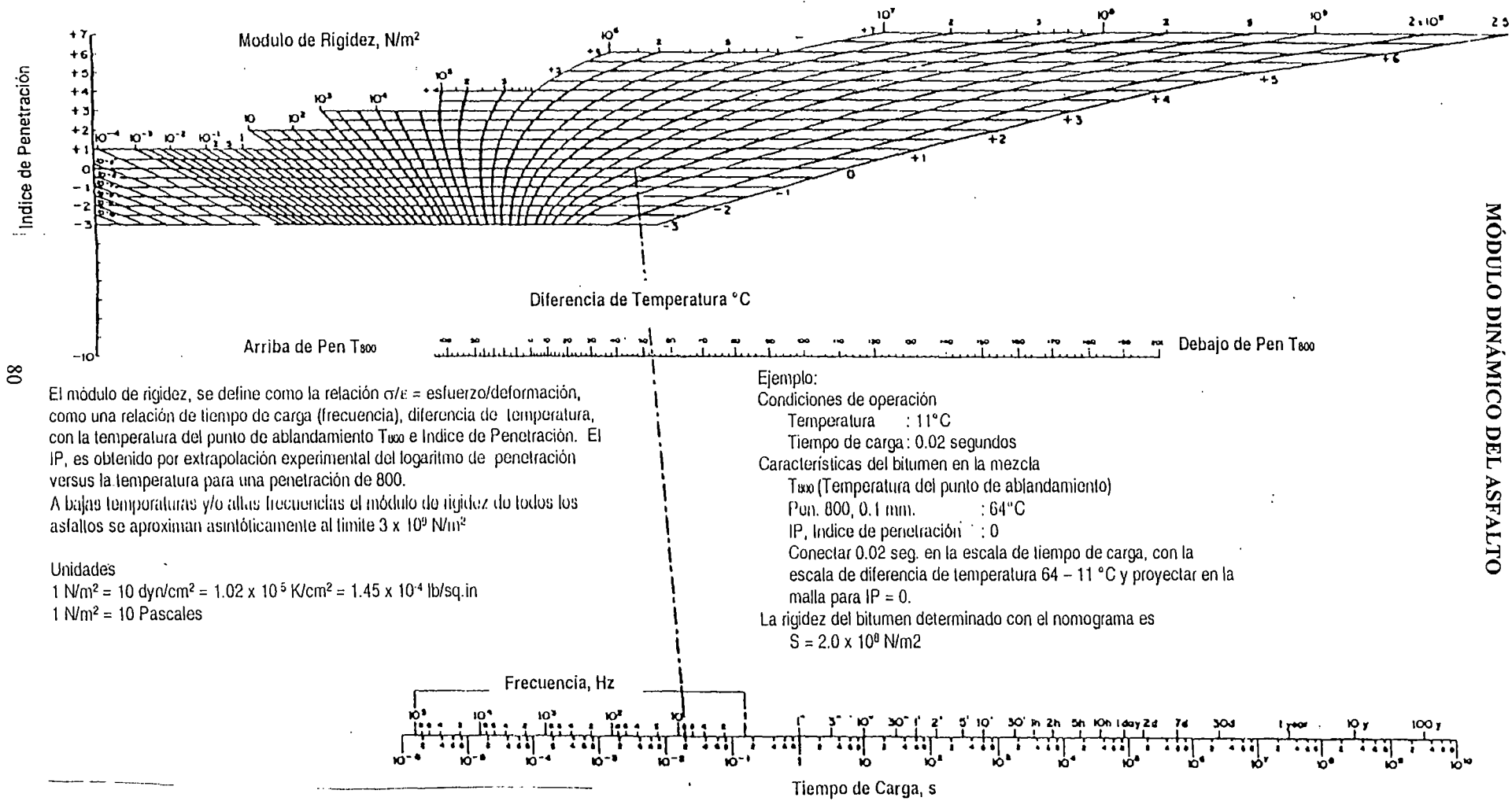
CARTA W DEL MANUAL DE DISEÑO DE LA SHELL

GRAFICO N° 4.3  
TEMPERATURA DE LA MEZCLA



CARTA RT DEL MANUAL DE DISEÑO DE LA SHELL

# NOMOGRAMAS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE RIGIDEZ DEL ASFALTO Y RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN MEZCLAS ASFALTICAS



MÓDULO DINÁMICO DEL ASFALTO

GRAFICO N° 4.4

08

El módulo de rigidez, se define como la relación  $\sigma/\epsilon = \text{esfuerzo/deformación}$ , como una relación de tiempo de carga (frecuencia), diferencia de temperatura, con la temperatura del punto de ablandamiento  $T_{800}$  e Índice de Penetración. El IP, es obtenido por extrapolación experimental del logaritmo de penetración versus la temperatura para una penetración de 800. A bajas temperaturas y/o altas frecuencias el módulo de rigidez de todos los asfaltos se aproximan asintóticamente al límite  $3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

**Unidades**

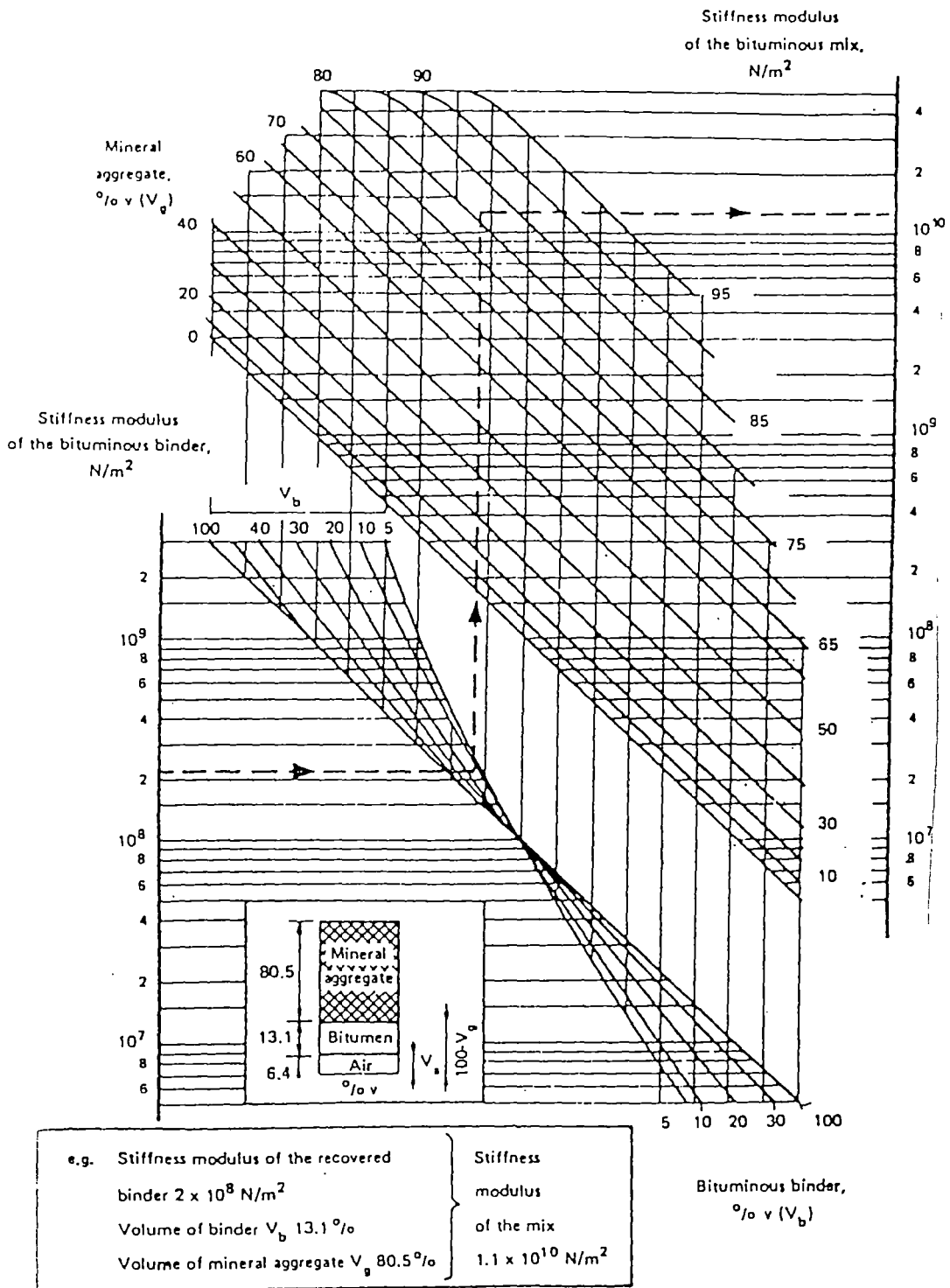
1 N/m<sup>2</sup> = 10 dyn/cm<sup>2</sup> = 1.02 x 10<sup>-5</sup> K/cm<sup>2</sup> = 1.45 x 10<sup>-4</sup> lb/sq.in  
 1 N/m<sup>2</sup> = 10 Pascales

**Ejemplo:**

Condiciones de operación  
 Temperatura : 11°C  
 Tiempo de carga : 0.02 segundos  
 Características del bitumen en la mezcla  
 $T_{800}$  (Temperatura del punto de ablandamiento)  
 P<sub>un.</sub> 800, 0.1 mm. : 64°C  
 IP, Índice de penetración : 0  
 Conectar 0.02 seg. en la escala de tiempo de carga, con la escala de diferencia de temperatura 64 - 11 °C y proyectar en la malla para IP = 0.  
 La rigidez del bitumen determinado con el nomograma es  
 $S = 2.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Nomograma del Van Der Poel, 1954 y Heukelom, 1964

GRAFICO N° 4.5  
MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA



NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DEL ESTIFFNESS DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

CUADRO N° 4.1

**DEFLEXIONES ADMISIBLES PARA LOS DIVERSOS CRITERIOS**

CRITERIO	FORMULA	DEF. ADMISIBLE (10 <sup>-2</sup> mm)
INSTITUTO DEL ASFALTO	$D_{adm} = 25,64 N^{-0.2383}$	101
CONREVAL	$D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$	109
BRASILERO	$\text{Log}(D_{adm}) = 3.01 - 0.176 * \text{Log}(N)$	94
CALIFORNIA, espesor de C.A. 50 mm	$D_{adm} = 6,237 N^{-0.165}$	66

Fuente:(16), (18)

CUADRO N° 4.2

**RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEFLECTOMETRIA**

SECTOR	PROGRESIVAS	Do (1/100 mm)	R <sub>C</sub> (m)	D <sub>c</sub> (1/100 mm)	D adm (1/100 mm)
1	km 0+000 - km 7+000	88	44	105	66
2	km 7+000 - km 20+000	99	40	116	66
3	km 20+000 - km 45+000	84	52	101	66
4	km 45+000 - km 86+500	110	84	135	66
5	km 86+500 - km 96+358	52	74	63	66

Fuente:(4)

- Do Deflexión Promedio
- D<sub>c</sub> Deflexión Característica
- R<sub>C</sub> Radio de Curvatura

CUADRO N° 4.3

**MÓDULOS RECOMENDADOS PARA CAPAS ASFÁLTICAS**

Capa asfáltica no fisurado o con menos de 5% de fisuras (calificación buena)	E= 13000 kg/cm <sup>2</sup>
Capa asfáltica con fisuramiento (calificación regular)	E= 5000 kg/cm <sup>2</sup>
Capa asfáltica con fisuramiento (calificación mala)	E= 1400 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente:(24)

CUADRO N° 4.4

**RELACIONES DE POISSON ( $\mu$ ) PARA LAS DIFERENTES CAPAS**

Concreto asfáltico y bases estabilizadas con ligante asfáltico	0.30 – 0.35
Bases estabilizadas con ligantes hidráulicos	0.25 – 0.35
Capas granulares	0.35 – 0.40
Subrasantes gruesas	0.35 – 0.45
Subrasantes finas	0.45 – 0.50

Fuente:(24)

CUADRO N° 4.5

**DEFLEXIONES Y RADIOS DE CURVATURA**

SECTOR	PROGRESIVAS	Do	R <sub>c</sub>	Do	R <sub>c</sub>
		10 <sup>-2</sup> mm	m	10 <sup>-2</sup> mm	m
		DEFLEX		DEPAV	
1	km 0+000 - km 7+000	88	44	93	44
2	km 7+000 - km 20+000	99	40	93	39
3	km 20+000 - km 45+000	84	52	70	52
4	km 45+000 - km 86+500	110	84	113	25
5	km 86+500 - km 96+358	52	74	51	67

Fuente:(4)

DEFLEX: De los resultados de Deflectometría

DEPAV: De la modelación de la estructura con los valores asumidos.

CUADRO N° 4.6

MODULOS DINAMICOS OBTENIDOS (Kg/cm <sup>2</sup> )					
SECTOR	PROGRESIVAS	Mod Carpeta Asfáltica	Mod. Base Granular	Mod. Subbase Granular	Mod. Subrasante
1	km 0+000 - km 7+000	1400	1550	1500	460
2	km 7+000 - km 20+000	2200	1600	700	635
3	km 20+000 - km 45+000	1400	2200	850	900
4	km 45+000 - km 86+500	2000	1500	1000	800
5	km 86+500 - km 96+358	5000	2700	1300	1200

Fuente:(4)



**CUADRO N° 4.7**  
**RECOMENDACIONES ASSHTO ESPESORES- EAL**

<b>TRAFICO EAL</b>	<b>CONCRETO ASFÁLTICO</b>	<b>BASE DE AGREGADOS</b>
Menor de $0.5 \times 10^5$	1.0 (o tratamiento Superficial)	4.0
$0.5-1.5 \times 10^5$	2.0	4.0
$1.5 \times 10^5 - 5 \times 10^5$	2.5	4.0
$5 \times 10^5 - 2 \times 10^6$	3.0	6.0
$2 \times 10^6 - 7 \times 10^6$	3.5	6.0
Mayor que $7 \times 10^6$	4.0	6.0

Fuente:(22)

**CUADRO N° 4.8**  
**DEFORMACIONES Y ESFUERZOS ADMISIBLES**

<b>SECTOR</b>	<b>PROGRESIVAS</b>	<b>E<sub>3</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>σ<sub>z</sub> Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	km 0+000 - km 7+000	460	0.63
2	km 7+000 - km 20+000	635	0.87
3	km 20+000 - km 45+000	900	1.23
4	km 45+000 - km 86+500	800	1.10
5	km 86+500 - km 96+358	1200	1.84

Fuente:(4)

E<sub>3</sub> = módulo resiliente de la subrasante

CUADRO N° 4.9

**PARAMETROS ELASTICOS ADMISIBLES Y CALCULADOS  
SOLUCION ADOPTADA PARA TODO EL PROYECTO**

SECTOR	PROGRESIVAS	$\varepsilon_{\tau} * (10^{-4})$		$\varepsilon_z * (10^{-4})$		$\sigma_z \text{ Kg/cm}^2$	
		Adm.	Cal.	Adm.	Cal.	Adm.	Cal.
1	km 0+000 - km 7+000	2.74	2.18	7.02	3.91	0.63	0.18
2	km 7+000 - km 20+000	2.74	2.62	7.02	3.58	0.87	0.23
3	km 20+000 - km 45+000	2.74	2.67	7.02	2.89	1.23	0.27
4	km 45+000 - km 86+500	2.74	2.24	7.02	2.99	1.10	0.25
5	km 86+500 - km 96+358	2.74	2.27	7.02	2.23	1.84	0.28

Fuente:(4)

CUADRO N° 4.10

**DEFLEXIONES Y RADIOS DE CURVATURA CALCULADOS DE  
LA ESTRUCTURA ANTIGUA Y LOS ESPERADOS CON LA REHABILITACION**

SECTOR	PROGRESIVAS	SIN REHABILITACIÓN DEFLEX		CON REHABILITACIÓN DEPAV	
		Do $10^{-2} \text{ mm}$	R <sub>c</sub> m	Do $10^{-2} \text{ mm}$	R <sub>c</sub> m
1	km 0+000 - km 7+000	88	44	57	130
2	km 7+000 - km 20+000	99	40	57	113
3	km 20+000 - km 45+000	84	52	47	115
4	km 45+000 - km 86+500	110	84	46	130
5	km 86+500 - km 96+358	52	74	35	139

Fuente:(4)



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL  
MATERIAL FRESADO

---

## **CAP V: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL FRESADO**

### **5.1 Modo de Operación de la máquina recuperadora:**

Dentro de la obra se trabajó con 2 maquinarias del mismo tipo pero de diferente potencia: la CMI RS 500 y CAT RM 350, a continuación se detalla el modo de operación de la máquina que realizó el trabajo de los kilómetros analizados:

#### **5.1.1 Recuperadora de Pavimentos CATERPILLAR RM-350:**

Es una máquina moderna la cual posee un sistema controlado por un tablero electrónico facilitando la labor de reparación mecánica ; autopropulsada, tiene un rotor o tambor de púas (compuestas por 180 porta bits y bits de carburo de tungsteno) los cuales son desmontables y pueden ser cambiados por otros de diferentes características, la potencia del equipo es de 430 HP, un peso de 221.5 Ton, la dimensión del largo del rotor es de 2.40 m, puede cortar hasta una profundidad máxima de 508 mm, hace uso de un radio de giro de maniobra de 5.05 m, para obtener la granulometría deseada se realiza una verificación inicial regulando la velocidad de maniobra, abertura de la tolva, los cuales determinan la fineza del material, la óptima humedad de compactación se calcula en los laboratorios para el suelo que se tiene, luego se indica en el tablero electrónico la cantidad de caudal a ser vertido por los aspersores dentro de la tolva, en este caso es agua, este líquido conforme se describe en el Capítulo I puede variar a emulsión asfáltica, u otros aditivos; el procedimiento en campo lo podemos apreciar en la Fotografía N° 5.1, "Vista frontal del trabajo de recuperación del pavimento de CAT RM 350" y el procedimiento del corte en el Gráfico N° 5.1, "Vista en planta del trabajo de producción del material en la recuperación" .

#### **5.1.2 Posicionamiento de la máquina y operación:**

- Se cuadra la máquina en su respectivo carril, acelerando el motor hasta 1100 r.p.m. para poner en funcionamiento el rotor con las siguientes velocidades:  
115 r.p.m.  
160 r.p.m.  
215 r.p.m.

- Para introducir el rotor a reciclar, la aceleración del motor debe de ser de 2300 r.p.m.; se empieza a bajar el rotor hacia la superficie, se controla la profundidad de corte, midiendo la salida del pistón . En este caso la profundidad de 20 cm., con salida de 47 cm. de pistón. En este caso el rotor consiguió lo deseado con 160 r.p.m. esta es la velocidad mas utilizada para las características del pavimento presentadas..
- La velocidad de trabajo de la recuperadora es en primera, se puede apreciar en el “display” de la bomba de agua la dosificación programada en 600 l/hr., también se aprecia a cuantos metros por minuto estamos cortando, en este caso para el tramo Cusco- Combapata se empleó como máximo 6 m/min y mínimo de 4.5 m/min. Esto para obtener según los materiales que varían por cantera de procedencia del material antiguo de base, una granulometría lo más graduada posible. El operador de la máquina deberá observar el cumplimiento de estos detalles.
- Para detener el corte de rotación, se levanta el rotor poco a poco hasta que esté completamente fuera del terreno de corte, se baja la aceleración del motor a 1100 r.p.m., se desconecta el mando de funcionamiento del rotor y este frenará automáticamente.
- Cambio de “bits” se realizó en zonas de berma, levantando la tolva que cubre el rotor hacia delante , se levanta la compuerta de la tolva accionando un botón. Se aprecia este procedimiento en la Fotografía N° 5.2, “Cambio rutinario de partes del tambor RM 350”.

### 5.1.3 Funcionamiento de la bomba de agua .

- La manguera de la bomba de agua debe estar conectada a la recuperadora y a la cisterna que va delante de la recuperadora.
- Se abre las llaves de la cisterna y bomba de la recuperadora.

- Se prende el control automático de agua, también se podría controlar manualmente, regulándose con un botón la salida de agua en el aspersor que se encuentra en la tolva.
- En el “display” controlable aparece que cantidad de litros estamos agregando por m<sup>2</sup>.

## **5.2 Resultados de la Evaluación en Laboratorio del material anteriores a la Rehabilitación**

Con antelación a la rehabilitación se realizó, ensayos de humedad natural, clasificación, Próctor modificado y CBR para lo cual se utilizaron materiales recuperados de la base y carpeta existentes, considerando la subdivisión de sectores homogéneos con base en la granulometría de la base existente; el Cuadro N° 5.1, “Resumen de los resultados de los ensayos efectuados a la mezcla de base granular más carpeta asfáltica existentes (Anterior a la recuperación)”, presenta el resumen de los resultados así obtenidos.

## **5.3 Observaciones de los Resultados de la Evaluación en Laboratorio del Material Fresado**

En la construcción de la capa de subbase, se tomó muestras del material recuperado así obtenido, sin adición alguna para la evaluación del material recuperado in situ en el tramo monitoreado: km 72+000 - km 78+000.

Este material es producto del procesamiento de la carpeta asfáltica y parte de la base granular, efectuado en las condiciones ya descritas. Se obtiene un aglomerado con una estructura granulométrica semi-abierta, en el Anexo 5 se muestran los ensayos realizados a este material con una apreciable resistencia mecánica en cuanto a CBR como se puede apreciar en el Cuadro N° 5.2, “Resumen de resultados: Ensayos a la mezcla de base granular más carpeta asfáltica existentes”.

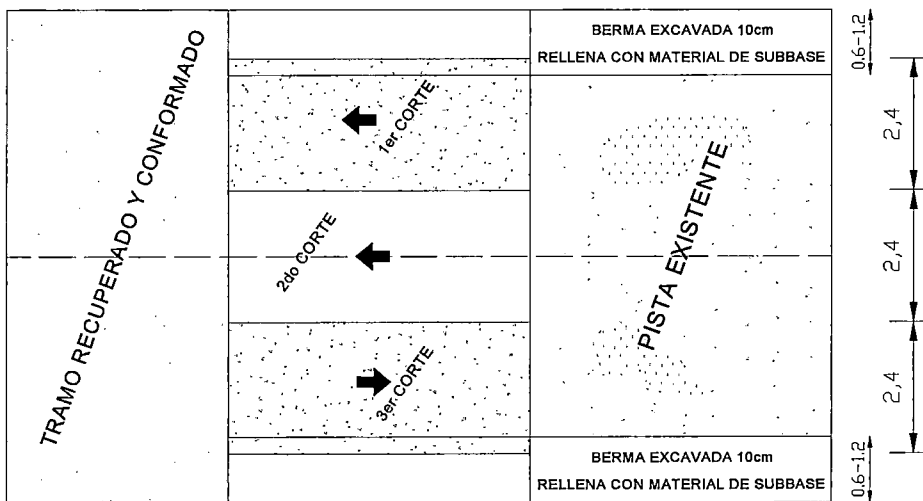
No existiendo antecedentes en el Perú, en cuanto a alguna norma, especificación (Ver Capítulo III ) o procedimiento similar para convertir este material en uno como el que la ARRA (Asphalt Recycling and Reclaiming Association) describe como recuperación a profundidad, es decir con la adición de emulsión asfáltica y tomando referencias en cuanto a base negras, se tendría un material con las características siguientes.

- En cuanto a granulometría se tendría que adicionar material virgen procesado y reprocesar para tener una curva dentro del uso granulométrico y así tener un esqueleto granulométrico uniformemente graduado.
- El anterior procedimiento deberá asegurar que el equivalente de arena sea superior a 45% cuando se utilicen emulsiones catiónicas, y a 25 cuando se utilicen emulsiones aniónicas<sup>(18)</sup>.
- La adición de emulsión asfáltica de rotura controlaría el seno de la grava, y le conferiría a esta, una determinada cohesión, que elevaría el ángulo de rozamiento interno, lo cual se ha conseguido con porcentajes de emulsión relativamente bajos. Este procedimiento es común, en lugares donde esta tecnología se viene afianzando.
- Si el material fuese a usarse en una base estabilizada el coeficiente de desgaste de Los Ángeles debería ser 30 (tráfico pesado) y 35 (resto de tráfico), con lo cual este material sería competente<sup>(18)</sup>.
- Por el IP bajo es considerado un material N.P. emulsión catiónica (N:P), y para emulsión aniónica  $IP < 10$ <sup>(25)</sup>.
- A la luz de los resultados de estos ensayos tenemos un material homogéneo, dado que este es un tramo convencional para el proyecto y en otros afines por los espesores involucrados y la calidad de materiales, sería conveniente, continuar con la evaluación a fin lograr la adopción de esta tecnología, cuando las consideraciones de costo beneficio lo permitan.

- La adición de material con especificaciones de sub base a este material dieron los resultados que se muestran en la Cuadro N° 5.3, “ Resumen de los resultados de los ensayos efectuados (En la rehabilitación)” los cuales muestran que al adicionar este material de subbase las condiciones de soporte disminuyen, pero no muy significativamente.
- El valor obtenido de CBR en estos ensayos con relación a los del muestreo antes de la rehabilitación son considerablemente mayores.

GRÁFICO N° 5.1

**VISTA EN PLANTA DEL TRABAJO DE PRODUCCIÓN DEL MATERIAL RECUPERACIÓN**





CUADRO N° 5.1

**RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS A LA MEZCLA DE BASE GRANULAR MÁS CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTES**  
(Anterior a la Rehabilitación)

DESCRIPCIÓN	SECTOR 1	SECTOR 2	SECTOR 3	SECTOR 4
Progresiva	km 0+000 km 25+000	km 25+000 km 47+000	km 47+000 km 68+000	km 68+000 km 96+358
Humedad natural (%)	4.00	2.60	3.40	4.20
Límite líquido (%)	18.00	15.11	17.52	22.25
Índice plástico (%)	NP	NP	NP	NP
Clasificación unificada	GM	GP-GM	GM	GP-GM
Próctor modificado				
• Densidad máxima (gr/cc)	2.20	2.21	2.22	2.15
• Densidad al 98% (gr/cc)	2.16	2.17	2.17	2.10
• Densidad al 95% (gr/cc)	2.09	2.10	2.11	2.04
• Humedad óptima (%)	5.51	4.62	5.30	5.70
CBR				
• Para el 100 % de la $\gamma_{\max}$	68.33	68.75	53.10	52.10
• Para el 98 % de la $\gamma_{\max}$	54.17	55.42	49.39	49.81
• Para el 95 % de la $\gamma_{\max}$	40.00	36.25	44.48	38.77

Fuente(4)

CUADRO N° 5.2

**RESUMEN DE RESULTADOS: ENSAYOS EFECTUADOS A LA MEZCLA DE BASE GRANULAR MÁS CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTES (En la Rehabilitación)**

ANÁLISIS DEL MATERIAL FRESADO :RECUPERADO IN SITU TRAMO MONITOREADO: km72+000 - km78+000																	
Progresivas		Tamaño máximo	Análisis Granulométrico Porcentajes que pasan tamiz							LL	IP	EA	AASHTO	PROCTOR		CBR	
Del Km	Al Km		2"	1"	3/8"	N 4	N 10	N 40	N 200					Dmax	h opt	1,0	0,95
72+000	73+000	2"	100,0	97,3	70,9	50,8	34,8	18,1	9,7	19,5	2,4	40,0	A-1-a(0)	2,29	5,60	100	77
73+000	74+000	2"	100,0	95,7	78,2	63,7	43,5	21,1	10,5	17,0	1,4	40,0	A-1-a(0)	2,25	5,50	85	25
74+000	75+000	2"	100,0	98,7	76,8	60,0	41,9	20,1	9,7	20,3	3,1	41,0	A-1-a(0)	2,18	5,80	104	65
75+000	76+000	2"	100,0	97,8	76,7	59,6	40,4	18,3	8,2	18,8	1,8	42,0	A-1-a(0)	2,26	6,00	105	59
76+000	77+000	2"	100,0	96,0	76,6	63,1	48,9	24,6	10,1	20,5	3,3	39,0	A-1-a(0)	2,27	6,00	103	52
77+000	78+000	2"	100,0	96,4	76,4	58,6	44,8	22,5	10,2	19,8	3,8	41,0	A-1-a(0)	2,26	6,00	97	76
<b>n</b> <b>Σ</b> <b>Xp</b> <b>MIN</b> <b>MAX</b> <b>DESV. ESTANDAR</b> <b>VARIANZA</b>			6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		6	6	6	6
			600	582	379	356	254	125	58	116	14	243		34	35	594	354
			100,0	97,0	75,8	59,3	42,4	20,8	9,7	19,3	2,8	40,5		5,6	5,8	99,0	59,0
			100,0	95,7	70,9	50,8	34,8	18,1	8,2	17,0	1,4	39,0		2,2	5,5	85,0	25,0
			100,0	98,7	78,2	63,7	48,9	24,6	10,5	20,5	3,8	42,0		22,3	6,0	105,0	77,0
			0,0	1,2	2,8	4,6	4,7	2,5	0,8	1,3	0,9	1,0		8,2	0,2	7,5	19,3
			0,0	1,3	8,0	21,4	22,2	6,3	0,7	1,7	0,9	1,1		66,7	0,0	55,6	370,8

Fuente: elaboración propia

CUADRO N° 5.3

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EFECTUADOS : ( En la Rehabilitación )

ANÁLISIS DEL MATERIAL DE SUBBASE EN PISTA: FRESADO :RECUPERADO IN SITU + MATERIAL CON ESPECIFICACIONES DE SUBBASE: TRAMO MONITOREADO: km72+000 - km78+000																	
Progresivas		Grado de mafto máximo	Análisis Granulométrico Porcentajes que pasan tamiz							LL	IP	AASHTO	PROCTOR		CBR 0,95		
Del Km	Al Km		2"	1"	3/8"	N 4	N 10	N 40	N 200				Dmax	h opt			
72+000	72+500	2"	100,0	92,4	92,4	56,6	40,8	23,5	10,7	17,1	1,5	A-1-a(0)	2,29	5,80	55		
72+500	73+000	2"	100,0	89,6	89,6	57,5	41,9	23,1	11,3	17,3	2,2	A-1-a(0)	2,29	6,00	50		
73+000	73+500	2"	100,0	85,8	85,8	53,6	42,5	23,3	10,7	19,1	3,9	A-1-a(0)	2,29	5,90	51		
73+500	74+000	2"	100,0	95,5	95,5	59,8	47,6	25,7	11,4	18,3	2,1	A-1-a(0)	2,29	6,00	52		
74+000	74+500	2"	100,0	85,9	62,9	50,2	41,0	21,3	9,8	19,1	2,4	A-1-a(0)	2,29	6,60	53		
74+500	75+000	2"	100,0	83,5	62,0	49,7	36,6	17,7	8,2	18,6	2,9	A-1-a(0)	2,29	7,00	86		
75+000	75+500	2"	100,0	90,1	66,5	51,6	40,4	15,6	7,7	18,8	2,6	A-1-a(0)	2,29	7,10	46		
75+500	76+000	2"	100,0	90,7	68,2	55,6	41,7	19,7	9,2	18,0	2,2	A-1-a(0)	2,29	6,90	49		
76+000	76+500	2"	100,0	90,1	69,6	56,0	41,9	18,7	8,4	19,9	3,2	A-1-a(0)	2,29	6,10	53		
76+500	77+000	2"	100,0	80,2	55,3	45,9	36,8	15,2	6,3	17,8	1,9	A-1-a(0)	2,29	6,20	63		
77+000	77+500	2"	100,0	70,4	49,8	41,3	32,8	14,7	6,0	19,1	2,4	A-1-a(0)	2,29	6,10	60		
77+500	78+000	2"	100,0	85,4	59,2	45,0	39,5	19,1	10,0	18,9	2,5	A-1-a(0)	22,26	6,40	61		
<b>n</b> <b>Σ</b> <b>Xp</b> <b>MIN</b> <b>MAX</b> <b>DESV. ESTANDAR</b> <b>VARIANZA</b>			12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12	
			1.200	947	857	623	484	214	99	205	30				47	76	679
			100,0	86,1	71,4	51,9	40,3	19,5	9,0	18,6	2,5				4,0	6,3	56,6
			100,0	70,4	49,8	41,3	32,8	14,7	6,0	17,1	1,5				2,3	5,8	46,0
			100,0	95,5	95,5	59,8	47,6	25,7	11,4	19,9	3,9				22,3	7,1	86,0
			0,0	6,7	15,5	5,7	3,7	3,6	1,9	0,8	0,6				5,8	0,5	10,6
			0,0	44,2	239,4	32,1	13,5	13,1	3,5	0,6	0,4				33,2	0,2	111,9

Fuente: Basado en archivos de supervisión obra

FOTOGRAFIA N° 5.1

**VISTA FRONTAL DEL TRABAJO DE RECUPERACIÓN DEL PAVIMENTO DE  
CAT RM 350**



Trabajo en zonas rurales, profundidad de recuperación 20 cm

FOTOGRAFIA N° 5.2

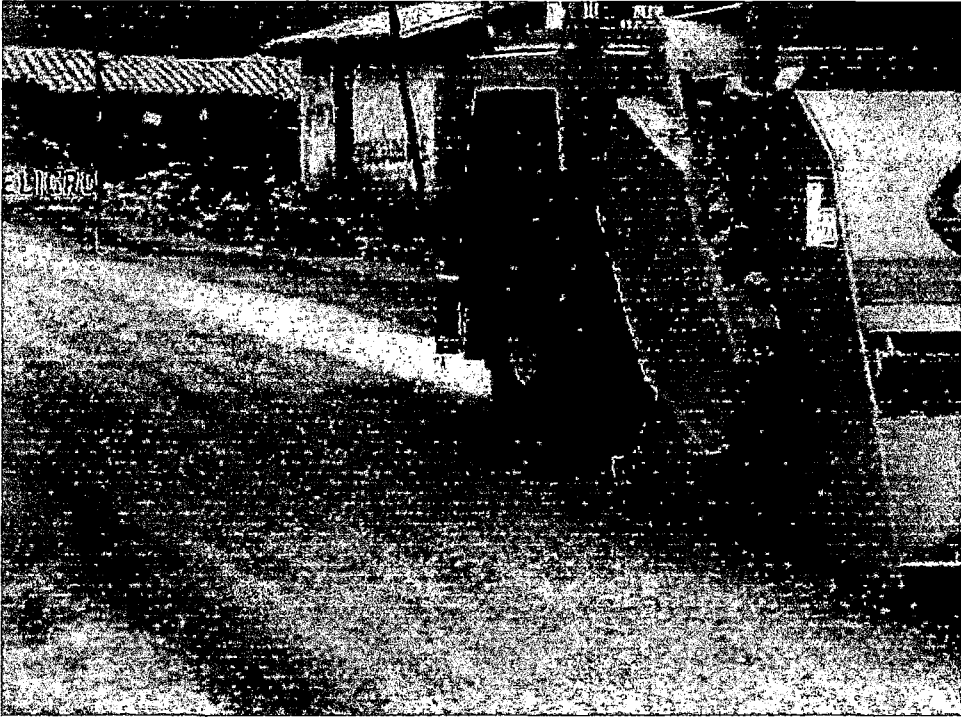
**CAMBIO RUTINARIO DE PARTES DEL TAMBOR RM 350**



Verificación y cambio de bits al costado de la berma,  
trabajo mecánico de rutina en una jornada

FOTOGRAFIA N° 5.3

**RECUPERACION EN ZONAS URBANAS**



**CAPÍTULO**

**6**

**DEFLECTOMETRÍA: VIGA BENKELMAN  
PARA EL CONTROL**

---

## **CAP VI DEFLECTOMETRIA: VIGA BENKELMAN PARA EL CONTROL**

### **6.1 Introducción**

Este capítulo presenta alcances de la metodología para la evaluación estructural del pavimento, resultados de la evaluación deflectométrica, consistiendo, básicamente en la verificación de los parámetros calculados del sistema pavimento-subrasante en la vía rehabilitada, estos valores servirán de referencia en obras de este tipo y constituyen un precedente de la misma para posteriores mantenimientos y/o rehabilitación.

### **6.2 Alcances de la metodología**

La deflexión en un sistema pavimento subrasante es parte del carácter elástico, pero también intervienen esfuerzos plásticos. Los primeros desaparecen en cuanto se remueven las cargas, mientras que los segundos son permanentes, y su acumulación a través de las reiteraciones de las cargas produce las distorsiones o ahuellamientos en la superficie del pavimento. Por este motivo debe distinguirse :

- La Deflexión Permanente: es la diferencia entre la posición original de la superficie antes de aplicar la carga y después de retirada.
- La Deflexión Elástica: es la deformación vertical arriba debido a la recuperación de la superficie que se produce al retirar la carga.
- La Deflexión Total : Es la suma de la deformación permanente y la deformación elástica.

La atención está en la medida de las deflexiones elásticas, ya que cuantifican la deformabilidad de las estructuras por elasticidad instantánea.

La deflexión corresponde a la deformación del pavimento y su apoyo hasta profundidades que superan el metro, siendo en la subrasante donde ocurre la mayor parte de la misma, dependiendo de un conjunto de variables como espesores de capas

estructurales, rigidez de la subrasante, rigidez relativa de cada capa con respecto a la subyacente, drenaje, historia previa de la estructura entre otros.

El uso de la medida de las deflexiones, fue iniciada por AASHO, quienes con la Viga Benkelman y una carga estándar; desde la década de los 50; consiguieron obtener una relación de la deflexión máxima y el comportamiento del conjunto pavimento y subrasante, posteriormente fue presentada en “La Cuarta Conferencia Internacional de Proyectos Estructurales de Pavimentos Flexibles, Ann Arbor- Michigan-1977”, bajo el Título “Modelo Elástico Simple para Evaluación de Pavimentos usando la Medida de Deflexión, Bowls-Wiseman, Vzan, Hoffman, Ishai, Liuneh” ; investigación en la que se dan nomogramas prácticos de evaluación de la curva de deflexión obtenida con cada punto de carga, definiendo mejor las características del pavimento. Lográndose el surgimiento de nuevos equipos como el acondicionamiento de la Viga Benkelman, Deflectógrafo Lacroix y FWD (Falling Weight Deflectometer), este último muy usado a nivel internacional actualmente, el cual posee otro mecanismo basado en la obtención de la curva al aplicar una carga dinámica en el pavimento y el uso de geófonos, del cual también se tienen correlaciones con los resultados de Viga Benkelman, por haber este método acumulado experiencia a lo largo de 45 años; sin embargo estos son más costosos que el modelo de viga para nuestro medio.

Dependiendo de la forma como se lleva a cabo el análisis de las deflexiones medidas, las metodologías para tal fin se dividen en empíricas (base estadística) y en racionales (base mecánica).

Las metodologías empíricas, basadas en el valor de la deflexión máxima, son rápidas y de fácil aplicación, pero sus resultados son confiables en la medida que exista una calibración en base a la experiencia, que permita relacionar en forma consistente las formulaciones establecidas en otras obras similares.

Las metodologías racionales utilizan el valor máximo de la deflexión y el análisis del tipo de curvatura "Curva de deflexión", que adopta la superficie cargada en los ensayos, considerando además factores tales como clima, materiales, tipo y estado del suelo, entre otros, propios del proyecto, analizados bajo un enfoque estadístico.



Desde hace algo más de una década se viene utilizando en nuestro país, tanto por parte del Ministerio de Transportes como por entidades privadas ligadas al ramo vial la metodología de base racional denominada Método Hogg. Este método permite establecer la capacidad estructural de un pavimento existente, mediante la medición de deflexiones y haciendo uso de modelos elásticos para pavimentos.

### 6.2.1 El Modelo de Hogg

En el año 1944, A.H.A. Hogg presentó la solución matemática a un modelo, el cual representa al pavimento como una placa delgada con una cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita. sustentada por una capa elástica homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa; el Gráfico N° 6.1, “Transformación teórica del pavimento real en pavimento equivalente”, describe la geometría y los parámetros del modelo de Hogg.<sup>(16)</sup>

### 6.2.2 Deflexiones en el Modelo de Hogg

La expresión matemática desarrollada para el cálculo de las deformaciones en la superficie del sistema viene dada por una integral infinita de funciones Bessel y funciones angulares hiperbólicas, la cuál, para el caso de una carga uniformemente distribuida circular de radio “a” tiene la siguiente forma:

$$\Delta_{(z=0,r)} = \left( \frac{(1+u_o)(3-4u_o)p.a}{2(1-u_o)EO} \right) \int_0^\infty \frac{J_0\left(\frac{m.r}{L_0}\right) \cdot J_1\left(\frac{m.a}{L_0}\right)}{m^4 - m \cdot \phi \frac{m.h}{L_0}} \cdot dm \quad \dots\dots Ec 6.1$$

Donde  $u_o$ ,  $E0$ ,  $p$ ,  $L_0$ , están definidos en el Cuadro N° 6.1, “Parámetros para la evaluación del modelo de Hogg”, siendo “r”, es la distancia horizontal en la superficie de la placa desde el eje de carga y “P” viene dada por la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{\operatorname{senh} mx \cosh m - \frac{m}{3 - 4u_0}}{\operatorname{senh}^2 m - \frac{m^2}{(3 - 4u_0)^2}}$$

Siendo “m” la variable de integración.

En la Conferencia de Ann Arbor (1977) se presentó la solución computarizada para la Ec 6.1, con nomogramas y tablas para el cálculo de deformaciones teóricas. en cualquier punto de la superficie del sistema. <sup>(16)</sup>

### 6.2.3 Características y Utilización del Modelo

El modelo de Hogg hace posible caracterizar el pavimento y la subrasante en base al análisis e interpretación de las curvas de deflexiones, el cual no se necesita conocer el espesor de las capas del pavimento, ya que las curvas de deflexiones de superficie teóricas, diseñadas mediante la Ec 6.1, dependen solamente de la longitud elástica  $L_0$ , Gráfico N° 6.1, “Geometría del modelo de Hogg”.

El modelo introduce, mediante la variable “H” una capa rígida a una profundidad finita. Esta representa a una capa rocosa existente o funciona como un factor de ajuste que limita la extensión horizontal de las curvas de deflexiones teóricas, que de otra manera serían infinitas, lo que no sucedería con las curvas experimentales. Por otro lado, la extensión finita de las curvas de deflexiones medidas, puede obedecer a una conducta no-lineal de los materiales del pavimento y subrasante y no implica necesariamente que realmente existe una capa rígida. De ello la utilización del modelo se realiza asumiendo la introducción de una capa rígida a una profundidad igual a 10 veces la Longitud Elástica del pavimento ( $h = 10.L_0$ ).

Las curvas y nomogramas, como los presentados en los Anexo 6, constituyen la implementación práctica del modelo para la evaluación estructural de pavimentos.

#### 6.2.4 Medición y Cálculo de las Deflexiones Medidas

El procedimiento de medición es presentado en el ANEXO 6

#### Deflexiones Normalizadas

$$D_0 = (L_{max} - L_0) * 4$$

$$D_{25} = (L_{max} - L_{25}) * 4$$

.....

.....

$$D_{500} = (L_{max} - L_{500}) * 4$$

#### Corrección por Temperatura

$$DK_0 = \frac{D_0}{k (T_i - 20) * e_i + 1}$$

$$K = 1 * 10^{-3} * 1 / (\text{cm} \cdot ^\circ\text{C})$$

$T_i$  = temperatura pavimento

$D_0$  = deflexión

$e_i$  = espesor de la capa

#### Radio de Curvatura ( Primer dial)

$$R \text{ (m)} = \frac{6250}{2(DK_0 - DK_{25})}$$

$DK_0$  = deflexión máxima recuperable

$DK_{25}$  = Idem. Para 25 cm. del eje

#### Radio de Curvatura (Segundo dial)

$$R_2 \text{ (m)} = \frac{6250}{2(DK_0 - (L_{max} - L'_{25}) * 4 * C)}$$

$L_{m\acute{a}x}$  = Lectura máxima

$L'_{25}$  = Lectura del segundo dial

$$C = \frac{1}{k (T_i - 20) * e_i + 1}$$

### 6.2.5 Capacidad Estructural del Pavimento

El método de análisis se dirige fundamentalmente a la determinación de las propiedades elásticas de las capas; esto es, los módulos de elasticidad del suelo subrasante y del pavimento en conjunto, para luego cuantificar el valor estructural del pavimento existente.

El procedimiento de interpretación consiste básicamente en comparar la curva de deflexiones medidas, con las curvas de deflexiones teóricas obtenidas cargando el Modelo de Hogg con la misma configuración y magnitud de carga utilizada en los ensayos de campo. La concordancia entre una curva experimental con alguna de las teóricas, corresponde generalmente a una única combinación de parámetros elásticos del modelo, que de esa manera pasan a caracterizar al pavimento evaluado.

Los resultados que se obtienen del procesamiento computarizado de datos son :

La longitud característica del pavimento,  $L_0$ .

El módulo de elasticidad o resiliencia de la subrasante,  $E_0$ .

El módulo de elasticidad de las capas del pavimento,  $E^*$ , con espesor HC.

La relación modular  $E^*/E_0$

El espesor equivalente del pavimento,  $H_{eq}$ .

- La longitud característica del pavimento,  $L_0$ , es por definición un parámetro que refleja la rigidez relativa entre un pavimento y su subrasante. Por tratarse de una relación de rigideces, el valor  $L_0$  permite una rápida evaluación cualitativa del sistema pavimento-subrasante. Para condiciones similares de subrasante, por ejemplo, un pavimento se asumirá de mejores características cuando mayor  $L_0$  tenga.
- El parámetro  $E_0$  representa el módulo de elasticidad de la masa de subsuelo que participa en la deformación del sistema pavimento-subrasante. Este parámetro es una aproximación bastante consistente con un módulo de resiliencia, ya que su determinación se efectúa bajo el efecto de una carga esencialmente dinámica (carga móvil).

- El valor  $E^*$  representa al módulo de elasticidad equivalente o representativo de todas las capas del pavimento, con un espesor total HC.
- El espesor HC usado en el procesamiento de datos influye fundamentalmente en el valor  $E^*$ , de manera que, cuanto menor es el valor HC, mayor es el valor  $E^*$  calculado. En cierta medida, el valor  $E^*$  también depende del CBR de la subrasante.
- La Relación Modular  $E^*/E_0$ , es el valor que representa el grado de coherencia estructural que posee la capa de pavimento respecto de la subrasante.

Una comparación entre los valores de diseño obtenidos con el método del CBR y los valores correspondientes a un modelo multicapa elástico, revela que el modelo de capas debe guardar una relación modular  $E^*/E_0$  entre 2 y 4 para que la subrasante este protegida adecuadamente contra fallas de corte (condición implícita en el método del CBR). La relación  $E^*/E_0$ , como parámetro de evaluación, depende del CBR de la subrasante y debe ser mayor cuanto menor sea aquél.

En consecuencia, relacionando los valores de los parámetros CBR y  $E^*/E_0$  para un caso particular, el espesor HC podrá ser considerado mayor o menor que el espesor real existente, en la medida que el cociente modular, evaluado por medio de la curva de deflexiones, satisfaga o no la relación modular de diseño. Este mayor o menor espesor calculado se denomina Espesor Equivalente ( $H_{eq}$ ).

La determinación del aporte estructural del pavimento existente representa el último paso del proceso de evaluación. Como tal, en él convergen los resultados provenientes de la interpretación y análisis de toda la información obtenida en el programa de deflexiones, cuya síntesis final se traduce en la obtención del Espesor Equivalente  $H_{eq}$ , que caracterizará al pavimento, y que será finalmente el indicador de la necesidad de refuerzo.

#### 6.2.6 Aporte Estructural del Pavimento Existente

Los valores evaluados de  $E^*/E_0$  han sido analizados de acuerdo al criterio de falla expuesto, obteniéndose que en su mayoría cumplen con la condición  $2 < E^*/E_0 < 4$ , no

obstante, la tendencia generalizada es hacia el límite inferior. Esta situación refleja, en general, un inadecuado valor estructural del pavimento existente, aspecto determinante en la cuantificación de su aporte a la solución del refuerzo.

El aporte estructural de un pavimento se cuantifica con el parámetro  $H_{eq}$ , denominado Espesor Equivalente. Los valores de  $H_{eq}$  para cada una de las secciones de ensayo sobre el pavimento son analizados estadísticamente para establecer las secciones homogéneas en función a dicho parámetro. La definición de los espesores equivalentes para diseño, se establecen tomando en consideración criterios estadísticos que aseguren la adopción de valores dentro de ciertos rangos de seguridad. Una vez calculados los valores de diseño, estos pueden traducirse en unidades de Número Estructural, multiplicándose por el coeficiente estructural de un material de base estándar ( $a_2$ ).

### **6.3 Resultados de la Evaluación Deflectométrica en la Vía**

En las tablas mostradas al final del capítulo tenemos un resumen estadístico de los valores obtenidos por la Supervisión CESEL en la estructura rehabilitada en los sectores identificados como homogéneos

#### **6.3.1 Antes de la Rehabilitación**

Los ensayos en sí se realizaron siguiendo el método Canadiense (CANADIAN GOODS ROADS ASSOCIATION. (A guide to the Structural Design of Flexible and Rigid Pavements in Canada. Ottawa, Septiembre, 1965). Coincidente con el Instituto del Asfalto que determina la deflexión elástica del pavimento.

##### **6.3.1.1 Sectorización por resultados de Deflexiones con Viga Benkelman**

En primer lugar se presenta la sub división de la vía realizada con viga Benkelman simple, en función a la deflexión máxima la cual llevó a la sectorización estadística de la vía en 5 tramos homogéneos, ver Cuadro N° 6.2, “Resultados del análisis con viga Benkelman simple” .

Luego se procedió a la lectura con viga Benkelman doble cuyos valores los encontramos en el Cuadro N° 6.3, “Resultados del análisis con viga Benkelman doble, en la cual tenemos la deflexión del diseño y radio de curvatura para un 85% percentil, la deflexión característica y admisible de los datos analizados para cada sector, tomando siempre el promedio entre los dos carriles. En este cuadro se aprecia que la deflexión característica de los cuatro sectores comprendidos entre el km 0+000 (San Jerónimo) y Checacupe (km 86+500) es mayor que la admisible, lo cual es convergente con el estado deteriorado de la vía, no así en el último sector, ( km 86+500 - Puente Combapata km 96+358) , por lo que este método indicaría no requerir refuerzo.

Para el cálculo analítico se utilizó el programa de computador DEFLEX.

El Radio de Curvatura es indicativo de la elástica y asociado al valor de deflexión de diseño ofrece una idea de la forma en que el paquete estructural responde a la sollicitación por cargas colocadas en la superficie.

Además de estos datos, la sectorización también dependió de los resultados de las medidas de la rugosidad, del relevamiento de fallas de la carpeta asfáltica existente, del nivel de ahuellamientos y del estudio geotécnico llevado a efecto mediante la excavación de calicatas

Debemos tener presente que los valores altos de deflexión máxima encontrados están asociados con deficiencias en el suelo de subrasante (baja densidad, alta humedad), o con la pobre calidad de los materiales (suelos con alto contenido de finos, suelos arcillosos). Los valores bajos corresponden a zonas de suelos confinados (cortes cerrados), lugares con presencia de conglomerados gravosos (terraplenes de gran potencia) o suelos con componentes rocosos.

#### **6.3.1.2 Resultados del Procesamiento Computarizado de Datos: Capacidad Estructural del Pavimento.**

Con el objetivo de obtener la capacidad estructural del pavimento antiguo, se procedió con la metodología del modelo de Hogg, obteniéndose el Cuadro N° 6.5, “Resultados del modelo de Hogg antes de la rehabilitación”, que presenta los valores del Módulo de Resiliencia, Relación  $E^*/E_0$  y Espesor equivalente, sectorizando la vía en seis

subtramos. Se pueden observar que los valores relativamente altos como aporte del pavimento existente.

En la relación  $E^*/E_0$  la mayoría de tramos la tendencia es cercana a 2, límite inferior para considerar subrasante protegida.

### **6.3.2 Después de la Rehabilitación**

Como se describe líneas arriba en los alcances del método, este no refiere al procedimiento efectuado en base y sub-base, el cual fue adoptado de manera referencial para alertar valores críticos y tomar medidas de rectificación; como reconformación, obras de drenaje o protección de la zona, entre otros.

La medición de deflectometría contemplada es a nivel de carpeta asfáltica y tiene por objeto la evaluación, diagnóstico y complementación de los diferentes controles a realizarse a la carpeta asfáltica. Esta medición se efectúa al finalizar la obra como control final de calidad del pavimento terminado. Los resultados de estas mediciones deberán ser teóricamente menores a la deflexión admisible para el tramo.

Dentro del control de calidad que mostraremos con deflectometría se tiene en consideración las Especificaciones Técnicas del Proyecto. El Anexo 6 presenta los resultados consecutivos obtenidos de la medición de las deflexiones en las distintas capas del pavimento durante y hasta el término de ejecución de la obra, del sector representativo evaluado en el control del material fresado; el análisis a efectuarse comprendió las etapas que se indican luego.

#### **6.3.2.1 Sub base recuperada**

En esta capa se realizó la medición de las deflexiones en ambos carriles, cada 50 m alternados en ambos sentidos. Análisis de la deformada o curvatura de la deflexión obtenida y de los módulos de elasticidad de la capa reciclada y subrasante.

La deflexión obtenida y radio de curvatura para un 95% de confiabilidad se muestran en el Cuadro N° 6.6, “Resultados de deflectometría a nivel: Sub base recuperada”, en el que las deflexiones promedio varían entre 26 y 52 (1/100 mm), mientras que la deflexión característica varía entre 56 y 90 (1/100 mm). Para el análisis de la deformada



se observa que los valores del Radio de Curvatura promedio varían entre 160 a 342 m., sólo siendo esta una capa, los resultados no se evidencian valores altos de deflectometría al nivel de esta capa.

Como se aprecia en el Cuadro N° 6.7, “Resultados de la aplicación del modelo de Hogg a nivel de sub base recuperada”, los módulos de subrasante obtenidos con el modelo de Hogg varían entre 12.7 y 31.7 Ksi mientras que los valores de los módulos de subbase reciclada varían entre 2,350 y 6,188 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los valores de E\*/EO varían entre 2.5 y 4.0, valores considerados como referenciales puesto que las mediciones se han realizado sobre la subbase reciclada.

### **6.3.2.2 Base granular**

De igual modo se midieron deflexiones en los dos carriles, en ambos sentidos, cada 50 m. y en forma alterna. Análisis de la deformada o curvatura de la deflexión obtenida y de los módulos de elasticidad de la capa de base granular.

Los módulos elásticos obtenidos, deben satisfacer los requerimientos AASHTO/93 para el CBR del 100%.

En el Cuadro N° 6.8, “Resultados de deflectometría a nivel de base granular”, las deflexiones promedio varían entre 34 y 47 (1/100 mm) mientras que la deflexión característica varía entre 63 y 78 (1/100 mm), para el análisis de la deformada se observa que los valores del Radio de Curvatura varían entre 162 y 290 m. Se aprecia, en estos resultados, que no muestran valores altos de deflectometría al nivel de esta capa

Los módulos obtenidos con el modelo de Hogg para la base granular en el Cuadro N° 6.9, “Resultados de la aplicación del modelo de Hogg a nivel de base granular”, varían entre 1,984 y 4,007 Kg/cm. Estos valores están dentro del rango de valores estimados para la base granular, la relación modular E\*/EO varía entre 1.9 y 2.8; valores son considerados en forma referencial puesto que las mediciones han sido realizadas al nivel de base granular terminada y no de carpeta asfáltica.

### 6.3.2.3 Carpeta Asfáltica en caliente

De la medición de las deflexiones en los dos carriles, en ambos sentidos cada 50 m. y en forma alterna, se realizó el análisis de la curva de la deflexión, obteniendo: la deflexión promedio ( $D_p$ ), la desviación estándar ( $S_s$ ) y la Deflexión Característica ( $D_c$ ) para cada sector homogéneo obtenido en los estudios del pavimento antiguo; comparando esta deflexión característica al 95% de confiabilidad:  $D_c = D_p + 1.645 \times S_s$  por sectores

homogéneos con la Deflexión Admisible ( $D_{adm}$ ) para el número de repeticiones de ejes equivalente.

La deflexión obtenida y radio de curvatura para un 95% de confiabilidad se muestran en el Cuadro N° 6.10, “Resultados de Deflectometría a nivel de carpeta asfáltica”, las deflexiones promedio varían entre 37 y 54 (1/100 mm), valores que están por debajo aún de las nuevas deflexiones admisibles consideradas con los conteos de tráfico 2001, ver Cuadro N° 6.12, “Variación de los conteos de tráfico 1997-2001”, mientras que la deflexión característica, es mayor que la admisible para lo esperado y para los nuevos valores, no así para el último sector, Cuadro N° 6.13, “Deflexiones admisibles 2001”, pero lo esperado es en función de la deflexión promedio para efectuar la comparación.

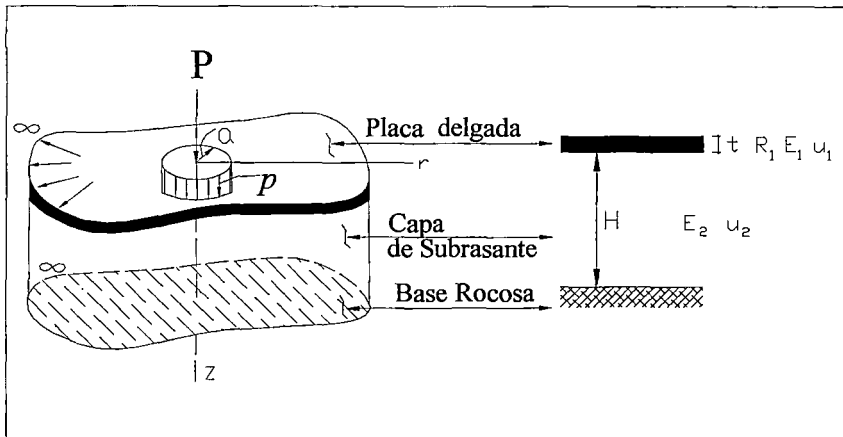
En lo que respecta al análisis de la deformada se observa que los valores del Radio de Curvatura varían entre 132 y 220 m, Cuadro N° 6.14, “Resultados comparativos para la carpeta rehabilitada” y los valores promedio están también dentro de lo esperado para la rehabilitación. Asimismo, el producto de  $R_c \times D$  varía entre 6,880 y 8,319 valores que se encuentran dentro del rango para pavimentos flexibles (5,000 a 15,000).

En el Cuadro N° 6.11, “Resultados de la aplicación del modelo de Hogga nivel de carpeta asfáltica”, en el que los módulos  $E^*$  obtenidos con el modelo de Hogg son menores a los calculados para la estructura, lo cual es un indicativo de un pavimento menos rígido. Sin embargo, la relación modular  $E^* / E_0$  está dentro de un rango considerado aceptable para un pavimento flexible (entre 2 y 4), valores entre los cuales se considera protegida a la subrasante. El valor de  $Heq$  también indica valores dentro de límites considerados como aceptables.

Como un comparativo tenemos los Gráficos N° 6.3 y el Grafico N° 6.4, “Análisis comparativo a nivel de carpeta asfáltica antes y después de la rehabilitación”, muestra una superposición de deflectogramas, comparando los resultados para cada carril de las deflexiones máximas obtenidas en la carpeta rehabilitada con respecto a los valores obtenidos antes de rehabilitada.

GRAFICO N° 6.1

GEOMETRIA DEL MODELO DE HOGG



CUADRO N° 6.1

**PARÁMETROS DEL MODELO DE HOGG**

Rigidez a la Flexión de la Placa : 
$$R = \frac{E_1 t^3}{12(1 - \mu^2)} \quad (t-m)$$

Longitud Característica: 
$$L_0 = \sqrt[3]{\frac{R}{E_2} \frac{(1 + \mu_0)(3 - 4\mu_0)}{2(1 - \mu_0)}}$$

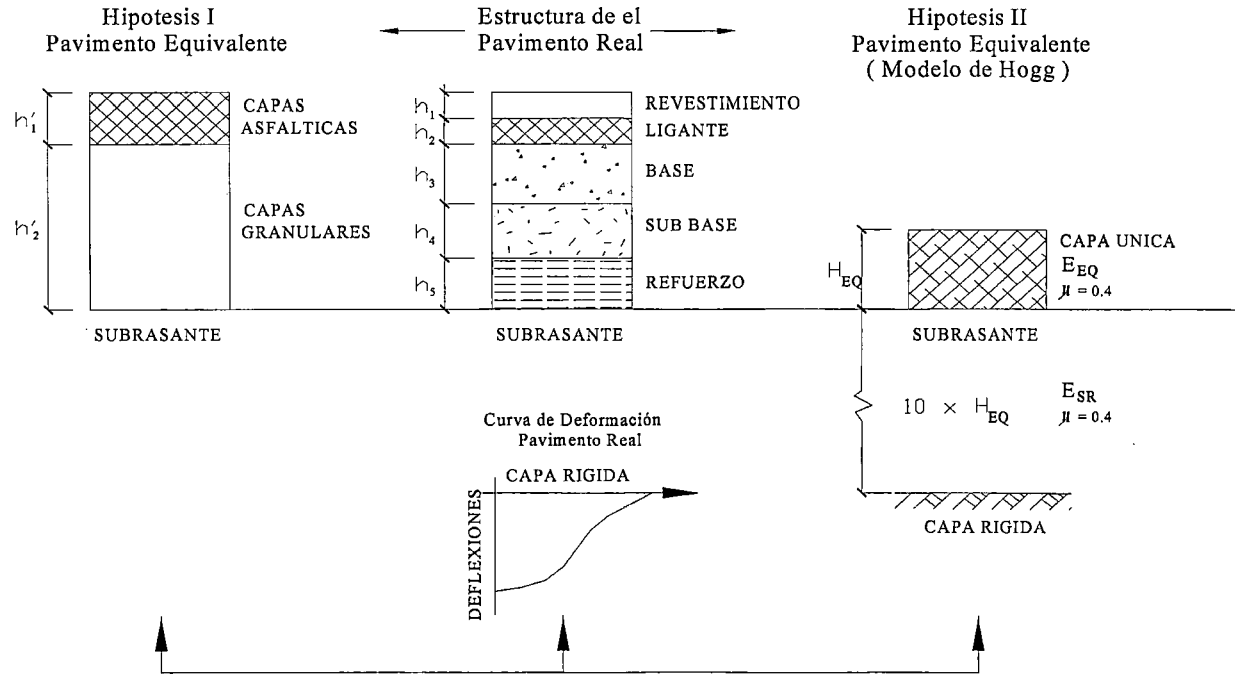
**PARÁMETROS DE EVALUACIÓN**

Longitud característica :  $L_0$   
 Módulo de Elasticidad de la Subrasante:  $E_2$   
 Rigidez:  $R$   
 De obtienen conociendo 2 valores de deflexiones medidas

**SIGNIFICADO DE LOS OTROS SÍMBOLOS**

$P$  : Carga distribuida en un área circular  
 $a$  : Radio de área circular.  
 $E_1$  : Módulo de Elasticidad de la Placa  
 $\mu_1$  : Módulo de Poisson de la Placa  
 $\mu_2$  : Módulo de Poisson del estrato rocoso (subrasante)  
 $H$  : Profundidad del estrato rocoso (subrasante)

## TRANSFORMACION TEORICA DE EL PAVIMENTO REAL EN PAVIMENTO EQUIVALENTE



LOS PAVIMENTOS EQUIVALENTES TIENEN LA MISMA CURVA DE DEFORMACION QUE EL PAVIMENTO REAL

GRAFICO N° 6.2

Grafico 1.a: Análisis de Deflexión Comparativo a nivel de carpeta asfáltica antes y después de la rehabilitación  
CARRIL DERECHO

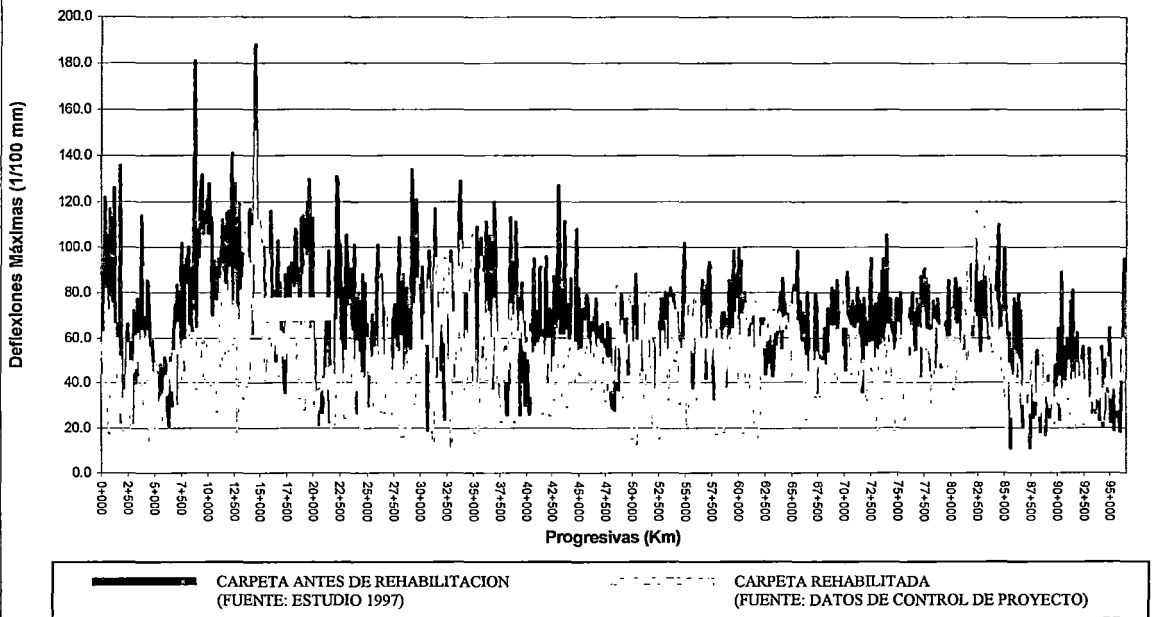


GRAFICO N° 6.3

Grafico 1.b: Análisis de Deflexión Comparativo a nivel de carpeta asfáltica antes y después de la rehabilitación  
CARRIL IZQUIERDO

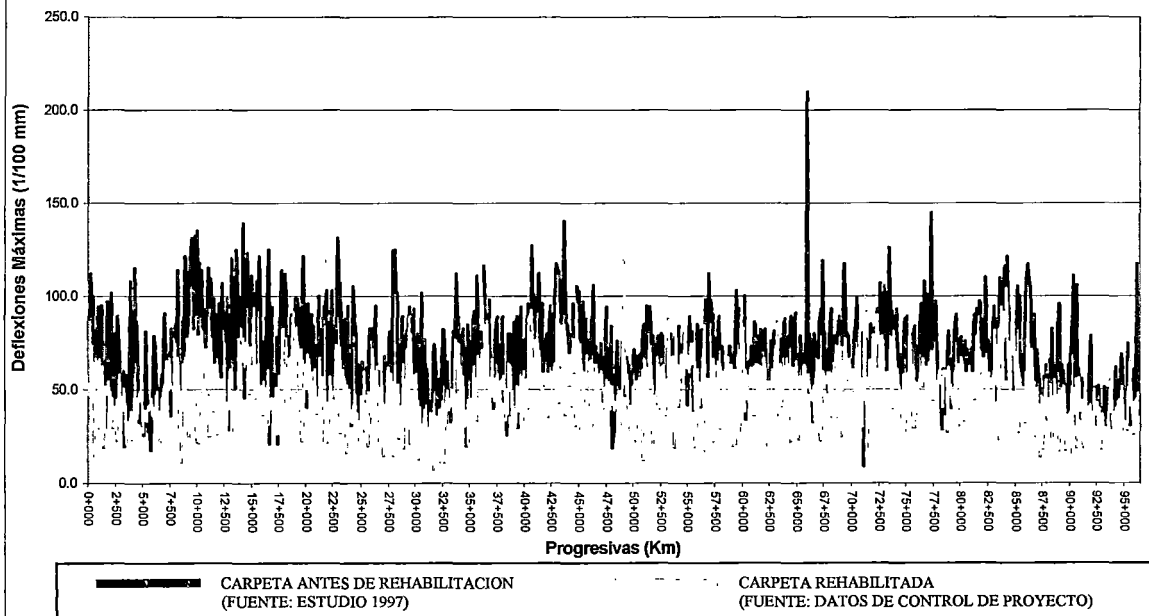


GRAFICO N° 6.4

CUADRO N° 6.2

**RESULTADOS DEL ANALISIS CON LA VIGA BENKELMAN SIMPLE**

SECTOR	SECCION	D <sub>m</sub> promedio (1/100 mm)	Desv. Std. (1/100 mm)	Coef. Variación (%)
1	km 0+000 - km 7+000	55.70	24.77	44.47
2	km 7+000-km 20+000	83.88	25.36	30.23
3	km 20+000-km 45+000	65.17	24.54	37.66
4	km 45+000-km 86+500	65.57	17.63	26.89
5	km 86+500-km 96+358	42.26	17.12	40.52

CUADRO N° 6.3

**RESULTADOS DEL ANALISIS CON LA VIGA BENKELMAN DOBLE**

SECTOR	D <sub>o</sub> (1/100 mm)	RC (m)	Percentil	D <sub>c</sub> (1/100 mm)	D adm (1/100 mm)
1	88	44	85	105	66
2	99	40	85	118	66
3	84	52	85	101	66
4	112	84	85	135	66
5	53	74	85	63	66

CUADRO N° 6.4

**VALORES DE LA DEFLECTOMETRIA : CALCULADOS ANTES DE LA REHABILITACIÓN Y ESPERADOS DESPUÉS DE LA REHABILITACION (PROMEDIO PARA LOS DOS CARRILES)**

	PROGRESIVA Km	ESTRUCTURA ANTES DE LA REHABILITACIÓN DEFLEX				ESTIMACION PROYECTADA DESPUES DE LA REHABILITACION DEPAV	
		D <sub>o</sub> 1/100 mm	Desv. Est. σ	D <sub>c</sub> 1/100 mm	R <sub>c</sub> m	D <sub>o</sub> 1/100 mm	R <sub>c</sub> m
1	0+000 - 7+000	88	16.2	105	44	57	130
2	7+000 - 20+000	99	18.2	118	40	57	113
3	20+000 - 45+000	84	16.3	101	52	47	115
4	45+000 - 86+500	112	23.0	136	84	46	130
5	86+500 - 96+358	53	9.6	63	74	35	139

D<sub>o</sub>: Deflexión Promedio D<sub>c</sub>: Deflexión Característica R<sub>c</sub>: Radio de Curvatura

CUADRO N° 6.5

**RESULTADOS DEL MODELO DE HOGG ANTES DE LA REHABILITACIÓN**

TRAMO	Mr (ksi)	E*/E0	H <sub>eq</sub> (cm)
Km 0+000 - km 7+000	11.0	4.5	41.7
Km 7+000 - km 20+000	8.0	2.6	34.2
Km 20+000 - km 36+000	10.9	2.6	35.0
Km 36+000 - km 45+000	9.9	2.3	33.3
Km 45+000 - km 86+500	10.2	2.4	33.8
Km 86+500 - km 96+358	14.6	3.1	34.3

CUADRO N° 6.6

**RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA A NIVEL DE: SUBBASE RECUPERADA**

SECTOR	PROGRESIVA	SUB-BASE RECICLADA			
		D0 prom (1/100 mm)	Desv. Est. ( 1/100 mm)	D car (1/100 mm)	Rc prom (m)
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	26	18	56	342
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	49	23	88	207
3	Km. 20+000 - Km. 45+000	44	27	88	207
4	Km. 45+000 - Km. 86+500	48	26	90	185
5	Km. 86+500 - Km. 96+358	52	19	83	160

CUADRO N° 6.7

**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG A NIVEL DE SUBBASE RECUPERADA**

SECTOR	PROGRESIVA	SUB-BASE RECICLADA			
		Mr prom. Ksi	E* prom. Kg/cm2	E*/E0 prom.	Heq prom. cm
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	31.7	6188	3.8	50.0
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	14.2	2701	3.4	49.3
3	Km. 20+000 - Km. 36+000	18.9	2949	2.5	45.1
4	Km. 36+000 - Km. 45+000	24.3	5648	4.0	47.4
5	Km. 45+000 - Km. 86+500	17.4	3170	2.9	43.8
6	Km. 86+500 - Km. 96+358	12.7	2350	3.3	47.6



CUADRO N° 6.8

**RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA A NIVEL DE :  
BASE GRANULAR**

SECTOR	PROGRESIVA	BASE GRANULAR			
		D0 prom. (1/100 mm)	Desv. Est. (1/100 mm)	D car. (1/100 mm)	Rc prom. (m)
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	34	18	63	290
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	40	18	69	238
3	Km. 20+000 - Km. 45+000	39	17	67	186
4	Km. 45+000 - Km. 86+500	47	19	78	162
5	Km. 86+500 - Km. 96+358	42	17	70	207

CUADRO N° 6.9

**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG A NIVEL DE:  
BASE GRANULAR**

SECTOR	PROGRESIVA	BASE GRANULAR			
		Mr prom. Ksi	E* prom. Kg/cm2	E*/E0 prom.	Heq prom. cm
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	22.9	4007	2.8	54.1
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	16.3	2788	2.7	66.5
3	Km. 20+000 - Km. 36+000	16.9	2381	2.5	63.1
4	Km. 36+000 - Km. 45+000	21.1	2444	1.9	58.6
5	Km. 45+000 - Km. 86+500	16.3	1984	1.9	53.4
6	Km. 86+500 - Km. 96+358	17.9	2267	1.9	60.6

CUADRO N° 6.10

**RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA A NIVEL DE:  
CARPETA ASFÁLTICA**

SECTOR	PROGRESIVA	CARPETA ASFÁLTICA			
		D0 prom. (1/100 mm)	Desv. Est. (1/100 mm)	D car. (1/100 mm)	Rc prom. (m)
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	43	14	65	160
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	54	19	86	132
3	Km. 20+000 - Km. 45+000	47	17	75	177
4	Km. 45+000 - Km. 86+500	54	16	80	144
5	Km. 86+500 - Km. 96+358	37	10	54	220

CUADRO N° 6.11

**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG A NIVEL DE:  
CARPETA ASFÁLTICA**

SECTOR	PROGRESIVA	CARPETA ASFALTICA			
		Mr prom. Ksi	E* prom. Kg/cm2	E*/E0 prom.	Heq prom. cm
1	Km. 0+000 – Km. 7+000	14.8	2263	2.5	58.6
2	Km. 7+000 – Km. 20+000	11.9	1605	2.4	70.3
3	Km. 20+000 – Km. 36+000	15.9	2173	2.5	69.5
4	Km. 36+000 – Km. 45+000	10.9	1886	3.6	74.3
5	Km. 45+000 – Km. 86+500	12.7	1582	2.0	61.5
6	Km. 86+500 – Km. 96+358	16.3	2192	1.9	67.5

CUADRO N° 6. 12

**VARIACIÓN DEL EAL 1997-2001**

Etapas	Antes de la rehabilitación Mayo de 1997	Tráfico después de rehabilitado Dic 99- Ago 2001 Estación Saylla	Tráfico después de rehabilitado Dic 99- Ago 2001 Estación Urcos	Tráfico después de rehabilitado Dic 99- Ago 2001 Estación Checacupe
<b>PROGRESIVAS</b>	0+000 – 96+358	0+000 – 20+000	20+000 – 45+000	45+000 – 96+358
<b>EAL</b>	0.8X10 <sup>6</sup>	5.90X10 <sup>6</sup>	3.74X10 <sup>6</sup>	3.04X10 <sup>6</sup>

CUADRO N° 6.13

**DEFLEXIONES ADMISIBLES 2001**

PROGRESIVAS	Def. Prom. <b>Do</b> (1/100 mm)	Def. Caract. <b>Dc</b> (1/100 mm)	Tráfico N <b>(EAL)</b>	DEFLEXIONES ADMISIBLES	
				Inst. Asfalto $D_{adm}=25.64N^{-0.2383}$ (1/100 mm)	CONREVIAl $D_{adm}=(1.15/N)^{0.25}$ (1/100 mm)
00+000 – 07+000	43	65	5.90x10 <sup>6</sup>	62	66
07+000 – 20+000	54	86	5.90x10 <sup>6</sup>	62	66
20+000 – 45+000	47	75	3.74x10 <sup>6</sup>	70	74
45+000 – 86+500	54	80	3.04x10 <sup>6</sup>	73	78
86+500 – 96+538	37	54	3.04x10 <sup>6</sup>	73	78

CUADRO N° 6.14

**RESULTADOS COMPARATIVOS PARA LA CARPETA REHABILITADA**

SECTOR	PROGRESIVA Km	ESTIMACION ESPERADA		ESTRUCTURA REHABILITADA	
		D <sub>0</sub> 1/100 mm	R <sub>c</sub> m	D <sub>0</sub> 1/100 mm	R <sub>c</sub> m
1	0+000 - 7+000	57	130	43	160
2	7+000 - 20+000	57	113	54	132
3	20+000 - 45+000	47	115	47	177
4	45+000 - 86+500	46	130	53	144
5	86+500 - 96+358	35	139	37	220

Donde D<sub>0</sub> es la deflexión promedio y R<sub>c</sub> el Radio de Curvatura

**CAPÍTULO**  
**7**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CAP VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

#### 7.1.1 DEL MATERIAL RECUPERADO

- El material formado por la carpeta y base granular antiguas obtenidas a partir del fresado, presenta características granulométricas que difieren de las obtenidas en la etapa inicial de caracterización, en un valor superior al 38% de CBR para el 100 % de la densidad máxima ( $\gamma_{\text{máx.}}$ ) y superior al 20% de CBR para el 95 % de ésta densidad.
- Debido a las características mecánicas de este material recuperado, es adaptable para su empleo en sub base, sin embargo la curva granulométrica se ajusta dentro del huso granulométrico Tipo I Gradación B, por lo que para una utilización como material de Base bastará efectuar una corrección granulométrica utilizando agregado natural de cantera, la corrección de la gradación implicaría otro tipo de maquinaria o una adaptación al procedimiento.
- El material presenta un equivalente de arena bastante uniforme en promedio de 40%, un índice plástico menor que 4, una variación del óptimo contenido de humedad de  $\pm 1.5$ , lo cual permite cumplir con lo requerido para su empleo en la capa de sub base y para una base expuesta a tráfico liviano. Además presenta pérdida por abrasión mediante la máquina de Los Ángeles inferior a 25%. Debido a éstos parámetros calificaría para una base asfáltica ( $> 3000$  msnm.) corrigiendo el equivalente de arena en un mínimo de 45% .

- La reutilización del material permite la disminución en la extracción, trituración y transporte de agregado calificados para las capas confortantes del pavimento, además el tiempo de interrupción de tráfico es mínimo. El manejo del equipo, como la máquina convencional de profundidades controlables hasta los 50 cm, está provista de aspersores dentro del tambor para la adición de cualquier tipo de aditivo líquido tales como emulsiones y/o estabilizadores , lo cual facilita ésta labor.
  
- Debemos tener presente que la fuente de materiales para la elaboración de pavimentos no es inagotable, por ello es necesario tomar en cuenta esta práctica como una alternativa a ser mejorada con investigaciones locales, teniendo como base un análisis de desarrollo regional y tecnologías ya desarrolladas por muchos años en países en los cuales ésta técnica es cotidiana.
  
- Uno de los principios físicos, sencillo de ser observado en cualquier estructura constituida de diversos materiales, es que las fisuras a solicitud de cargas o al ser flexionadas, se producen en lugares donde existe discontinuidad del tipo y/o propiedades del material, por lo que capas tratadas que aporten mayor resistencia estructural y sean más próximas al que aporta la carpeta asfáltica serían más ventajosas.
  
- Las alternativas de rehabilitación presentadas, para los diversos proyectos de nuestro país, deberían estudiar esta opción o más elaboradas a fin de promover ésta técnica y su creciente desarrollo en nuestro medio, desde caminos rurales

hasta carreteras de 1<sup>er</sup> orden, con la respectiva evaluación integral del proyecto, dado que es particular a cada uno la partida de transportes.

#### 7.1.2 DE LA VIA ANTES DE LA REHABILITACIÓN

- El pavimento original compuesto por una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor, presentaba fallas superficiales advirtiendo el mal estado de la estructura, tales como:
  - Fisuramiento tipo “Piel de Cocodrilo”, en un 38% del área total, indicando falla estructural producidas por la fatiga del cemento asfáltico debido al tráfico actual .
  - Fisuramiento en Bloque, con un 22% del área total causadas por las variaciones de temperatura y el endurecimiento del asfalto.
  - Fisuramiento tipo Longitudinal, comprometiendo un 20% del área total, por contracción del asfalto debido a cambios de temperatura durante su vida útil.
  
- La base y sub base presentaron espesores variantes entre 30 a 35 cm, de granulometría aceptable, pero con alto contenido de finos pasante la malla N° 200 con características limosas, sub-compactados y contenidos de humedad relativamente bajos.
  
- Los ahuellamientos se encuentran dentro del rango considerado como leve, inferior a 6mm, lo cual indica que la sub base antigua sirve de protección a la subrasante.

- En los kilómetros más representativos, el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) alcanza valores de 1.71 y 2.91, equivalentes a transitabilidad de una regular a mala. Estos valores se encuentran acorde con el nivel de fisuramiento comentado líneas arriba, reflejado en baches continuos.
- El tráfico calculado sobre la base del conteo es de  $0.8 \times 10^6$  ejes equivalentes de 8.2 ton.
- Como se aprecia en el Cuadro N° 7.1, “Resumen de parámetros antes de la Rehabilitación”, los resultados de la evaluación de los tramos homogéneos para esta etapa, se realizan sobre la base de un análisis estadístico por sectores sobre el pavimento antiguo. A nivel de sub rasante se presentan valores muy dispersos por lo que se ha considerado los valores mínimos para protección de la subrasante. De los datos de la deflectometría se tiene para los cuatro primeros tramos, varían entre 84 a 110 (1/100 mm) en promedio entre 101 a 145 (1/100 mm) la deflexión característica, lo cual sugería la necesidad de una rehabilitación, los radios de curvatura se encuentran entre 40 y 84 (m) denotando un estado de pavimento en malas condiciones. Además se presentan los módulos de las diferentes capas, los cuales corresponden a referencias con las propiedades de un pavimento en buen estado.
- En el Cuadro N° 7.2, “Resultados obtenidos del modelo de Hogg antes de la rehabilitación”, se puede observar que los valores son relativamente altos como aporte del pavimento existente.



CUADRO N° 7.1

**RESUMEN DE PARÁMETROS ANTES DE LA REHABILITACIÓN**

SEC	PROGRESIVAS	DATOS DE CAMPO (Deflex)				MODELACIÓN DEL PAVIMENTO ANTIGUO (Depav)					
		A NIVEL DE SUB- RASANTE	DEFLECTOMETRÍA (Deflex)			MODULOS DINAMICOS OBTENIDOS (Kg/cm <sup>2</sup> )				A NIVEL DE C.A	
		CBR <sub>min</sub> In situ	Do (1/100 mm)	R <sub>C</sub> (m)	Dc (1/100 mm)	Mod Carpeta Asfáltica	Mod. Base Granular	Mod. Subbase Granular	Mod. Subrasante	Do (1/100 mm)	R <sub>C</sub> m
1	km 0+000 - km 7+000	5.9	88	44	105	1400	1550	1500	460	93	44
2	km 7+000 - km 20+000	12.4	99	40	116	2200	1600	700	635	93	39
3	km 20+000 - km 45+000	5.8	84	52	101	1400	2200	850	900	70	52
4	km 45+000 - km 86+500	10.5	110	84	135	2000	1500	1000	800	113	25
5	km 86+500 - km 96+358	5.8	52	74	63	5000	2700	1300	1200	51	67

CUADRO N° 7.2

**RESULTADOS OBTENIDOS DEL MODELO DE HOGG ANTES DE LA REHABILITACION**

TRAMO	Mr (ksi)	E*/E0	H <sub>eq</sub> (cm)
Km 0+000 - km 7+000	11.0	4.5	41.7
Km 7+000 - km 20+000	8.0	2.6	34.2
Km 20+000 - km 36+000	10.9	2.6	35.0
Km 36+000 - km 45+000	9.9	2.3	33.3
Km 45+000 - km 86+500	10.2	2.4	33.8
Km 86+500 - km 96+358	14.6	3.1	34.3

7.1.3 DE LA SOLUCION PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

- La solución adoptada comprende las capas siguientes:

Carpeta nueva en concreto asfáltico en caliente:	= 7.5 cm
Base granular nueva	= 15.0 cm
Fresado de la carpeta asfáltica y base granular existentes	= 20.0 cm
Subbase granular existente	= 20.0 cm

Las propiedades técnicas de estas capas son convencionales para la zona.

- La estructura responde al análisis elástico multicapa cumpliendo con los valores admisibles para esfuerzos en la sub rasante y deformaciones bajo la carpeta asfáltica, obtenidos en base al tráfico y al modulo resiliente de la subrasante de los diferentes sectores.
- Se estimó para el proyecto la deflexión admisible considerada del lado de la seguridad, optando 66/100 mm por el criterio de California.
- De acuerdo a este resultado se tiene el Cuadro N° 7.3, “Parámetros elásticos admisibles y calculados para la solución adoptada y las deflexiones y radios de curvatura esperados con la rehabilitación” usando el programa DEPAV, con los cuales se referenciará resultados de la rehabilitación.

CUADRO N° 7.3

**PARÁMETROS ELÁSTICOS ADMISIBLES Y CALCULADOS PARA LA SOLUCIÓN ADOPTADA Y LAS DEFLEXIONES Y RADIOS DE CURVATURA ESPERADOS CON LA REHABILITACIÓN**

SECTOR	PROGRESIVAS	$\varepsilon_{\tau} * (10^{-4})$		$\varepsilon_z * (10^{-4})$		$\sigma_z \text{ kg/cm}^2$		CON REHABILITACIÓN DEPAV	
		Adm.	Cal.	Adm.	Cal.	Adm.	Cal.	Do 10 -2 mm	RC m
1	km 0+000 - km 7+000	2.74	2.18	7.02	3.91	0.63	0.18	57	130
2	km 7+000 - km 20+000	2.74	2.62	7.02	3.58	0.87	0.23	57	113
3	km 20+000 - km 45+000	2.74	2.67	7.02	2.89	1.23	0.27	47	115
4	km 45+000 - km 86+500	2.74	2.24	7.02	2.99	1.10	0.25	46	130
5	km 86+500 - km 96+358	2.74	2.27	7.02	2.23	1.84	0.28	35	139

#### 7.1.4 DE LA VIA REHABILITADA

- En la construcción de la vía los parámetros estándares como CBR (California Bearing Ratio), granulometría, límites, entre otros requeridos según Especificaciones Técnicas para las capas de la estructura fueron verificados mediante los respectivos ensayos.
- Algunas mediciones deflectométricas realizadas en las capas de base y sub-base, aportaron valores críticos para lo cual se tomaron medidas de rectificación como reconfiguración, obras de drenaje o protección de la zona, entre otros.
- De acuerdo al estudio peruano del CONREVIAT MTC (1982), la deflexión admisible fue evaluada según  $D_{adm} = (1.15/N)^{0.25}$  (1/100 mm).
- Las deflexiones promedio, en la sub base recuperada varían entre 26 y 52 (1/100 mm), mientras que la deflexión característica varía entre 56 y 90 (1/100 mm); para el análisis de la deformada se observa que los valores del Radio de Curvatura promedio varían entre 160 a 342 m, los resultados no evidencian valores altos de deflectometría. Del modelo de Hogg, los módulos de subrasante obtenidos varían entre 12.7 y 31.7 Ksi (892.52 y 2227.80 Kg/cm<sup>2</sup>) mientras que los valores de los módulos de subbase reciclada varían entre 2,350 y 6,188 Kg/cm<sup>2</sup>.

- Los valores de  $E^*/E_0$  varían entre 2.5 y 4.0, valores considerados como referenciales puesto que las mediciones se han realizado sobre la subbase reciclada, no obstante existe una respuesta correcta.
- En la capa de base granular, las deflexiones promedio varían entre 34 y 47 (1/100 mm) mientras que la deflexión característica varía entre 63 y 78 (1/100 mm). Para el análisis de la deformada se observa que los valores del Radio de Curvatura varían entre 162 y 290 m.; se aprecia en estos resultados que no muestran valores altos de deflectometría al nivel de esta capa, pero sí la tendencia de salir del límite permisible.
- La relación modular  $E^*/E_0$  varía entre 1.9 y 2.8; estos valores son considerados en forma referencial puesto que las mediciones han sido realizadas al nivel de base granular terminada y no de carpeta asfáltica.
- Las deflexiones promedio medidas sobre la carpeta asfáltica en caliente, varían entre 37 y 54 (1/100 mm), valores que están por debajo aún de las nuevas deflexiones admisibles consideradas con los conteos de tráfico 2001 al término de la obra.
- En el análisis de la deformada de la carpeta asfáltica, se observa que los valores del Radio de Curvatura varían entre 132 y 220 m, y los valores promedio están también dentro de lo esperado para la rehabilitación. (Cuadro N° 7.4, “Resultados de deflectometría a nivel de: carpeta asfáltica”). Asimismo, el producto de  $R_c \times D$  varía entre 6,880 y 8,319 valores que se encuentran dentro del rango para pavimentos flexibles (5,000 a 15,000).

- Los módulos  $E^*$  de la carpeta asfáltica obtenidos con el modelo de Hogg son menores a los calculados para la estructura, lo cual es indicativo de un pavimento menos rígido. Sin embargo, la relación modular  $E^* / E_0$  está dentro de un rango considerado aceptable para un pavimento flexible (entre 2 y 4), valores entre los cuales se considera protegida a la subrasante.
- El valor de  $Heq$  también se encuentra dentro de límites considerados como aceptables. (Cuadro N° 7.5, “Resultados de la aplicación del modelo de Hogg a nivel de carpeta asfáltica”).
- De acuerdo al incremento de las capas la variación del promedio de espesor equivalente se va incrementando desde un 5% a 35 % dependiendo del sector y la capa a considerar.
- El cuadro N° 7.7 ,”Resultados comparativos para la carpeta rehabilitada”, muestra la comparación entre lo esperado, considerando los promedios, para la estructura rehabilitada y lo que se estimaba resultaría, valores estadísticamente aceptables.

CUADRO N° 7.4

**RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA A NIVEL DE: CARPETA ASFÁLTICA**

SECTOR	PROGRESIVA	CARPETA ASFÁLTICA			
		D0 prom. (1/100 mm)	Desv. Est. (1/100 mm)	D car. (1/100 mm)	Rc prom. (m)
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	43	14	65	160
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	54	19	86	132
3	Km. 20+000 - Km. 45+000	47	17	75	177
4	Km. 45+000 - Km. 86+500	54	16	80	144
5	Km. 86+500 - Km. 96+358	37	10	54	220

**CUADRO N° 7.5**  
**RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE HOGG A NIVEL DE:**  
**CARPETA ASFÁLTICA**

SECTOR	PROGRESIVA	CARPETA ASFÁLTICA			
		Mr prom. Ksi	E* prom. Kg/cm2	E*/E0 prom.	Heq prom. cm
1	Km. 0+000 – Km. 7+000	14.8	2263	2.5	58.6
2	Km. 7+000 – Km. 20+000	11.9	1605	2.4	70.3
3	Km. 20+000 – Km. 36+000	15.9	2173	2.5	69.5
4	Km. 36+000 – Km. 45+000	10.9	1886	3.6	74.3
5	Km. 45+000 – Km. 86+500	12.7	1582	2.0	61.5
6	Km. 86+500 – Km. 96+358	16.3	2192	1.9	67.5

**CUADRO N° 7.6**  
**DEFLEXIONES ADMISIBLES 2001**

PROGRESIVAS	Def. Prom. <b>D<sub>o</sub></b> (1/100 mm)	Def. Caract. <b>D<sub>c</sub></b> (1/100 mm)	Tráfico N <b>(EAL)</b>	DEFLEXIONES ADMISIBLES	
				Inst. Asfalto $D_{adm}=25.64N^{0.2383}$ (1/100 mm)	CONREVIAL $D_{adm}=(1.15/N)^{0.25}$ (1/100 mm)
00+000 – 07+000	43	65	$5.90 \times 10^6$	62	66
07+000 – 20+000	54	86	$5.90 \times 10^6$	62	66
20+000 – 45+000	47	75	$3.74 \times 10^6$	70	74
45+000 – 86+500	54	80	$3.04 \times 10^6$	73	78
86+500 – 96+538	37	54	$3.04 \times 10^6$	73	78

**CUADRO N° 7.7**  
**RESULTADOS COMPARATIVOS PARA LA CARPETA REHABILITADA**

SECTOR	PROGRESIVA Km	ESTIMACION ESPERADA		ESTRUCTURA REHABILITADA	
		D <sub>o</sub> 1/100 mm	R <sub>c</sub> m	D <sub>o</sub> 1/100 mm	R <sub>c</sub> m
1	0+000 - 7+000	57	130	43	160
2	7+000 – 20+000	57	113	54	132
3	20+000 – 45+000	47	115	47	177
4	45+000 – 86+500	46	130	53	144
5	86+500 – 96+358	35	139	37	220

Donde D<sub>o</sub> es la deflexión promedio y R<sub>c</sub> el Radio de Curvatura

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la adopción de ésta técnica, desarrollar una normatividad, para éste tipo de capas recicladas, el costo de ésta estaría por demás recuperado, pues el mantenimiento del patrimonio que significa para nuestro país La Red Vial alcanza cifras millonarias.
- Los procedimientos de evaluación y diseño de pavimentos están basados en las proyecciones de carga axial equivalente de 8.2 tn proyectados para el período de vida útil, cuyas variaciones de lo proyectado y las diferentes actualizaciones, si son mayores de  $1 \times 10^6$ , el diseño de espesor se incrementa en un equivalente a 1cm adicional de carpeta asfáltica, originando de este modo un infradiseño de la estructura para el período requerido. Se recomienda que teniendo éstas consideraciones se considere la elaboración de una base en gestión de pavimentos con datos de EAL para rutas consideradas polos de desarrollo y expansión turístico y comerciales, con ello tener un recurso para el desarrollo de las regiones.
- El procedimiento en campo para la evaluación deflectométrica, depende de la pericia del técnico, la cantidad de puntos evaluados es considerable por Kilómetro (20 puntos por km y 3 lecturas por punto), de los cuales depende la valoración del comportamiento de la estructura, en tal sentido sería recomendable el uso de los nuevos equipos para evaluación deflectométrica como Falling Weight Deflectometer (FWD), el cual también presentan fórmulas de correlación con los valores de Viga Benkelman. A diferencia que los procedimientos en campo son más modernos, rápidos y confiables, recomendado por AASHTO.



# ANEXO

1

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

CARRETERA CUSCO-COMBAPATA  
CUADRO DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CBR IN-SITU

Nº	KM	LADO	CBR (%)
1	0+000	DERECHO	15,6
2	1+050	IZQUIERDO	33,7
3	2+000	DERECHO	5,9
4	3+050	IZQUIERDO	S.D.
5	4+000	DERECHO	29,0
6	5+050	IZQUIERDO	S.D.
7	6+000	DERECHO	78,5
8	7+050	IZQUIERDO	22,6
9	8+000	DERECHO	12,4
10	9+050	IZQUIERDO	15,6
11	10+000	DERECHO	31,4
12	11+050	IZQUIERDO	S.D.
13	12+000	DERECHO	31,1
14	13+050	IZQUIERDO	18,3
15	14+000	DERECHO	73,1
16	15+050	IZQUIERDO	22,3
17	16+000	DERECHO	65,4
18	17+050	IZQUIERDO	S.D.
19	18+000	DERECHO	18,9
20	19+050	IZQUIERDO	35,5
21	20+000	DERECHO	35,1
22	21+050	IZQUIERDO	25,7
23	22+000	DERECHO	82,2
24	23+050	IZQUIERDO	18,9
25	24+000	DERECHO	29,5
26	25+050	IZQUIERDO	36,4
27	26+000	DERECHO	7,5
28	27+050	IZQUIERDO	85,2
29	28+000	DERECHO	12,5
30	29+050	IZQUIERDO	S.D.
31	30+000	DERECHO	S.D.
32	31+050	IZQUIERDO	25,0
33	32+000	DERECHO	22,5
34	33+050	IZQUIERDO	47,9
35	34+000	DERECHO	S.D.
36	35+050	IZQUIERDO	S.D.
37	36+000	DERECHO	S.D.
38	37+050	IZQUIERDO	44,5
39	38+000	DERECHO	5,8
40	39+050	IZQUIERDO	27,7
41	40+000	DERECHO	S.D.
42	41+050	IZQUIERDO	29,7
43	42+000	DERECHO	S.D.
44	43+050	IZQUIERDO	25,9
45	44+000	DERECHO	S.D.
46	45+050	IZQUIERDO	60,9
47	46+000	DERECHO	S.D.
48	47+050	IZQUIERDO	57,5
49	48+000	DERECHO	23,7

Nº	KM	LADO	CBR (%)
50	49+050	IZQUIERDO	20,9
51	50+000	DERECHO	92,0
52	51+050	IZQUIERDO	>100
53	52+000	DERECHO	52,9
54	53+050	IZQUIERDO	51,2
55	54+000	DERECHO	45,4
56	55+050	IZQUIERDO	67,7
57	56+000	DERECHO	95,7
58	57+050	IZQUIERDO	> 100
59	58+000	DERECHO	32,4
60	59+050	IZQUIERDO	79,5
61	60+000	DERECHO	23,7
62	61+050	IZQUIERDO	S.D.
63	62+000	DERECHO	S.D.
64	63+050	IZQUIERDO	S.D.
65	64+000	DERECHO	S.D.
66	65+050	IZQUIERDO	S.D.
67	66+000	DERECHO	> 100
68	67+050	IZQUIERDO	61,3
69	68+000	DERECHO	S.D.
70	69+050	IZQUIERDO	S.D.
71	70+000	DERECHO	S.D.
72	71+050	IZQUIERDO	51,2
73	72+000	DERECHO	> 100
74	73+050	IZQUIERDO	77,2
75	74+000	DERECHO	10,5
76	75+050	IZQUIERDO	98,0
77	76+000	DERECHO	98,7
78	77+050	IZQUIERDO	S.D.
79	78+000	DERECHO	47,2
80	79+050	IZQUIERDO	48,8
81	80+000	DERECHO	58,3
82	81+050	IZQUIERDO	17,6
83	82+000	DERECHO	45,5
84	83+050	IZQUIERDO	60,4
85	84+000	DERECHO	S.D.
86	85+050	IZQUIERDO	87,8
87	86+000	DERECHO	53,6
88	87+050	IZQUIERDO	45,9
89	88+000	DERECHO	5,8
90	89+050	IZQUIERDO	34,2
91	90+000	DERECHO	11,5
92	91+050	IZQUIERDO	53,6
93	92+000	DERECHO	83,9
94	93+050	IZQUIERDO	36,8
95	94+000	DERECHO	23,6
96	95+050	IZQUIERDO	46,1
97	96+000	DERECHO	82,2

S.D. = SIN DATOS (suelo muy gravoso no permitió efectuar el ensayo)

# **ANEXO**

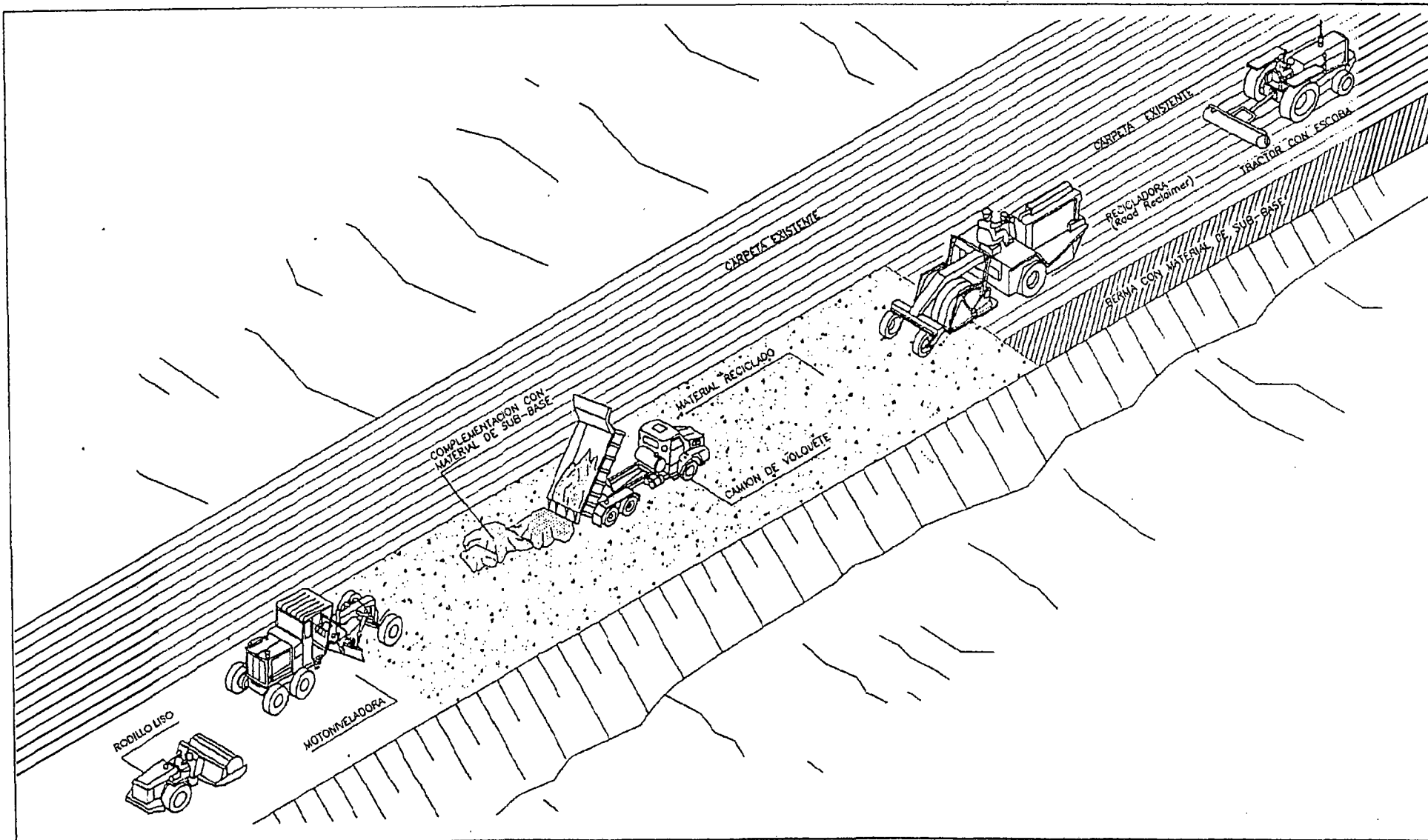
**2**

REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO:  
TRAMO: CUSCO (SAN JERÓNIMO) - COMBAPATA

---

## **Descripción gráfica y fotográfica procedimiento en obra**

---



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:  
 "ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS"

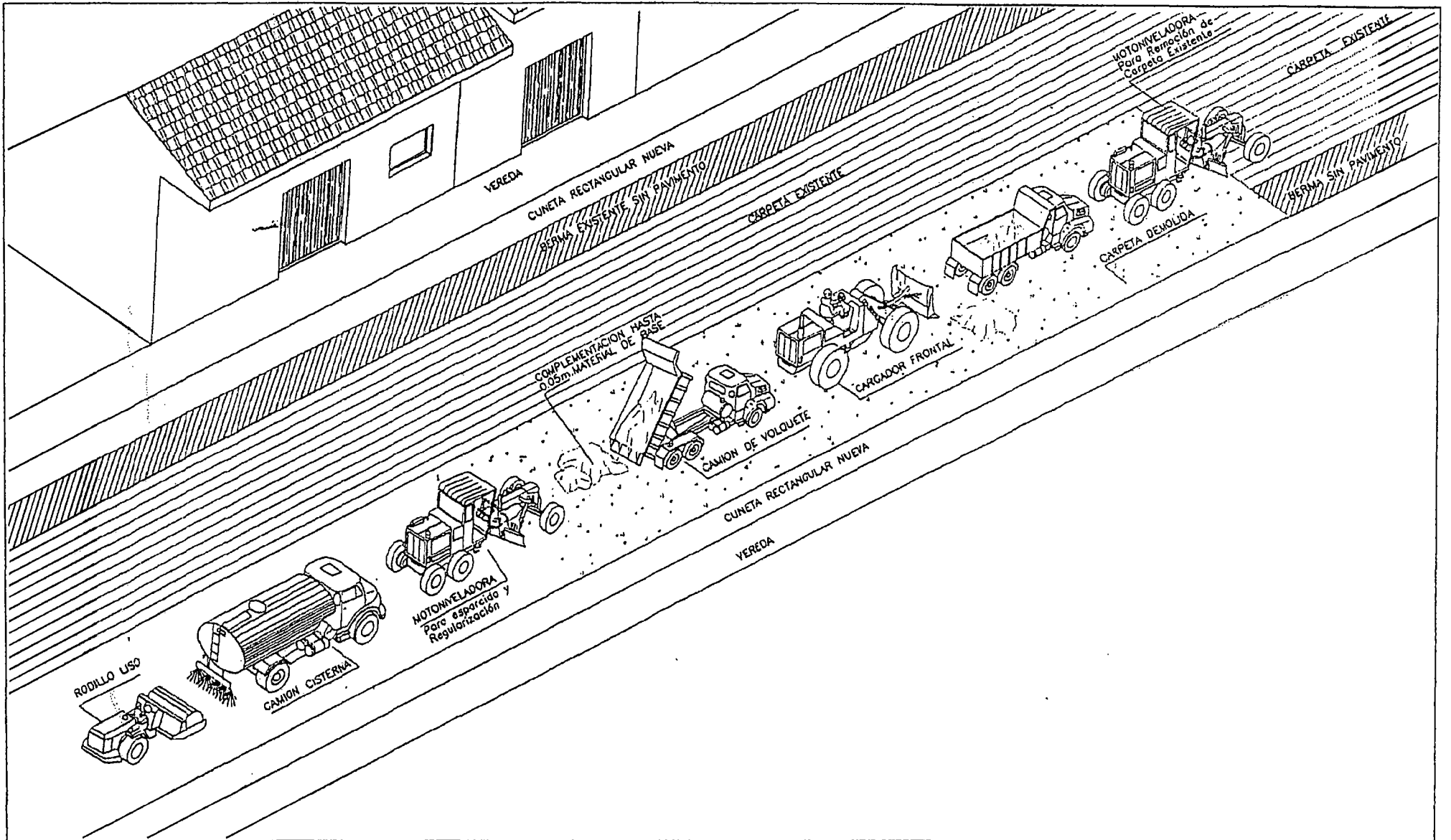
ZONAS RURALES - MOVIMIENTO DE TIERRAS Y PAVIMENTO  
 Recuperación de Pavimento Asfáltico para conformar nueva Sub rasante  
 Procedimiento en la Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca - Descauadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) - Combaata

Escala: Variable

Tesisista: E. Calderón C.  
 Asesor: W. Gutiérrez I.  
 Co Asesor: G. Uerena C.

**ZR**

\*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:  
 "ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS"

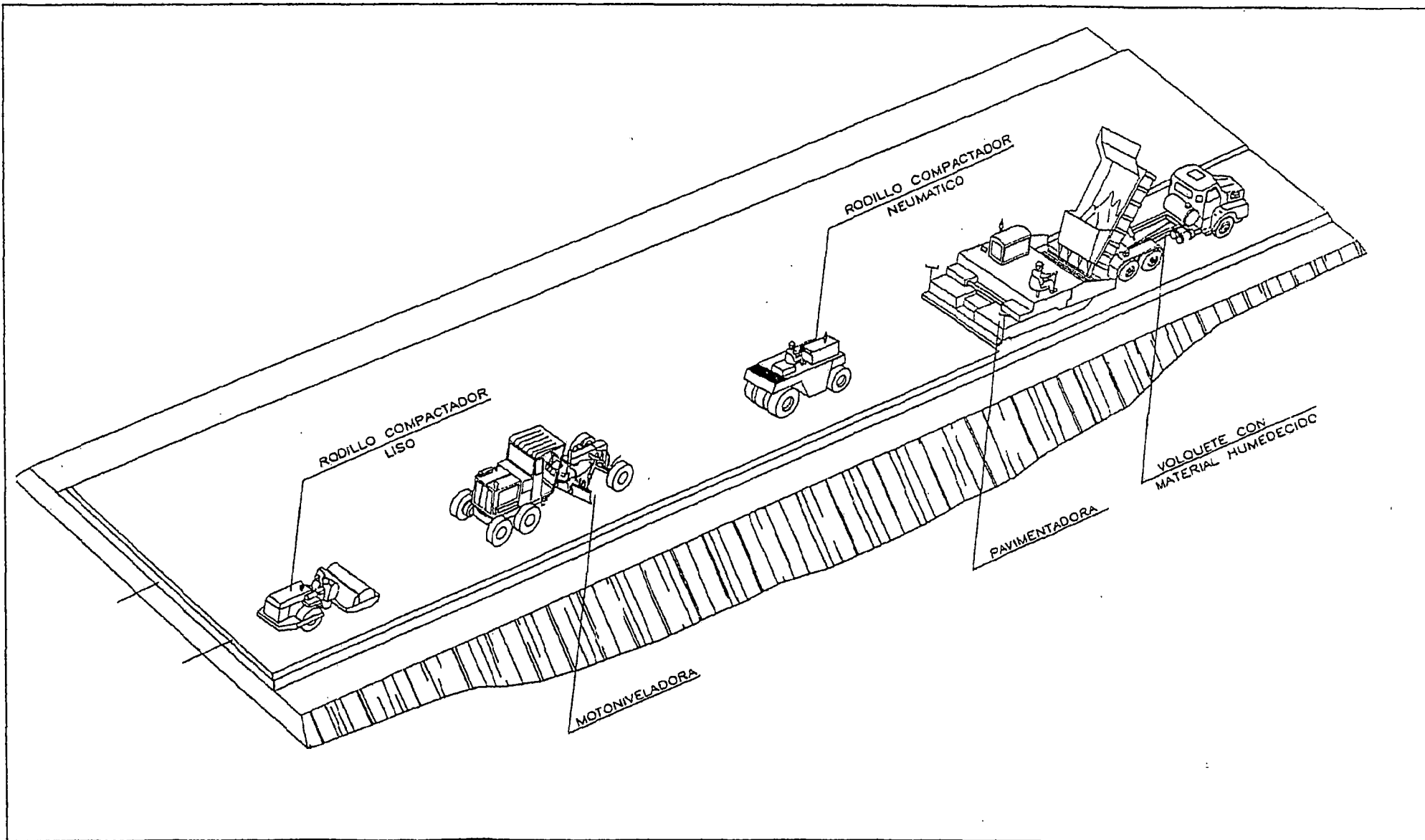
ZONAS URBANA - MOVIMIENTO DE TIERRAS Y PAVIMENTO  
 Construcción de Pavimento en Zonas Urbanas  
 Procedimiento en la Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca - Desaguadero tramo: Cuzco I San Jerónimo I Combaata

Escala : Variable

Tesista : E. Calderón C.  
 Asesor : W. Gutiérrez L.  
 Co Asesor : G. Llerena C

**ZU**

\*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:  
 "ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS"

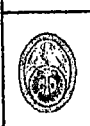
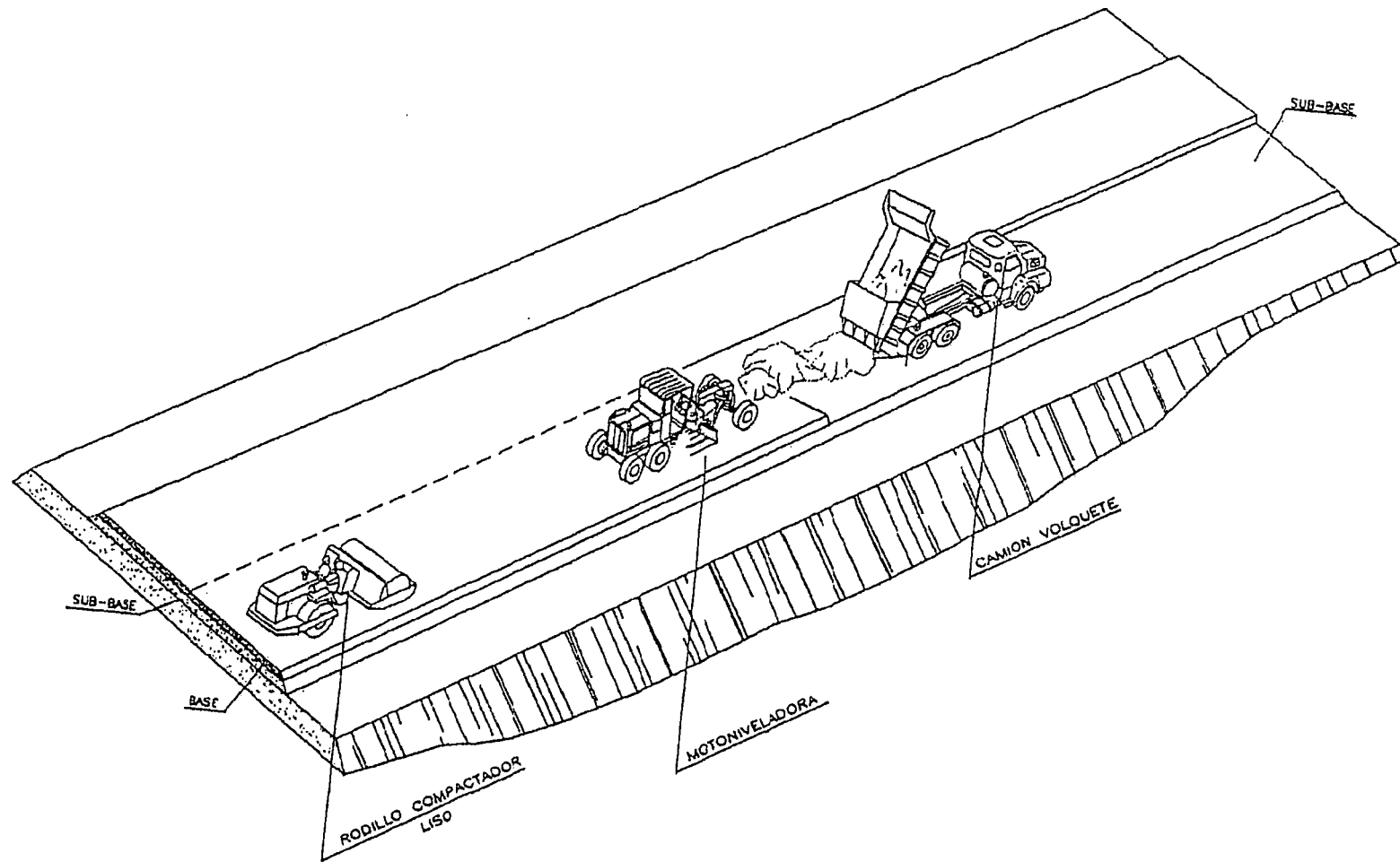
**BASE GRANULAR**

Procedimiento en la Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca - Desaguadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) -Combapata

Escala : Variable

Tesista : E. Calderón C.  
 Asesor : W. Gutiérrez L.  
 Co Asesor : G. Herrera C.

**BG**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

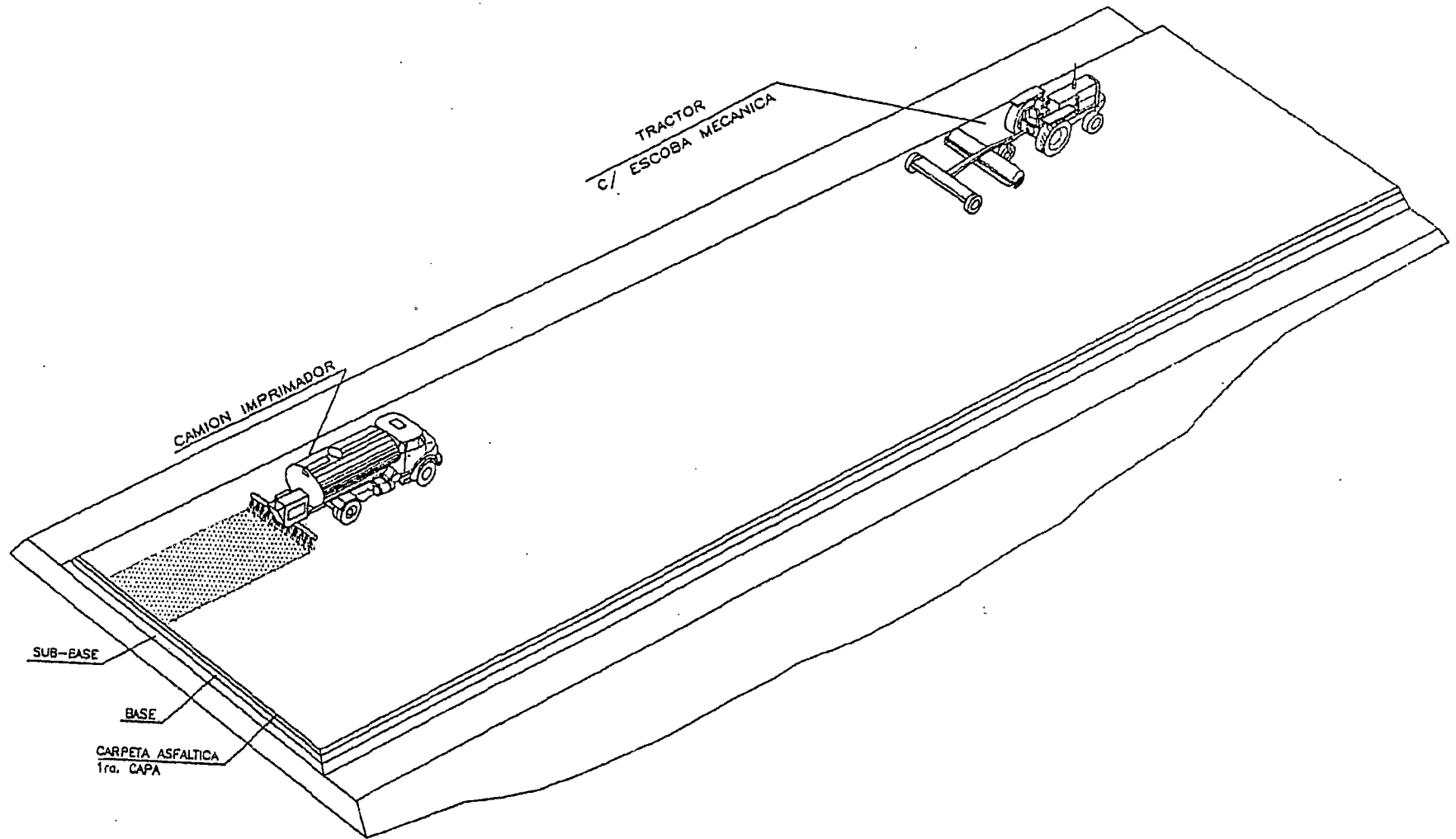
Tema de TESIS:  
 "ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS"

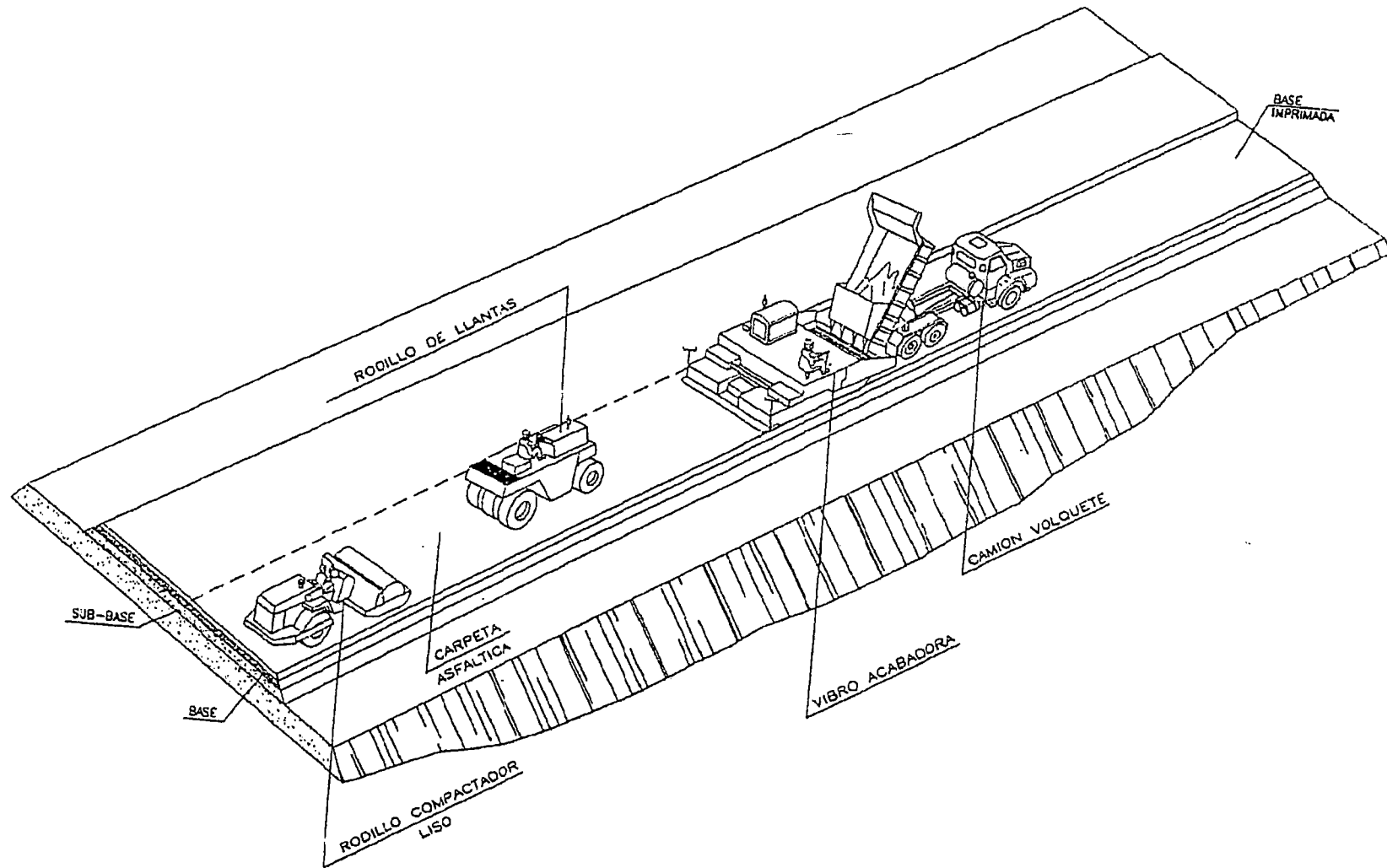
BASE GRANULAR ( Metodología con Motoniveladora )  
 Procedimiento en la Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca - Desaguadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) -Combapata

Escala : Variable  
 Tesista : E. Calderón C.  
 Asesor : W. Gutiérrez I.  
 Co Asesor : G. Llerena C

**BG**  
 \*  
 -







UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:

"ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS  
AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS"

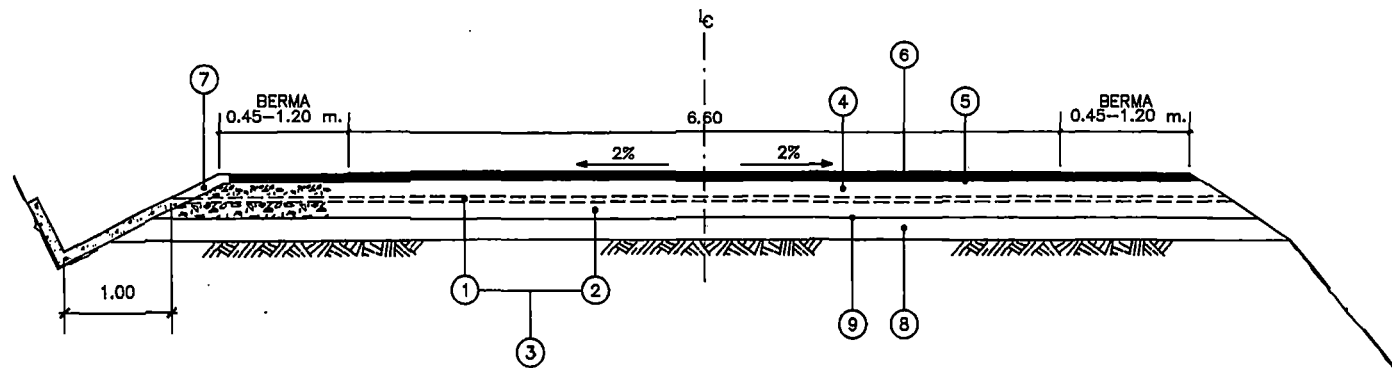
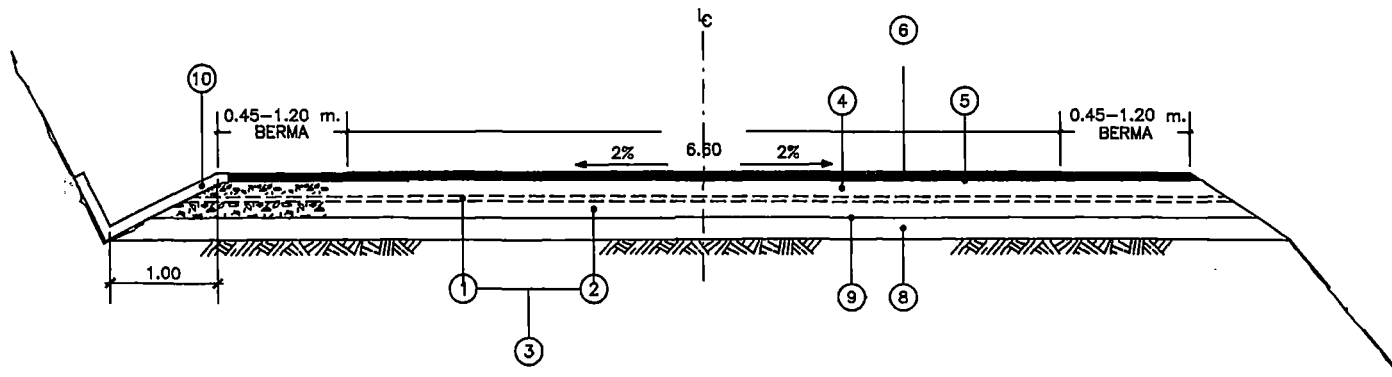
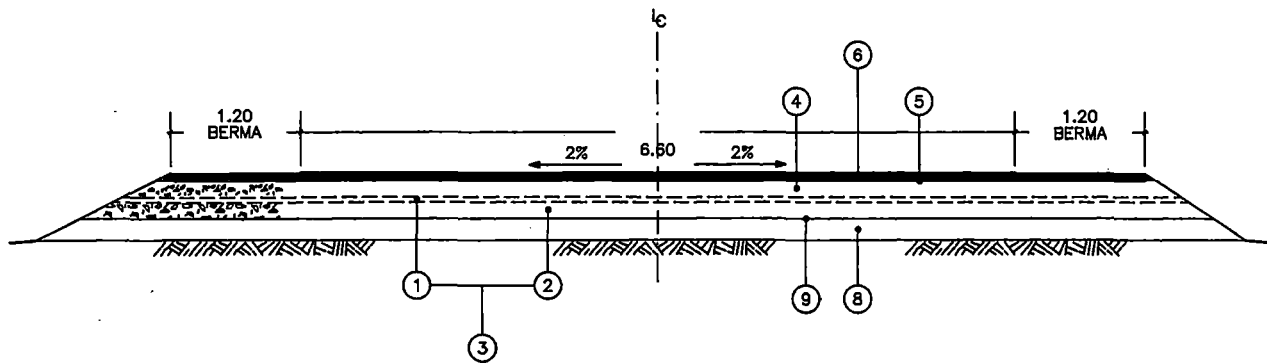
PAVIMENTO - CARPETA ASFALTICA  
Metodología de construcción de 1 Carril  
Procedimiento en la Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco -  
Juliaca - Desguadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) - Combapata

Escala :  
Variable

Tesisista : E. Calderón C.  
Asesor : W. Gutiérrez I.  
Co Asesor : G. Llerena C

**CP**

## SECCION TIPICA ZONAS RURALES



## DESCRIPCION

- ① CARPETA ASFALTICA EXISTENTE  $e=0.05m.$
- ② BASE GRANULAR EXISTENTE  $e=0.15m.$
- ③ FRESADO DE LA CARPETA ASFALTICA DE 0.05m. DE ESPESOR CON LA BASE EXISTENTE DE 0.15m.
- ④ BASE GRANULAR NUEVA  $e=0.15m.$
- ⑤ IMPRIMACION.
- ⑥ CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE  $e=0.075m.$
- ⑦ AMPLIACION DE CUNETA.
- ⑧ SUB-BASE EXISTENTE
- ⑨ NIVEL INFERIOR DE FRESADO.
- ⑩ CUNETA REVESTIDA

km 1+800 - km 7+100  
 km 7+730 - km 7+900  
 km 8+550 - km 8+980  
 km 11+740 - km 13+710  
 km 14+100 - km 17+150  
 km 18+450 - km 27+300  
 km 27+670 - km 27+920  
 km 28+050 - km 29+170  
 km 29+850 - km 33+570  
 km 34+100 - km 35+380  
 km 36+680 - km 39+305  
 km 39+370 - km 43+920  
 km 44+800 - km 50+970  
 km 51+750 - km 54+850  
 km 55+970 - km 59+450  
 km 60+540 - km 64+700  
 km 65+600 - km 70+340  
 km 71+250 - km 90+420  
 km 90+695 - km 96+358



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:

"ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS"

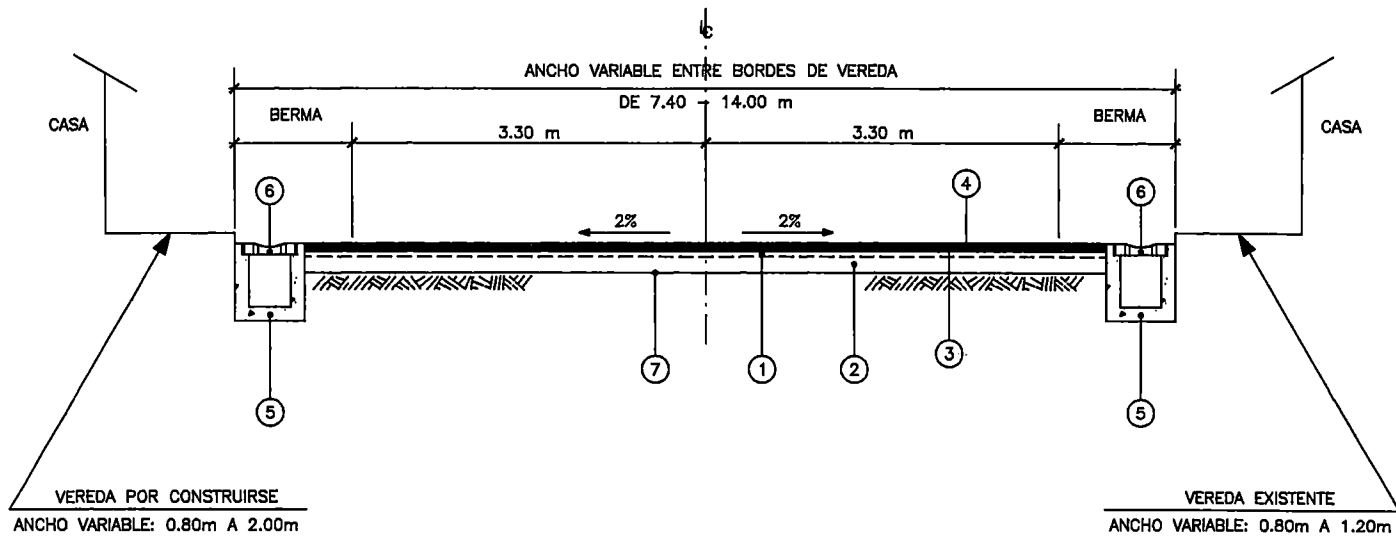
### SECCIONES TIPICAS

Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca - Desaguadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) -Combapata

Escala :  
 Indicada

Tesista : E. Calderón C.  
 Asesor : W. Gutiérrez I.  
 Co Asesor : G. Llerena C

**ST**



ZONA URBANA	PROGRESIVA	
SAN JERONIMO	0+000	1+800
SAYLLA	7+100	7+730
ANAHUAYLILLAS	29+170	29+850
HUARO	33+570	34+100
URCOS	35+380	36+680
TTIO	50+970	51+750
QUIQUIJANA	59+450	60+540
PAMPACOLCA	64+700	65+600
CUSIPATA	70+340	71+250

DESCRIPCION

- ① CARPETA ASFALTICA EXISTENTE e=0.05 m
- ② BASE GRANULAR EXISTENTE DE 0.15 m
- ③ REMOCION DE CARPETA ASFALTICA EXISTENTE
- ④ CARPETA ASFALTICA NUEVA e=0.125 m
- ⑤ CUNETA RECTANGULAR REVESTIDA
- ⑥ TAPA PREFABRICADA
- ⑦ NIVEL DE CONTROL

0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 m



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:

" ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS "

SECCIONES TYPICAS

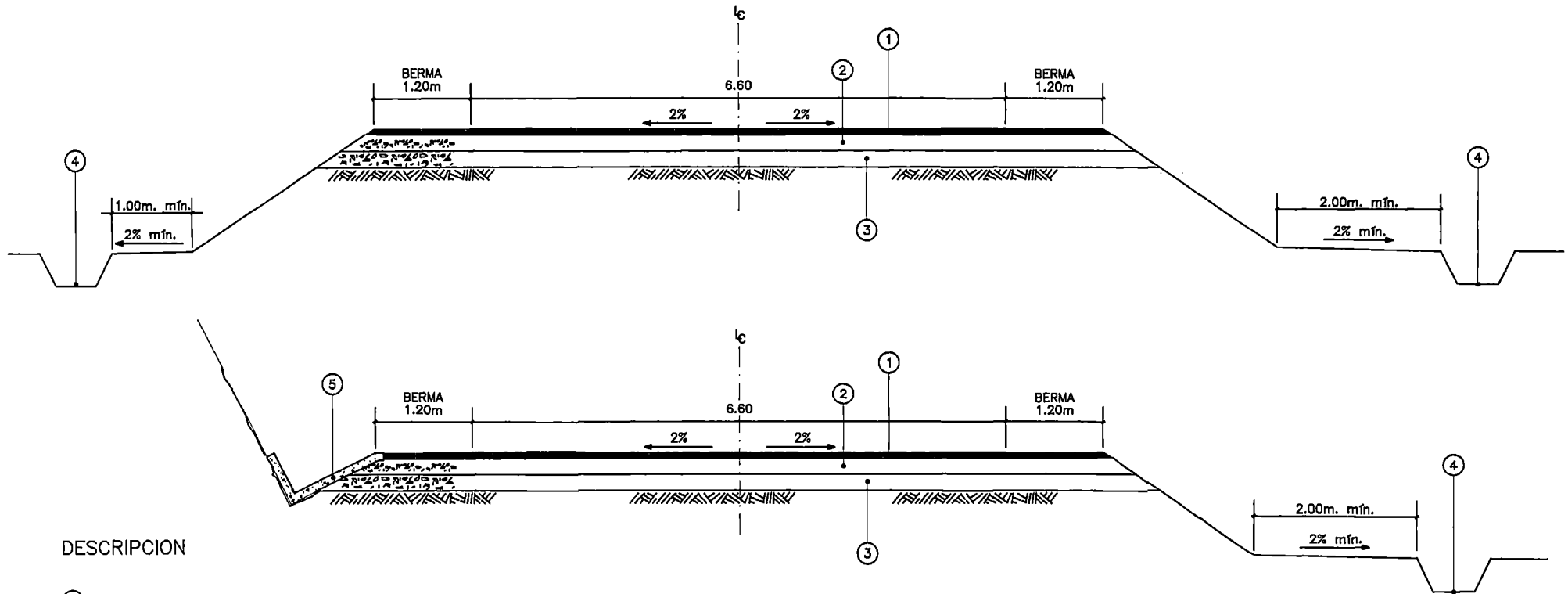
Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca - Desaguadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) -Combapata

Escala :  
Indicada

Tesista : E. Calderón C.  
Asesor : W. Gutiérrez .L.  
Co Asesor :G. Llerena C

**ST**

## SECCION TIPICA ZONA DE VARIANTES



### DESCRIPCION

- ① CARPETA ASFALTICA:  $e=0.075m$ .
- ② BASE GRANULAR PROCESADA:  $e=0.20m$
- ③ SUB-BASE:  $e=0.20m$ .
- ④ ZANJA DE DRENAJE LONGITUDINAL.
- ⑤ CUNETETA REVESTIDA.

VARIANTE CHUPANHUARO km 43+920 - E.E. km 44+800  
 VARIANTE ACCOPATA km 54+850 - E.E. km 55+970  
 VARIANTE km 90+500 : km 90+420 - km 90+695  
 VARIANTE MUÑAPATA km 39+305 - km 39+370

0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 m



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:

“ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS”

### SECCIONES TIPICAS

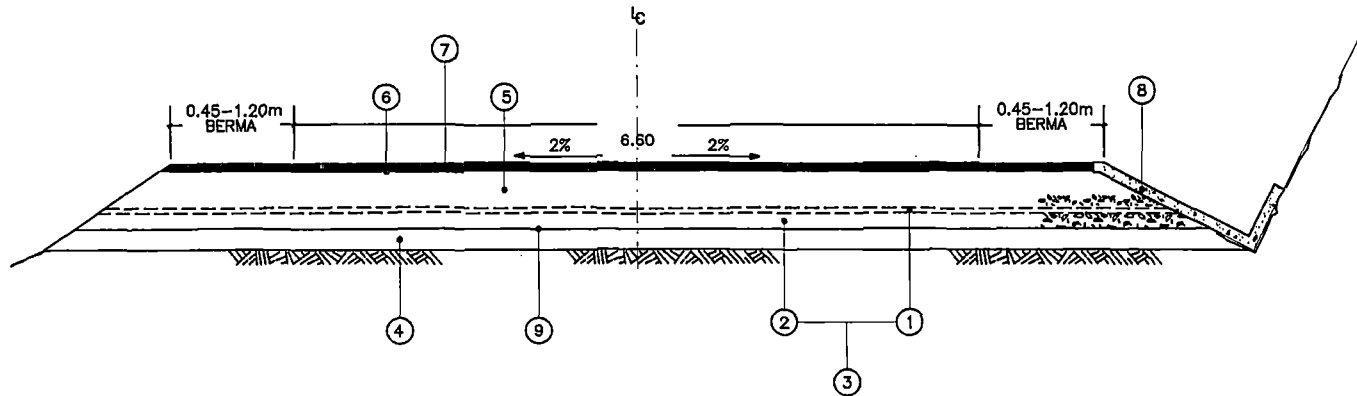
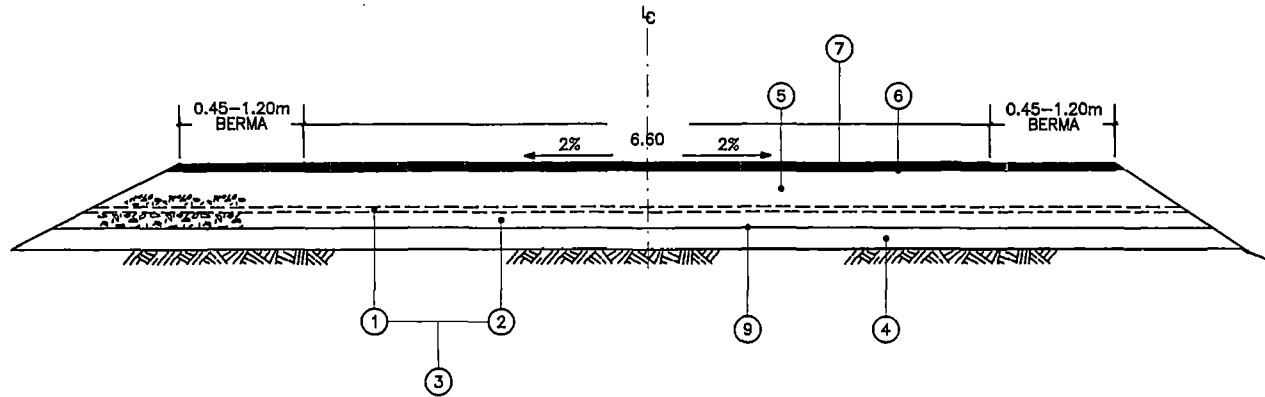
Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca -  
 Desaguadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) -Combapata

Escala :  
Indicada

Tesista : E. Calderón C.  
 Asesor : W. Gutiérrez L.  
 Co Asesor : G. Llerena C

ST

SECCION TIPICA  
ZONAS CON ELEVACION DE RASANTE



DESCRIPCION

- ① CARPETA ASFALTICA EXISTENTE  $e=0.05m$ .
- ② BASE GRANULAR EXISTENTE  $e=0.15m$ .
- ③ FRESADO DE LA CARPETA ASFALTICA DE 0.05m. DE ESPESOR CON LA BASE EXISTENTE DE 0.15m. PARA CONFORMAR UNA SUB-BASE.
- ④ SUB-BASE EXISTENTE
- ⑤ ELEVACION RASANTE ACTUAL CON BASE GRANULAR PROCESADA  $e=0.35m$
- ⑥ IMPRIMACION.
- ⑦ CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE  $e=0.075m$ .
- ⑧ CUNETETA REVESTIDA.
- ⑨ NIVEL INFERIOR DE FRESADO.

km 7+900 - km 8+550  
 km 8+980 - km 11+740  
 km 13+710 - km 14+100  
 km 17+150 - km 18+450  
 km 27+300 - km 27+670  
 km 27+920 - km 28+050

0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 m



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:

"ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS"

SECCIONES TIPICAS

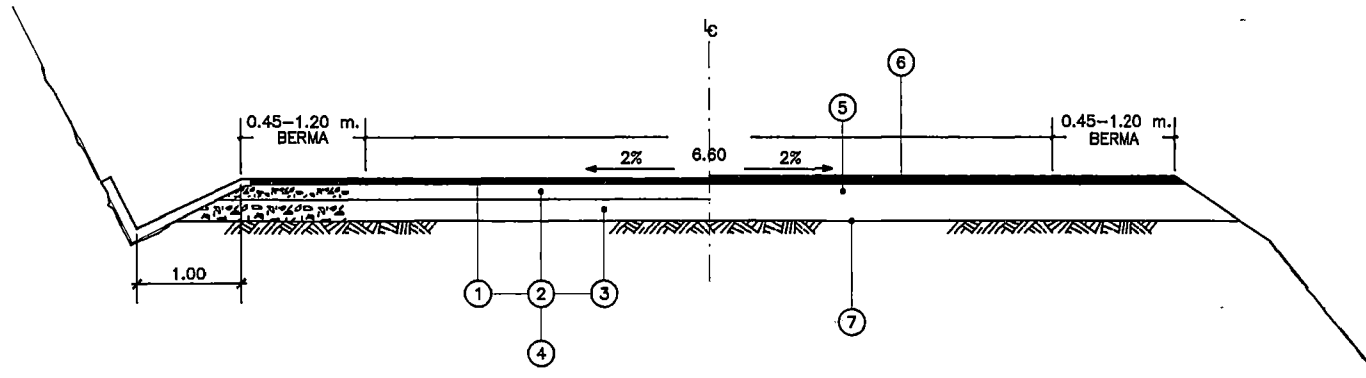
Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca - Desaguadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) -Combapata

Escala :  
Indicada

Tesista : E. Calderón C.  
 Asesor : W. Gutiérrez L.  
 Co Asesor : G. Llerena C

ST

### SECCION TIPICA TRANSICIONES



#### NOTA

- LAS TRANSICIONES SE APLICAN EN UNA LONGITUD PROMEDIA DE 170m A LA ENTRADA Y LA SALIDA DE:

PUENTE ANGOSTURA	3+092	3+121
LINEA FERREA	6+892	6+896
PUENTE URCOS, PASO A DESNIVEL	36+678	36+709
PUENTE URCOS	36+887	36+948
PUENTE CACHIMAYO	40+284	40+345
PUENTE UCHUIMAYO	57+250	57+286
PUENTE CUSIPATA	70+263	70+324
PUENTE CHECACUPE	87+638	87+677
PUENTE COMBAPATA	96+358	

#### DESCRIPCION

- ① CARPETA ASFALTICA EXISTENTE  $e=0.05m$ .
- ② BASE GRANULAR EXISTENTE  $e=0.15m$ .
- ③ SUB-BASE GRANULAR EXISTENTE  $e=0.15m$
- ④ REMOCION DE CARPETA BASE Y SUB-BASE EXISTENTE
- ⑤ BASE GRANULAR NUEVA  $e=0.35m$
- ⑥ CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE  $e=0.075m$ .
- ⑦ NIVEL DE REBRASANTE
- ⑧ CUNETA REVESTIDA

0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 m



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE MECANICA DE SUELOS

Tema de TESIS:

" ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA RECUPERACION DE CAMINOS "

#### SECCIONES TIPICAS

Obra: Rehabilitación de la Carretera Cusco - Juliaca -  
Desaguadero tramo: Cuzco (San Jerónimo) -Combapata

Escala :  
Indicada

Tesista : E. Calderón C.  
Asesor : W. Gutiérrez L.  
Co Asesor : G. Llerena C

**ST**

## A2 DESCRIPCIÓN FOTOGRÁFICA DE LA EJECUCIÓN CONSTRUCTIVA

### A2.1 RECUPERACION DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PARA CONFORMAR UNA NUEVA SUB BASE

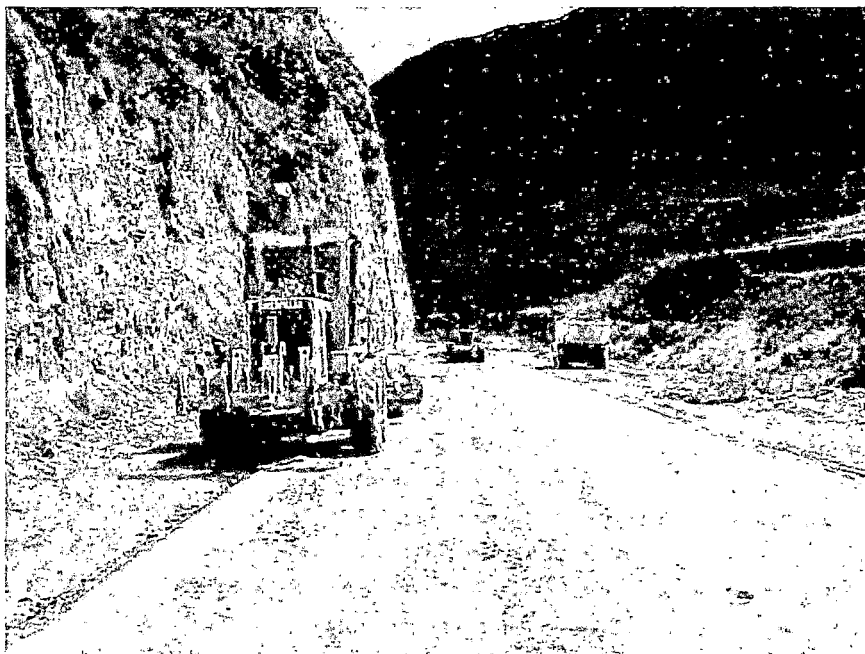
#### **Descripción**

Este trabajo consiste en recuperar la carpeta asfáltica y la base granular existentes y adicionar material de sub base granular para conformar una nueva sub base granular.

#### **Construcción**

El trabajo se inicia con la preparación de la superficie existente:

- Excavando 10 cm de profundidad en las bermas para la ampliación de estas y construcción de una plataforma continua de berma y calzada con MAC, la cual permitirá que no exista unión entre ellas que en anteriores oportunidades ha causado daño, dado el clima: Una motoniveladora provista con uñas y cuchilla la efectúa el trabajo.



PERFILADO DE BERMAS CON MOTONIVELADORA



- El material de bermas es acopiado al costado de la vía y eliminado de ser inapropiado o esparcido en el lugar. El material inapropiado es eliminado con cargo a la partida: Excavación no clasificada; utilizando cargador frontal y volquetes.



TRABAJO EN BERMA COMPLETANDO CON MATERIAL DE SUBBASE

- Completando las bermas con material de sub base granular cumpliendo con los nuevos niveles de diseño.
- Barrido ejecutada con una barredora mecánica y/o soplado con compresora de la superficie de pavimentos que deberá encontrarse limpia.
- La recuperación se efectúa a temperatura ambiente y sin adición de ningún aditivo, salvo el agua para la humedad óptima, según lo definido a profundidad de 20 cm (5 de carpeta + 15 de base antigua), utilizando para ello la recuperadora y el tanque cisterna.



TAMBOR DE LA RECUPERADORA AL INICIO DE UNA LABOR PARA ALCANZAR LA PROFUNDIDAD DE 20cm CONTROLADOS POR LA LONGITUD DEL CILINDRO DE PROFUNDIDAD MOSTRADO



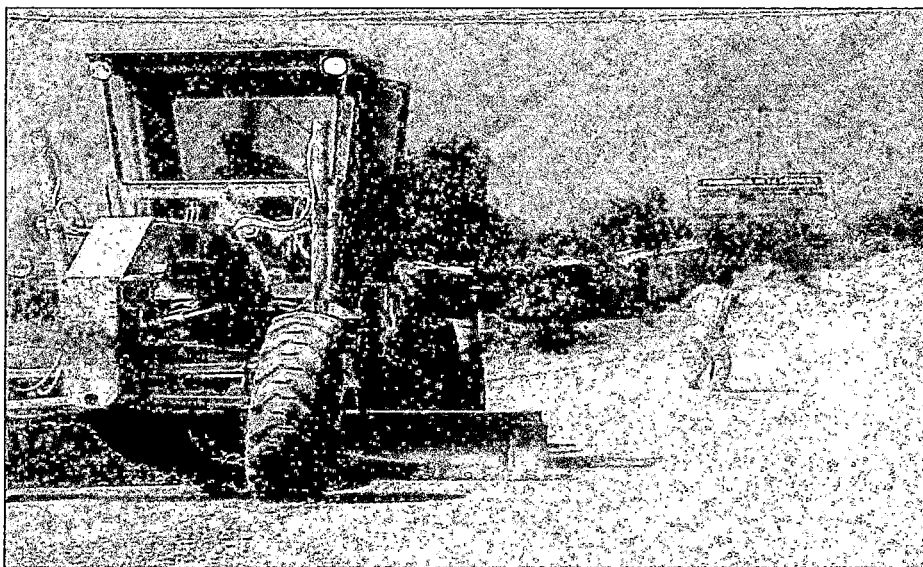
TREN DE LA RECUPERACIÓN, SEGUNDO SEGMENTO RECUPERADO, PERSONAL ASISTIENDO CONTROL DE GRADACIÓN, EL CUAL DEBERA SER MAX DE 2" , LOS QUE SOBREPASEN SERAN ELIMINADOS MANUALMENTE, PROFUNDIDAD Y POSTERIOR CAMBIO DE BITS

- En gran parte de la vía por diseño geométrico se debió añadir material de subbase para alcanzar cotas proyectadas evitando la contaminación con otros suelos.



CONFORMACIÓN DE SUBBASE CON MATERIAL RECUPERADO Y MATERIAL DE SÚB BASE DE CANTERAS

- Terminado el fresado y adicionado el material de la subbase granular faltante, se procede a la homogenización de toda la capa, suavizando los bordes al término de cada jornada para transitabilidad, la extensión se realizó con motoniveladora o manualmente en los sitios de difícil acceso.



PERFILADO DE NIVELES DE SÚB BASE CON MOTONIVELADORA

- La compactación se efectuó con rodillos compactadores, dinámicos y neumáticos con ruedas oscilantes. La compactación se empezó de los bordes hacia el centro, con pasadas en la dirección del eje de la vía.
- Al término de la compactación se dió paso a los controles establecidos en pista; densidad de campo ASTM D1556, compactación 95% de la máxima densidad seca del ensayo Próctor Modificado (AASHTO T-180, método D), deflectometría y en laboratorio los Especificados según controles



COMPACTACION DE SUB BASE ; RACIONALIZANDO EL TRAFICO

- En todo momento se requirió de la debida señalización y provisión de seguridad vial mediante personal, banderilleros, señales en letreros, pues la interrupción de un carril en la jornada de labor congestionaba a momentos el tráfico.

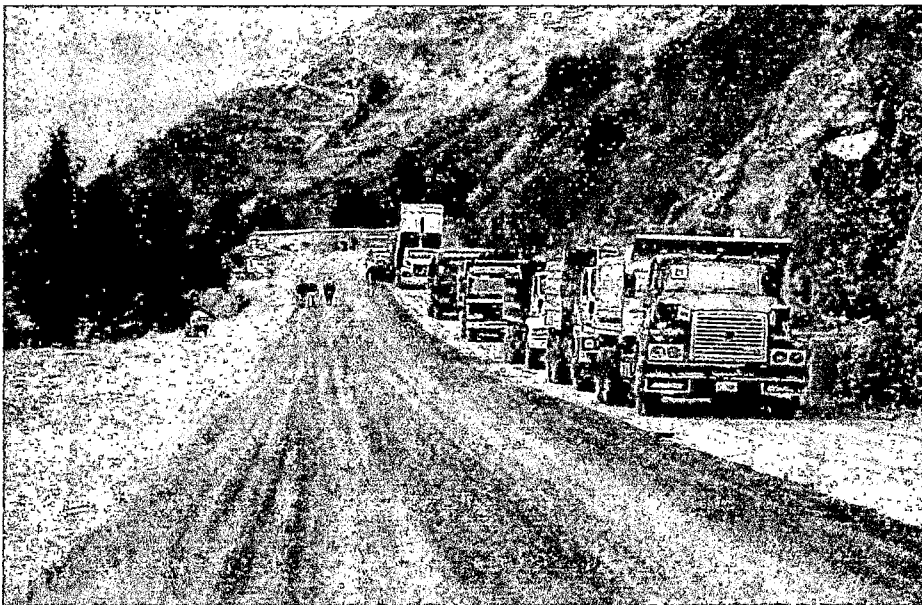
## **A2.2 CONFORMACION DE BASE GRANULAR**

### **Descripción**

Esta partida comprende los aspectos relativos a la construcción de una capa de fundación, compuesta de piedra fracturada por trituración en forma artificial, arena y finos, construida sobre una superficie debidamente preparada, perfilada y compactada y en conformidad con los alineamientos, rasantes y secciones transversales típicas, indicadas en los planos.

### **Construcción**

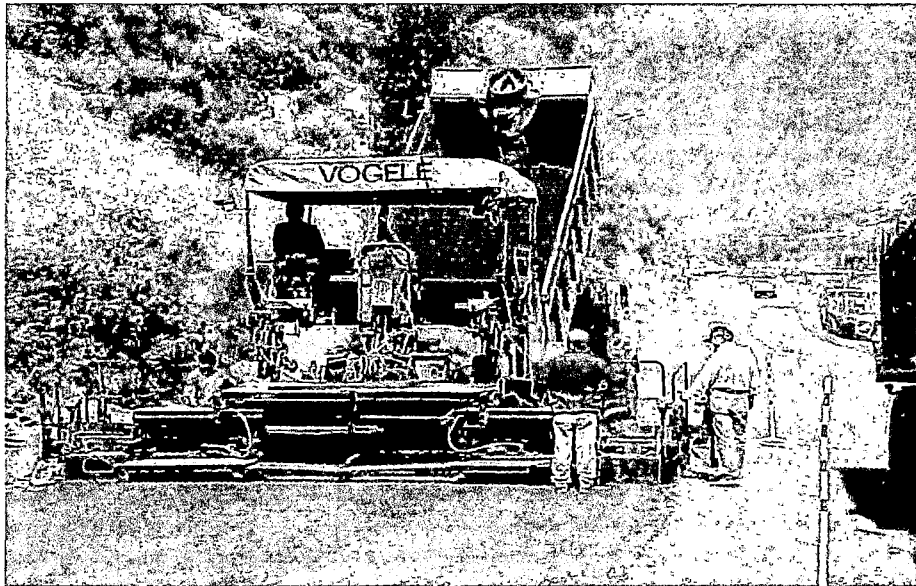
- Los materiales son traídos de canteras con las características técnicas exigidas para este material



TREN DE ELABORACIÓN DE BASE CON ESPARCIDORA , PREVISIÓN DE ABASTECIMIENTO DE MATERIAL PARA LOGRAR RENDIMIENTOS DESEADOS

- El material de la capa de base es colocado sobre la sub base debidamente preparada, perfilada y compactada.
- El material es colocado y esparcido en una capa uniforme y sin segregación de tamaño, con un espesor suelto tal que la capa tenga, después de ser compactada, el espesor requerido. Se efectuó el extendido del material con la esparcidora, esparcido en hileras. El trabajo con motoniveladora es restringido debido a la pérdida de material y tiempo que genera. La adición de agua, puede efectuarse en planta o en

pista, siempre y cuando la humedad de compactación se encuentre entre los rangos establecidos.



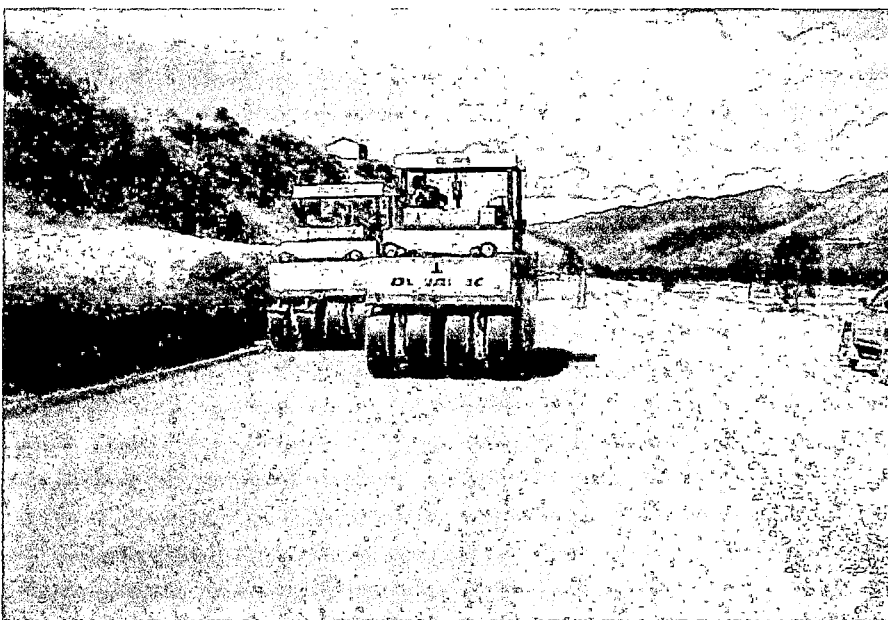
PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE BASE CON ESPARCIDORA

- La compactación se realiza rodillos lisos vibratorios autopropulsados, de 12 toneladas de peso mínimo e inmediatamente después de terminada la distribución y/o emparejamiento del material, el espesor de la base terminada no deberá diferir en  $\pm 1$  cm de lo indicado en los planos
- Cada  $80 \text{ m}^3$  de material, medidos después de la compactación, son sometidos a por lo menos una hora de rodillado continuo. Dicho rodillado deberá progresar gradualmente desde los costados hacia el centro, en sentido paralelo al eje del camino, y continua así hasta que toda la superficie haya recibido este tratamiento. De presentarse irregularidades se afloja el material, agregando o quitando y se vuelve a repetir el proceso.



COMPACTACION DE BASE EN TODO EN ANCHO CON RODILLOS RODILLO TÁNDEM

- Efectuándose seguidamente los ensayos de control de campo: densidad-humedad cada  $450 \text{ m}^2$  de material colocado de comprobarse que la densidad resulta inferior al 100% de la densidad máxima determinada en el Laboratorio en el ensayo ASTM D-1557, se deberá completar con el rodillado y/o apisonado adicional, en la cantidad que fuese necesario para obtener la densidad señalada, Se efectua además mediciones de deflexión con viga Benkelman doble siendo coincidentes estos puntos en todas las capas del pavimento, para detección de deflexiones que indiquen mal comportamiento.



COMPACTACION DE BASE CON RODILLOS NEUMÁTICOS



## **A2.3 CONFORMACION DE CARPETA ASFÁLTICA**

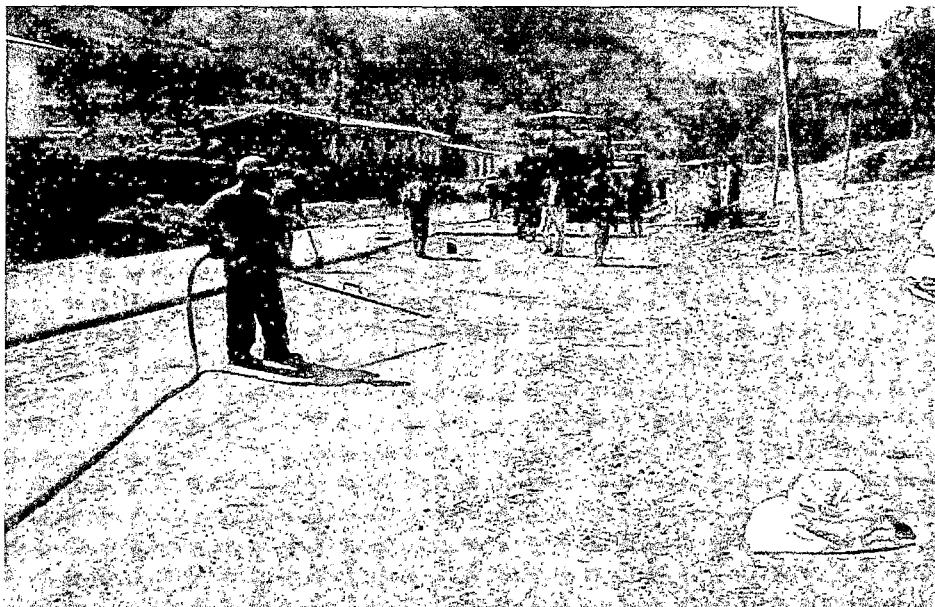
### **Descripción**

Este trabajo consiste en una capa de mezcla asfáltica, construida sobre una superficie debidamente preparada, de acuerdo con las Especificaciones adecuadas en Obra.

La colocación de la mezcla asfáltica de rodadura, se realiza previo trabajo de imprimación, nivelación longitudinal y transversal sobre la superficie de rodadura asfáltica o de base existente de modo de obtener una rasante proyectada topográficamente.

### **Construcción**

- Limitaciones climáticas: Se coloca la mezcla únicamente cuando la base se encuentre seca, la temperatura atmosférica a la sombra sea superior a 10°C y el tiempo no se presente neblinoso ni lluvioso; además la base preparada debe estar imprimada y en condiciones satisfactorias

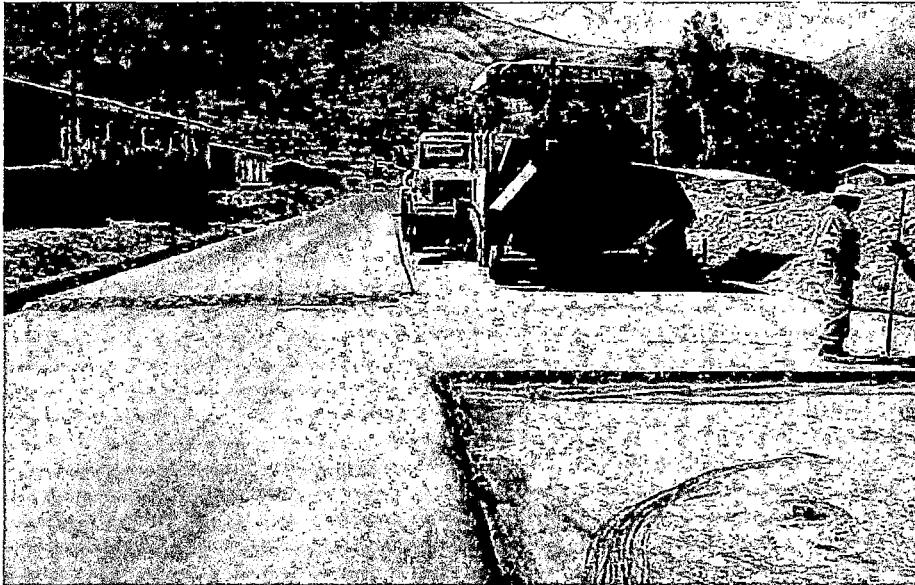


**LIMPIEZA DE PARTICULAS DE LA SUPERFICIE IMPRIMADA USANDO COMPRESORA  
PREVIO A LA COLOCACIÓN DEL MAC**



La distribución de la mezcla la realiza una pavimentadora, de acuerdo con los alineamientos, pendientes y perfil de la obra asistida de sensores, guiados por un alineamiento topográfico.

La mezcla a la salida de la planta tendrá una temperatura no mayor de 140°C



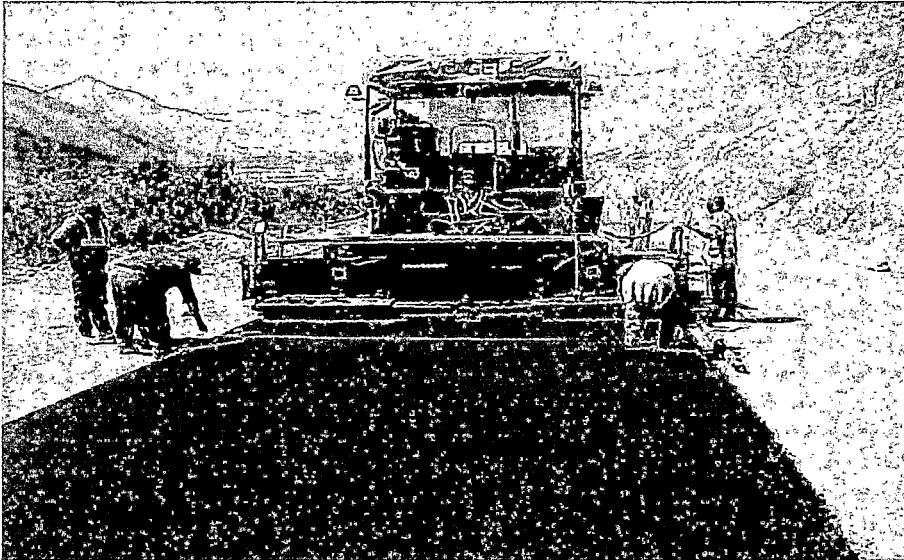
JUNTAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARPETA ASFALTICA, CUBIERTAS CON ASFALTO DESPUÉS DE LA LIMPIEZA , DE PREVIO A LA COLOCACIÓN DEL MAC



TRAMO RECIENTE IMPRIMADO SIN TRAFICO

## Distribución y terminación

La temperatura de colocación de la mezcla asfáltica en la base imprimada será 120°C mínimo. Al llegar al lugar de empleo, la mezcla será distribuida en un espesor razonable para conseguir un espesor final compactado de 7.5 cm, conforme al perfil tipo de obra que se quiera lograr, efectuándose en una vía.

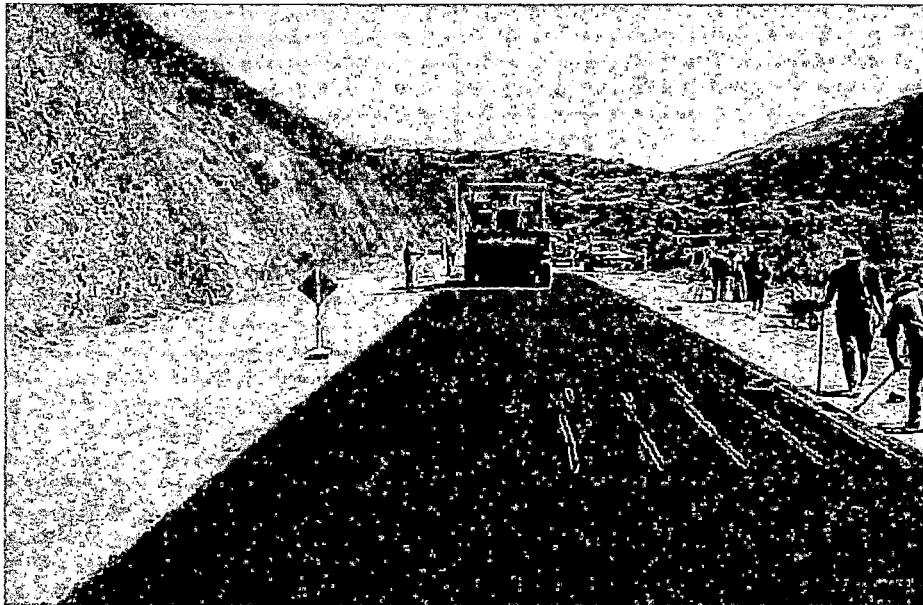


TRABAJO CON PAVIMENTADORA . VERIFICACIÓN DE TEMPERATURA, ESPESORES, GUIAS DE SENSORES, TEXTURA DE LA MEZCLA

## Compactación

- Inmediatamente después que la mezcla haya sido repartida y emparejada, la superficie se verifica, nivelando todas las irregularidades comprobadas en la misma y compactada intensa y uniformemente por medio de rodillo.
- El trabajo de compactación se ejecuta cuando la mezcla esta en las condiciones requeridas y no produzca, desplazamientos indebidos o agrietamientos de la mezcla.
- El ingreso en primer lugar en tramos tangentes del rodillo liso tanto como al final de la compactación es a mínimo a 120° C.
- Inmediatamente después del rodillado inicial, la mezcla será compactada íntegramente mediante el uso de un rodillo neumático autopulsado entre los 120° a 130° C; ingresa el rodillo neumático más liviano de 65 lb , el cual se ve que ahueca la carpeta , luego el más pesado de 75 lb. Este proceso debe concluir mínimo a 90°C

- La compactación es verificada, empleando testigos extraídos de la mezcla compactada.



RODILLADO PARA LA COMPACTACION DE MAC, PERFILADO MANUAL DE LOS BORDES CON RASTRILLO , EL AHUELLAMIENTO INICIAL DESAPARECE CON EL FIN DE LA COMPACTACION

- Las operaciones de compactación empezaron por los costados avanzando gradualmente hacia el centro, excepto en curvas, donde el proceso se inicio en el borde inferior y avanzando hacia el superior, siempre en sentido longitudinal. hasta que toda la superficie haya quedado compactada. Las distintas pasadas del rodillo terminaron en puntos de parada distantes 1 m por lo menos de los puntos de parada anteriores.
- El procedimiento es apoyado con rastras y adición de mezclas frescas cuando existen corrimientos pero principalmente el la junta longitudinal.

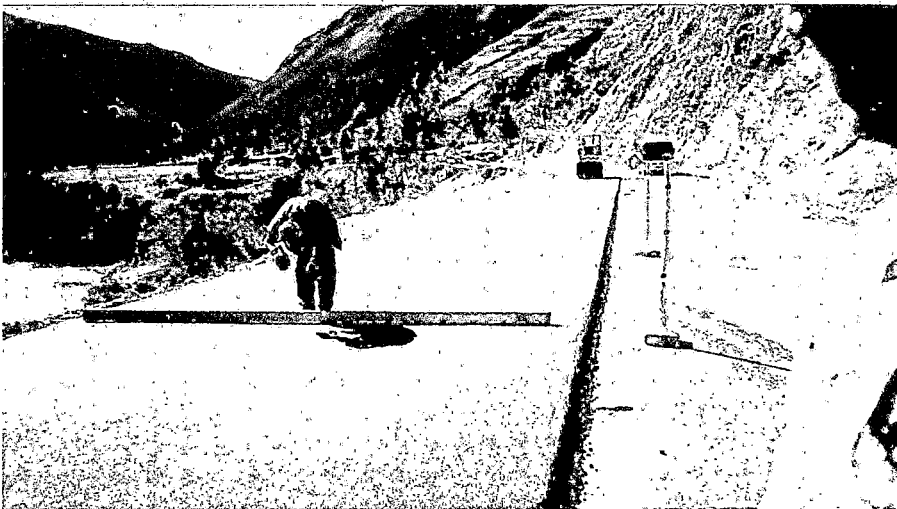


RODILLO TÁNDEM INGRESANDO EN TRAMO RECTO SEGUIDO POR EL RODILLO NEUMÁTICO,

- Para evitar la adhesión de la mezcla a las ruedas del rodillo, estas son mantenidas húmedas, pero sin exceso de agua. No se usa petróleo para el humedecimiento de las ruedas del rodillo; pero si jabones o detergentes disueltos en agua.

### Verificación

- La variación de la superficie entre dos contactos de la plantilla o de la regla, no exceden 3 mm. La corrección de las deformaciones, se da colocando mezcla fina e inmediatamente compactada, cuidando este acabado.



VERIFICACIÓN DE POSIBLES DEFORMACIONES

- La regularidad superficial de la carpeta, se determina en unidades IRI. Con el rugosímetro Merlín por tramos de 5 Km.
- Se efectuaron mediciones de deflexión en los dos carriles, en ambos sentidos cada 50 m y en forma alternada.



TREN DE EJECUCIÓN DE CARPETA CON MAC , SEGUNDA VIA



CULMINACIÓN DE UNA VIA APERTURA NDOLA AL TRAFICO PARA CONTINUAR  
LABORES EN LA VIA CONTIGUA,

**ANEXO**

**3**

### **A3 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

Debido a las condiciones de ubicación geográfica, características de altitud y clima, se indicaron recomendaciones especiales de zonas de altura a fin de contribuir a que las mezclas tengan un comportamiento adecuado frente a la agresividad del medio ambiente, en este anexo se presenta la propuesta de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto y la verificación en obra presentándose uno de los diseños, presentándose un cuadro resumen de lo que hasta la fecha son consideraciones para carpeta asfáltica en zonas de altura.

#### **A3.1 PROPUESTA DEL PROYECTO**

##### **A3.1.1 Materiales**

###### **Agregados minerales gruesos**

La proporción de los agregados, retenida en la Malla N° 8, se designará agregado grueso y se compondrá de piedra triturada, grava triturada o escoria triturada, Dichos materiales serán limpios, compactos y durables, no estarán recubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales no contendrán arcilla en terrones. Por lo que se debe proveer de un sistema adecuado para el lavado de los materiales.

Los agregados gruesos, deben cumplir con los ensayos mencionados en el Cuadro N° A3.1 , “Especificaciones de obra para agregado mineral grueso”.

###### **Agregados minerales finos**

La proporción de los agregados que pasan la malla N° 4, se designará agregado fino y se compondrá de arena natural y/o material obtenido de la trituración de piedra, grava o escoria, o de una combinación de los mismos.

Los agregados finos, deben cumplir con los ensayos mencionados en el Cuadro N° A3.2, “Especificaciones de obra para agregado mineral fino”.

### **Filler o Relleno Mineral**

El filler o relleno de origen mineral, empleado como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, se usará cal hidratada no plástica que deberá cumplir la norma AASHTO M 303-89. En proporción definida por ensayo Marshall y no menor a 1,0% del peso total de la mezcla

### **Cemento asfáltico**

El cemento asfáltico deberá tener un grado de penetración 85-100.

El cemento asfáltico será homogéneo, carecerá de agua y no formará espuma cuando sea calentado a 160°C. La temperatura máxima de calentamiento será 130° C.

### **Composición de la mezcla de agregados**

La granulometría de la mezcla de agregados propuesta fue la Gradación IV-a del MTC, cuyos límites se muestran en el Cuadro N° A3.4, “Composición granulométrica de la mezcla de agregados para Carpeta Asfáltica”

### **Características generales para la mezcla asfáltica en caliente**

Las características físico-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, propone el diseño empleando el método ASTM D-1559 "Resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas" (método MARSHALL), el cual tiene presente las características presentadas en el Cuadro N° A3.5, “Características generales para la mezcla asfáltica en caliente”.

El contenido óptimo de cemento asfáltico, de acuerdo al método se basa en una energía de compactación constante, versus el contenido de cemento asfáltico. Con el cual se tendrá los parámetros Marshall, para la misma energía de compactación, para el óptimo contenido de cemento asfáltico. Las tolerancias admitidas en las mezclas son contempladas en el Cuadro N° A3.6, “Tolerancias admisibles para Carpeta Asfáltica”



**A3 2 VERIFICACIÓN EN OBRA: Resultados de diseño de Carpeta Asfáltica a 3400 msnm**

En Obra se dio la flexibilización y adecuación de las especificaciones técnicas, de acuerdo a ensayos efectuados a los materiales de las canteras del proyecto con los respectivos procesos de triturado, zarandeo; aplicando la norma para granulometría ASTM D-3515 y método de Diseño Marshall ASTM D-1559 .

- **LOS AGREGADOS MINERALES GRUESOS.-** al agregado mineral grueso obtenido luego de la trituración se el observo acorde con lea Esp. Tec. para granulometría ASTM D-3515 correspondiente al Tamaño Nominal de ½ pulgada en las canteras de: Piñipampa, Uchumayo indicadas para este material
- **LOS AGREGADOS MINERALES FINOS.-** Los ensayos efectuados en las diferentes canteras a estos materiales dan como resultados los IP y EA

CANTERA	IP (%)	EA (%)	IP (%)	EA (%)
	Prom.	Prom	Prom	Prom
	Sin Lavar		Lavada	
Piñipampa (arena natural)	2.6	40.9	1.63	51.6
Uchumayo (arena chancada)	3.55	42.8		
Uchumayo (arena natural zar)	4.32	30.5	2.18	77.4
Quiquijana (arena natural zar)	4.76	35.6		
Combapata II (arena chancada)	2.86	38		

Como se puede apreciar, la arena producida por estas canteras luego del chancado resulta con características plásticas (IP>2.5%), requiriéndose según Esp. Tec. un material Np ; consideradas con el criterio de evitar los problemas que traería utilizar material fino con algo de plasticidad con respecto a la adherencia del asfalto, el cual también es verificable por los ensayos de adherencia. Por lo cual se sometió el material a un proceso de lavado de Arena. consiguiéndose mejorar pero no logrando ser satisfactorios, con un mayor lavado se perdería finos, los cuales al reemplazarse con filler (cal hidratada) elevarían la rigidez de la mezcla asfáltica y harían la mezcla mas costosa,

considerandose los resultados de los ensayos Riedel Weber a los materiales con  $IP < 2\%$  siendo mayores del grado 4 Especificados, por lo que se admitió esta modificación.

De acuerdo con estos resultados y los de diseño Marshall se concluyó con las modificaciones siguientes:

- GRANULOMETRÍA.

Utilización de la gradación establecida en la Norma ASTM D-3515 correspondiente al tamaño Nominal de  $\frac{1}{2}$  pulgada (12.5mm). La cual según la experiencia ha respondido también bien a las exigencias por tráfico pesado, estabilidad y su construcción es convencional, además de adecuarse mejor a lo que de estas canteras se obtiene.

- DISEÑO DE CONCRETO ASFÁLTICO A EMPLEARSE EN LA OBRA: LOS RESULTADOS

A. MATERIALES

1.1 Cemento Asfáltico:

Procedencia	: Refinería La Pampilla – Repsol YPF
Penetración	: 85/100
Gravedad Especifica	: 1.0171 gr/cc
Ductilidad	: > 100

## 1.2 Agregados Pétreos:

1.2.1 Análisis granulométrico del agregado grueso, material procedente de la Cantera Quiquijana Km. 61+800, lado izquierdo, procesado, chancado y zarandeado, en la planta de Uchumayo Km. 57+500.

TAMIZ	% Ret. Acumulado	% que pasa
3/4"	--	100.0
1/2"	26.0	74.0
# 4	95.3	4.7
# 8	98.5	1.5
# 50	99.4	0.6
# 200	99.6	0.4

1.2.2 Análisis granulométrico del agregado fino, material procedente de la Cantera Quiquijana Km. 61+800, lado izquierdo, procesado, chancado y zarandeado, en la planta de Uchumayo Km. 57+500.

TAMIZ	% Ret. Acumulado	% que pasa
3/4	--	100.0
1/2	--	100.0
# 4	19.8	80.2
# 8	46.5	53.5
# 50	82.2	17.8
# 200	91.4	8.6

1.2.2 Análisis granulométrico del agregado fino natural resultante de la combinación de las arenas naturales de las canteras Uchuymayo Km 57+500, y de la cantera del Km 62, lado derecho.

TAMIZ	% Ret. Acumulado	% que pasa
3/4	--	100.0
1/2	--	100.0
# 4	18.6	81.4
# 8	32.0	68.0
# 50	80.4	19.6
# 200	93.7	6.3

1.2.4 Análisis granulométrico del Filler (cal hidratada) .

TAMIZ	% Ret. Acumulado	% que pasa
# 8	--	100.0
# 50	7	93.0
# 200	24	76.0

## B.- MEZCLA DE AGREGADOS

2.1 - Los agregados mezclados en la siguiente proporción, cumplen con las especificaciones del proyecto.

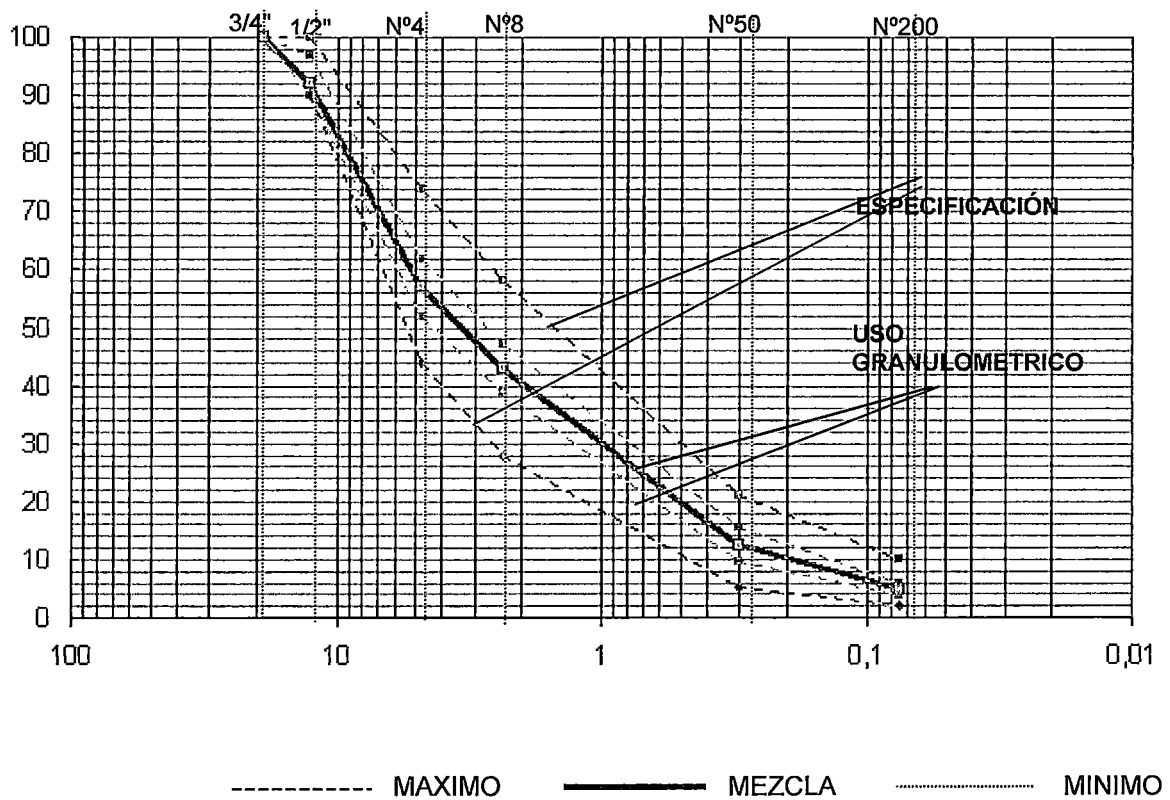
### GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS: PORCENTAJE QUE PASA

MALLA	3/4	1/2	# 4	# 8	# 50	# 200
Piedra	100.0	74.0	4.7	1.5	0.6	0.4
Arena Chancada	100.0	100.0	80.2	53.5	17.8	8.6
Arena Zarandeada	100.0	100.0	81.4	68.0	19.6	6.3
Cal	100.0	100.0	100.0	100.0	93.0	76.0

### PROPORCIONES DE MEZCLA

TAMIZ N°	3/4	1/2	# 4	# 8	# 50	# 200
Piedra 31%	31.0	22.9	1.4	0.5	0.2	0.1
Arena Chancada 26.5%	26.5	26.5	21.2	14.2	4.7	2.3
Arena Zarandeada 40%	40.0	40.0	32.5	27.2	7.8	2.5
Cal 2.5%	2.5	2.5	2.5	2.5	2.3	1.9
TOTAL	100.0	91.9	57.6	44.4	15.0	6.8
Especificación Norma ASTM 3515	100.0	90-100	44-74	28-58	5-21	2-10

### ANALISIS GRANULOMETRICO



## C. DISEÑO MARSHALL

De acuerdo a los criterios del método Marshall y Especificaciones Técnicas modificadas del Proyecto, se indica lo siguiente:

- Estabilidad Marshall kg.	750 – 1100
- Valor de Flujo mm	2 – 4
- Vacíos en Aire %	2.0 – 4.0
- V.M.A.	Mín. 14
- Estabilidad / Flujo (kg/mm)	1700 – 2750
- Estabilidad retenida ensayo Marshall %	Mín. 75%
- Índice de Compatibilidad	Mín. 5%

### Resultado de los Ensayos:

- Contenido Óptimo de Asfalto PEN 85/100	7.1%
- Estabilidad Marshall sin parafina kg	931
- Valor de Flujo mm	3.52
- Estabilidad / Flujo (kg/mm)	2,645
- Peso Unitario	2,314
- Vacíos en Aire %	3.20 %
- V.M.A.	17.50 %
- Estabilidad Retenida	79,2 %
- Índice de Compatibilidad	10,7 %
- Ensayo de Adherencia Riedel Weber	
Según Norma NLT 335/74	grado 8
- Agregado Grueso > N° 4	39.04 %
- Agregado Fino < N° 4	51.54 %
- Agregado Filler (Cal)	2.32 %
- Especific. Granulométrica ASTM 3515	Cumple
- Equivalente de Arena	55.2 %
- Índice de Plasticidad < # N° 200	1.57

## D. ENSAYOS ESPECIALES

Con los agregados procesados chancados y zarandeados procedentes de la Cantera Quiquijana Km. 61+800 y de la cantera del Km. 62 margen derecha, río Vilcanota; se han efectuado los siguientes ensayos:

### **Agregado Grueso para Asfalto, < 3/4"**

	Especificación	Resultado
- Ensayo de Adherencia	+ 95 %	98.7%
- Abrasión Los Angeles ASTM C-131	Máx. 40 %	12.98 %
- Partículas chatas y alargadas ASTM D-643	Máx. 15%	2.0 %
- Durabilidad ASTM C-88	Máx. 12 %	5.9 %

### **Agregado Fino para Asfalto, < 1/4" Material Procesado**

	Especificación	Resultado
- Limite Liquido ASTM D-423	--	N.P.
- Índice Plástico ASTM D-424 < N° 200	0-2	N.P.
- Variación en el valor Modulo Fineza	± 0.25	± 0.25
- Ensayo de Adherencia Riedel Weber Según Norma NLT 335/74	> grado 4	grado 8
- Durabilidad ASTM C-88	Máx. 12 %	6.2 %
- Impurezas Orgánicas	--	Aceptable
- Equivalente de arena	Mín 50%	52.4

### Agregado Fino para Asfalto, < 1/2" Material Natural Zarandeado

	Especificación	Resultado
- Limite Liquido ASTM D-423	--	31.71
- Índice Plástico ASTM D-424 < N° 200	0-2 %	1.57 %
- Variación en el valor Modulo Fineza	± 0.25	± 0.25
- Ensayo de Adherencia Riedel Weber Según Norma NLT 335/74	> grado 4	grado 8
- Durabilidad ASTM C-88	Máx. 12 %	4.6 %
- Impurezas Orgánicas	--	Aceptable
- Equivalente de arena	Min 50%	52,8 %

### Análisis de los resultados de los diseños de Carpeta Asfáltica

Según los valores obtenidos después de haber efectuado una serie de diseños, los valores de Rigidez (EST/FLUJO) se adecuaron a las características de los materiales disponibles considerando los rangos de estabilidad y flujo por separado, según los cuales se tiene:

**RANGOS DE INDICE DE RIGIDEZ**

Est. \ Flujo	0.2 cm	0.4 cm
750 Kg.	3750	1875
800 Kg.	4000	2000
900 Kg.	4500	2250
1000 Kg.	5000	2500
1100 Kg.	5500	2750

Además de aceptarse un margen mínimo de IP <2 %.



El óptimo contenido de asfalto se encuentra dentro de lo requerido para mezcla asfáltica en altura, usadas con el propósito de impedir desprendimiento por lluvias, protección contra la incidencia de los rayos ultravioletas los cuales envejecen el asfalto,

La estabilidad se encuentra dentro de los parámetros permitidos para la carga en servicio a la que será sometida.

La tendencia del flujo siempre es hacia el límite superior del diseño presentado pero aceptable para el comportamiento del asfalto como un sólido elástico, bajo condiciones de carga y temperatura.

El porcentaje de vacíos de la mezcla se encuentran dentro de lo especificado pudiendo con ello esperar la compactación dada por las cargas de tráfico sin acontecer daños por exudación. Además de no permitir la penetración de agua en la mezcla.

El Porcentaje de Vacíos de Aire en el agregado mineral VMA es superior al 14% mínimo normado, con el objeto de no permitir que se pueda presentar una mezcla con un bajo contenido de asfalto, permitir que los vacíos intergranulares den espacio a suficiente asfalto efectivo y vacíos de mezcla que hagan de esta un pavimento durable.

El Índice de Rigidez, se mantuvo próximo al valor de 2500 Kg/cm con algunos puntos superiores, en previsión al clima de la zona y altitud.

La Estabilidad Retenida superior al mínimo normado de 75% a 24 horas sumergida la muestra a 60 °C.

### **A3.3 Recomendaciones para mezclas asfálticas en climas fríos y zonas de altura**

A lo largo de décadas, en nuestro país se han tenido muchos reveses en las proyecciones de tiempo de vida útil de los diseños, relación de serviciabilidad vs. tiempo es decir resultados de deterioro no esperados de pavimentos flexibles para zonas con climas fríos, así mismo, hasta la fecha no se tiene todavía resultados de los mas recientes proyectos ejecutados para el total de la vida útil para el que fueron diseñados con las modificaciones que se infirieron del estudio de anteriores. Sin embargo evaluaciones peruanas mas recientes<sup>(20)</sup> señalan al mecanismo de agrietamiento por esfuerzos máximos de tracción debido a bajas temperaturas son menores que la resistencia de la mezcla y el efecto del gradiente térmico generadores de fatiga en un periodo menor que el considerado en los diseños.

Dentro de lo que hasta el momento se ha venido investigando y experimentando sobre pavimentos para climas fríos se tienen las consideraciones dadas en el Cuadro N° A3.7, “Resumen de consideraciones para pavimentos en altura”

CUADRO N° A3.1

**ESPECIFICACIONES DE OBRA PARA AGREGADO MINERAL GRUESO**

<b>ENSAYOS</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
Durabilidad (ASTM C-88)	Máx. 12%
Abrasión (ASTM C-131)	Máx. 40%
Partículas chatas y alargadas (ASTM D-693)	Máx. 15%
Revestimiento y Desprendimiento en mezclas de agregados-asfalto (ASTM D-1664)	Mín 95%

CUADRO N°A3.2

**ESPECIFICACIONES DE OBRA PARA AGREGADO MINERAL FINO**

<b>ENSAYOS</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
Durabilidad con sulfato de Sodio (ASTM C-88)	Máx. 12%
Equivalente de Arena (ASTM 2419)	Máx. 50%
Índice Plástico	NP
Riedel-Weber (Norma NLT 355/74)	Mín. 4

CUADRO N° A3.3

**ESPECIFICACIONES DE OBRA PARA AGRAGADO MINERAL GRUESO**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>MINIMA</b>	<b>MAXIMA</b>
Penetración a 25°C, 100 g, 5 segundos	85	100
Punto de Inflamación, Cleveland, Vaso Abierto	230°C	--
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	100 cm	--
Solubilidad en Tricloroetileno	99.5%	--
Ensayo de Oliensis	NEGATIVO	--
Indice de Susceptibilidad Térmica	-0.5	+0.5
<b>Ensayo de Película Delgada</b>		
1. Pérdida por Calentamiento a 163°C, 5h	--	1.0
2. Penetración del residuo, porcentaje del Original	45	--
3. Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	75	--
4. Contenido de parafina (Norma DIN) (%)	--	2.0

CUADRO N° A3.4

**COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA MEZCLA DE AGREGADOS PARA CA**

<b>% PASA</b>	100	80-100	55-75	32-67	18-29	5-21	8-16	2-10
<b>Tamiz</b>	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 30	N° 50	N°100	N°200

CUADRO N° A3.5

**CARACTERÍSTICAS GENERALES PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>VALORES ESPECIFICADOS</b>
Número de Golpes en cada lado	75
Estabilidad (Kilos)	Mínimo 750
Flujo (mm)	2 a 4
Porcentaje de Vacíos de Aire en el agregado mineral	Mínimo 14
Porcentaje de Vacíos de Aire en la mezcla	2 - 4
Estabilidad/Flujo (kg/cm)	1700 a 2500
Índice de Compactibilidad	Mínimo 5
Estabilidad Retenida, 24 a 60°C en agua	Mínimo 75%
Contenido de cemento asfáltico	6.0 - 8.5

1

El Índice de compactibilidad se define como:

$$\frac{GEB50 - GEB5}{GEB50 - GEB5}$$

siendo, GB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

CUADRO N° A3.6

**TOLERANCIAS ADMISIBLES PARA CA**

PARÁMETRO DE CONTROL	VARIACIÓN PERMISIBLE EN % EN PESO TOTAL DE ÁRIDOS
N° 4 o mayor	± 5%
N° 8	± 4%
N° 30	± 3%
N° 200	± 1%
Asfalto	± 0.3%

RESUMEN DE CONSIDERACIONES PARA PAVIMENTOS EN ALTURA

PARÁMETROS	RANGOS ESTIMADOS	COMENTARIO
Altitud	3500 a 4818 msnm	No es precisamente determinante. Cambios en la rigidez son mas significativo a partir de los 3700 msnm.
Bajas Temperaturas	-5 °C a 20 °C	Considerando máximas y mínimas presentadas en estas zonas (Perú)
Alto Gradiente Térmico diario.	♦ Variaciones de 30 °C * Variaciones de 10 °C	♦ En Perú la variación en temperatura del ambiente en zonas de clima frío varia aprox. en 30 °C durante un día. * En la mayoría de regiones de USA y CANADA si bien se alcanzan temperatura mínima promedio de -25 °C la variación durante un día es de 10 °C o menos. El efecto del congelamiento del suelo es considerado luego de 3 a 4 días de temperaturas bajo cero en condiciones de drenaje critico . Mas este no es el ciclo que caracteriza a nuestra zona.
Efecto agresivo del agua y de heladas.		Al respecto se debería tener en cuenta parámetros drenaje del suelo y carpeta y la influencia del deterioro a través del tiempo a causa de este factor.(calidad del agua precipitada, etc) Variación de niveles de Precipitación: El efecto de la helada para el diseño MS-1 se da para TMAA < 7°C con posibilidad para menores de 24°C , mientras que AASHTO considera este efecto a nivel de confiabilidad y perdida de servicio para regiones propias de USA
Tipo y Calidad del Cemento Asfáltico.	Esp. Tecn.	Las propiedades del asfalto se han considerado variables en el tiempo. Las mezclas tienen una sola clase de C.A. (Pen 120-150). La consideración de la relación del esfuerzo generado por la temperatura tiene como indicador a la Rigidez del asfalto (Tiempo de Carga, Punto de Ablandamiento e Índice de Penetración (0.5 o menos) )
Criterio Marshall para el Optimo Contenido de Asfalto.	Esp. Tecn.	Contenido superior al 6% , de acuerdo a obra, estabilidad entre 750 y 1100 Kg , un valor de vacíos del orden del 2% y un rango de E/F (Índice de Rigidez) menor de 2500 kg/cm, (relacionado con: esfuerzo/ temperatura, esfuerzo máximo de tracción)Con el objeto de obtener CA menos rígido y flexible La relación del esfuerzo generado por la temperatura tiene como indicador a la Rigidez de mezcla (% de vacíos, %en volumen de agregados en la mezcla, %en volumen de asfalto en la mezcla )
Uso de aditivos de Adherencia	Esp. Tecn.	Se deberá evaluar la adhesividad del agregado fino, respecto del ligante bituminoso, mediante el Ensayo Riedel-Weber (Norma NLT-355/74). De no cumplirse con un Índice de Adhesividad mayor o igual que 4, deberá mejorarse la afinidad agregado-asfalto mediante el uso de un aditivo mejorador de adherencia (filler o aditivo químico), cuya eficiencia deberá verificarse mediante el ensayo de Estabilidad Retenida, la que deberá ser mayor que 75%.
Uso de Cal Hidratada.	Esp. Tecn.	La fracción de la combinación de agregados que pasa la malla N°200, deberá ser no-plástica, de no serlo se deberá proceder al lavado de los agregados y los finos reemplazados por filler de aportación.
Graduación del Agregado	Esp. Tecn.	Uso frecuentemente recomendando de graduación: tamaño máximo 1/2" dentro de la Norma IVb de las Esp. Tecn. MTC para mezclas densas, que en construcción han resultado satisfactorias.

# ANEXO

4

REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA CUZCO - JULIACA - DESAGUADERO:  
TRAMO: CUZCO (SAN JERÓNIMO)-COMBAPATA

---

# **Ensayos del Material Fresado**

---



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

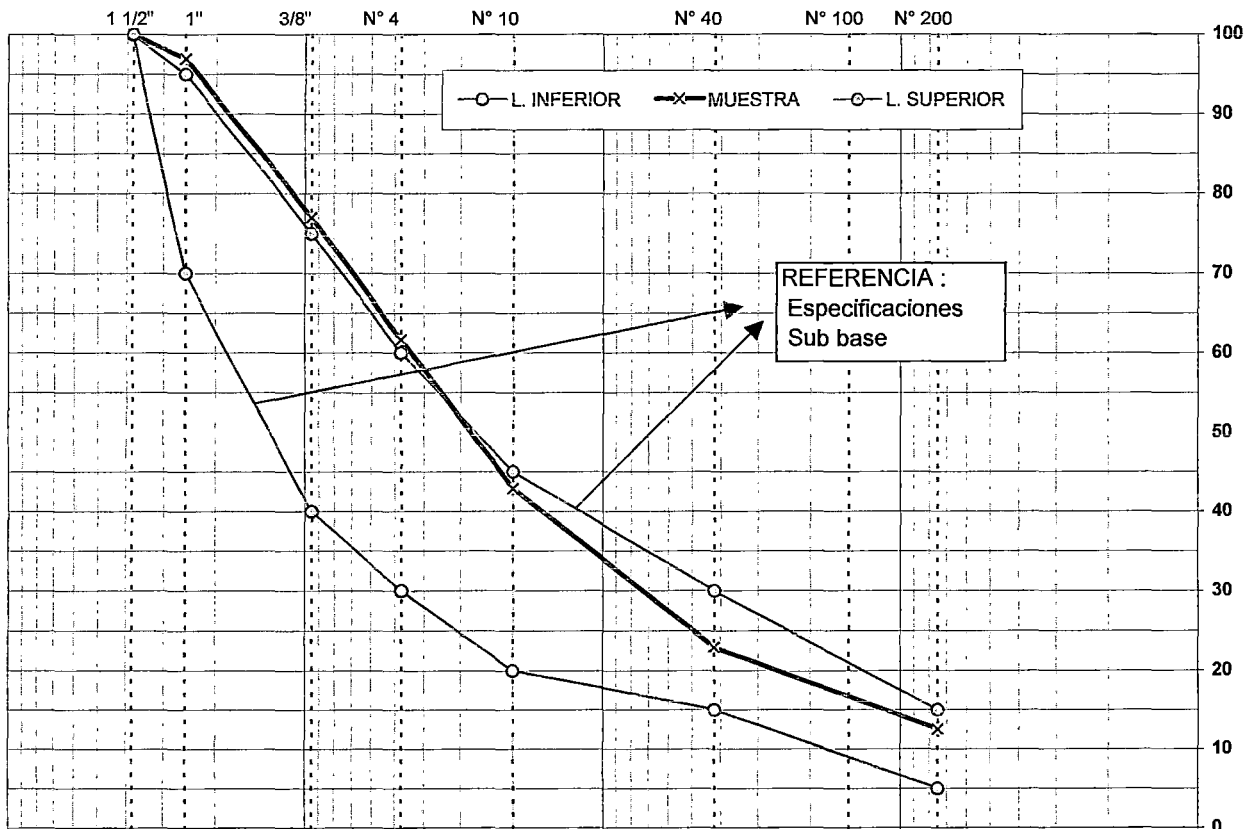
NORMA AASHTO T-11, T-27

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 72+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 29/04/01  
**AL KM** : 73+000

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	REFERENCIAL: ESPECIFICACION SUB BASE	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76,2						PESO TOTAL = 7983 gr
2 1/2"	63,5						LIMITE LIQUIDO = 19,5
2"	50,8						LIMITE PLASTICO = 17,1
1 1/2"	38,1				100,0	100	INDICE PLASTICO = 2,4
1"	25,4	244,6	3,1	3,1	96,9	75 - 95	CLASF. AASHTO = A - 1 - a (0)
3/4"	19,05						
1/2"	12,5						
3/8"	9,5	1593	20,0	23,0	77,0	40 - 75	MAX. DENS. SECA = 2,29 gr/cc
1/4"	6,35						HUMEDAD OPT. = 5,6 %
# 4	4,75	1224	15,3	38,4	61,6	30 - 60	
# 8	2,36						
# 10	2	205,2	18,8	57,1	42,9	20 - 45	
# 16	1,19						
# 30	0,6						
# 40	0,42	218,5	20,0	77,1	22,9	15 - 30	
# 50	0,3						
# 100	0,15						
# 200	0,075	114	10,4	87,5	12,5	5-15	
< # 200		136,9	12,5	100,0			
FRACCION		674,6					
TOTAL		9.059,00					

**CURVA GRANULOMETRICA**



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 72+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ING° RESP.:** W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 29/04/01  
**AL KM** : 73+000

**LIMITES DE CONSISTENCIA AASHTO T-89, T-90**

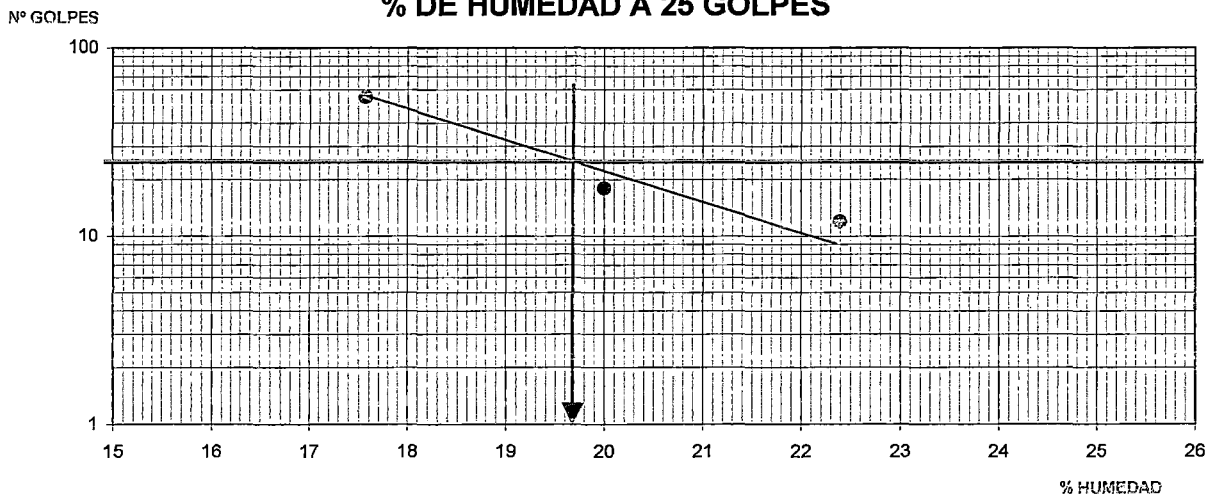
**LIMITE LIQUIDO**

N° TARRO	2	9	5
TARRO + SUELO HUMEDO	28,40	26,56	17,87
TARRO + SUELO SECO	26,06	24,70	16,13
AGUA	2,34	1,86	1,74
PESO DEL TARRO	15,61	15,40	6,23
PESO DEL SUELO SECO	10,45	9,30	9,90
% DE HUMEDAD	22,39	20,00	17,58
N° DE GOLPES	12	18	55

**LIMITE PLASTICO**

N° TARRO	6	7
TARRO + SUELO HUMEDO	19,53	19,75
TARRO + SUELO SECO	17,59	17,82
AGUA	1,94	1,93
PESO DEL TARRO	6,27	6,57
PESO DEL SUELO SECO	11,32	11,25
% DE HUMEDAD	17,14	17,16

**% DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA**

LIMITE LIQUIDO	19,5
LIMITE PLASTICO	17,1
INDICE DE PLASTICIDAD	2,4

**OBSERVACIONES**

I.P. < %  
 SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**IA** : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**MO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**ERIAL** : RECUPERADO  
**KM** : 72+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 29/04/01  
**AL KM** : 73+000

**PROCTOR MODIFICADO**

METODO AASHTO T - 180 - D

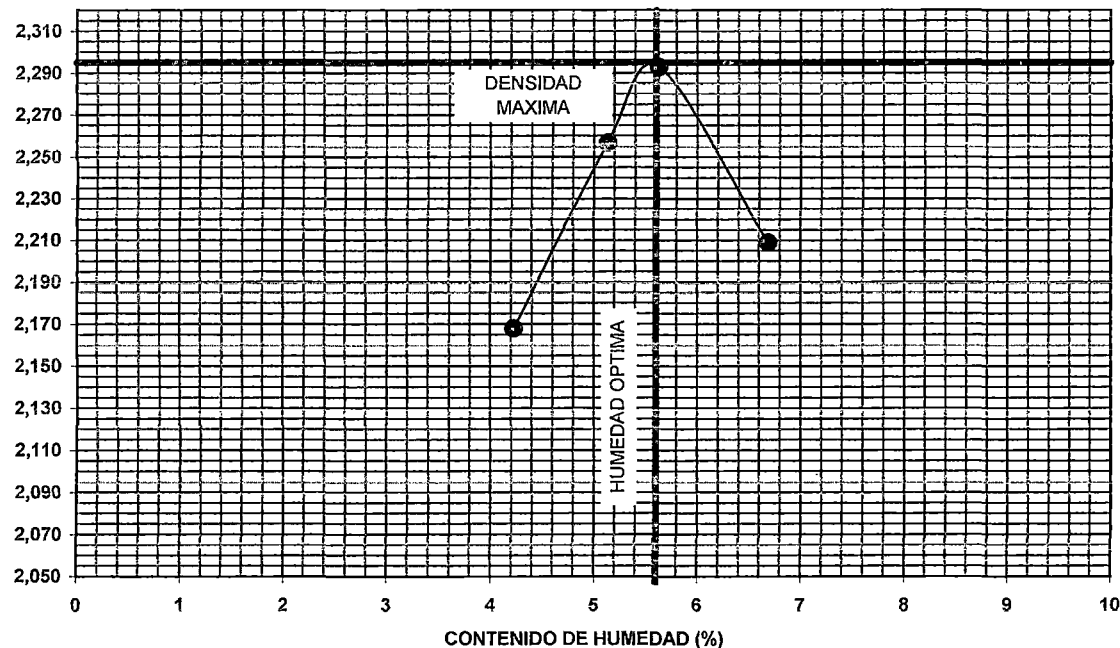
METODO DE COMPACTACION : PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180 METODO - D

VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO DEL MOLDE (gr.) :				MOLDE N°
2128				5765	
<b>TIPO DE ENSAYOS</b>					
SO SUELO + MOLDE	10574	10814	10919	10779	
SO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4809	5049	5154	5014	
SO VOLUMETRICO HUMEDO	2,260	2,373	2,422	2,356	

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

PIPETE Nro.					
SO SUELO HUMEDO + TARA	436,60	413,60	456,30	509,00	
SO SUELOS SECO + TARA	418,90	393,40	432,00	477,10	
SO DE LA TARA					
SO DE AGUA	17,70	20,20	24,30	31,90	
SO DE SUELO SECO	418,90	393,40	432,00	477,10	
SO CONTENIDO DE AGUA	4,23	5,14	5,63	6,69	
SO VOLUMETRICO SECO	2,17	2,26	2,29	2,21	
<b>K. DENSIDAD SECA:</b>	<b>2,29 gr/cc.</b>	<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>		<b>5,6</b>	<b>%</b>

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**A:**

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

OBRA : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 TRAMO : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
 MATERIAL : RECUPERADO  
 DEL KM : 72+000

TESISTA : E. CALDERON  
 ASESOR : W. GUTIERREZ  
 FECHA : 29/04/01  
 AL KM : 73+000

**ENSAYO DE C.B.R.**

NORMA ASSHTO - T - 193

Molde N°		5		5		5	
N° Capa		56		25		12	
Golpes por capa		56		25		12	
Condición de la muestra		Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado
Peso del suelo húmedo + muestra	gr.	11891		13162		12827	
Peso del molde	gr.	6857		8288		8148	
Peso del suelo húmedo	gr.	5034		4874		4679	
Volúmen del suelo	cc.	2080		2074		2052	
Densidad húmeda	gr./cc	2,42		2,35		2,28	
% de humedad	%	5,61		5,60		5,50	
Densidad seca	gr./cc	2,29		2,23		2,16	
Tara	N°						
Peso del suelo húmedo + tara	gr.	310,8		420,2		435,8	
Peso del suelo seco + tara	gr.	294,3		397,9		412,9	
Peso del agua	gr.	16,5		22,3		22,7	
Peso de la tara	gr.						
Peso del suelo seco	gr.	284,3		397,9		412,9	
Humedad	%	5,81		5,60		5,60	
Promedio de humedad	%	5,6		5,6		5,5	

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %
11/05/01	3:15	0 h	0	0				
12/05/01	3:15	24 h	0	0				
13/05/01	3:15	48 h	0	0				
14/05/01	3:15	72 h	0	0				
15/05/01	3:15	96 h	0	0				

**NO EXPANSIVO**

**PENETRACION**

PENETRACION		TIEMPO	1			3			4		
mm	pulg.		CARGA 56 golpes			CARGA 25 golpes			CARGA 12 golpes		
			Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>
0,000	0,000	0'00"	0	25		0	25		0	25	
0,635	0,025	0'30"	30	161		12	80		5	48	
1,270	0,050	1'00"	71	347		33	175		14	89	
1,905	0,075	1'30"	105	501		66	324		30	161	
2,540	0,100	2'00"	140	660	52,93	106	506	41,53	50	252	42,16
3,810	0,150	3'00"	205	954		187	873		121	574	
5,080	0,200	4'00"	318	1466	105,42	275	1271	83,40	211	981	79,73
6,350	0,250	5'00"	425	1951		368	1693		282	1303	
7,620	0,300	6'00"	568	2599		448	2046		371	1707	
10,160	0,400	7'00"									

ANILLO AREA = 19,35 cm<sup>2</sup> EC : Y = 4,53 X + 25,13184

**OBSERVACIONES**

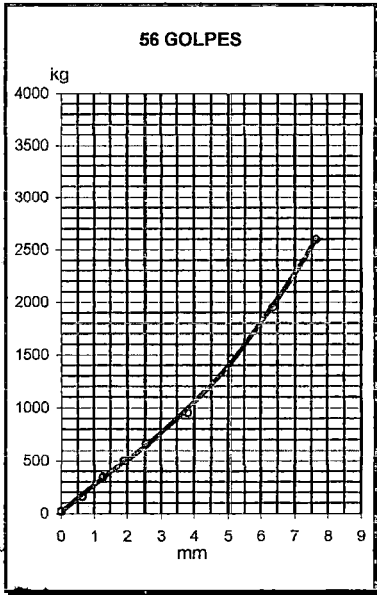
\* Valores corregidos

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

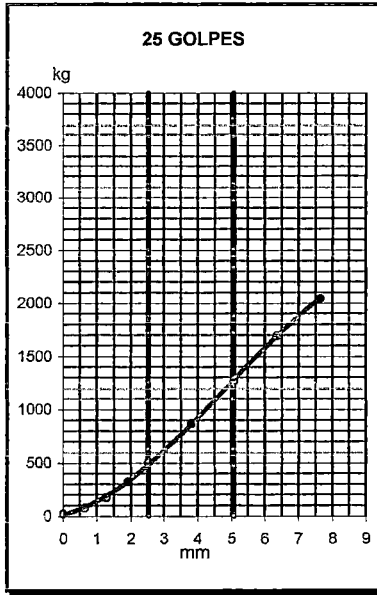
**OBRA** : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 72+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 29/04/01  
**AL KM** : 73+000

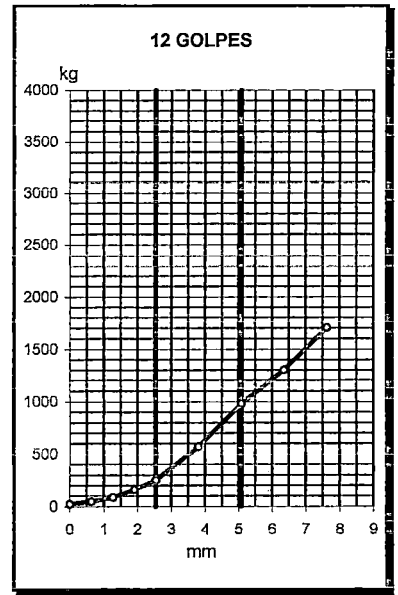
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



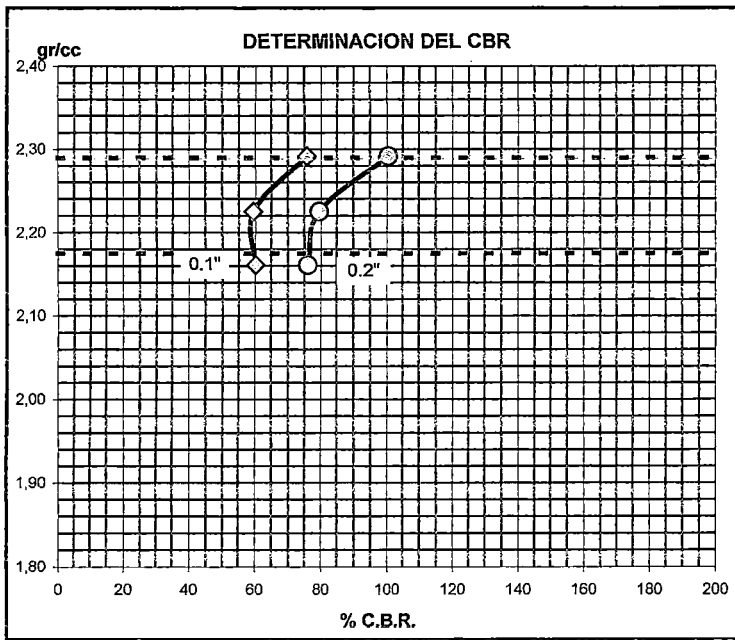
0.1" = 2.54 mm = 75,6  
 0.2" = 5.08 mm = 100,4  
 DENSIDAD SECA = 2,29



0.1" = 2.54 mm = 59,3  
 0.2" = 5.08 mm = 79,4  
 DENSIDAD SECA = 2,23



0.1" = 2.54 mm = 60,2  
 0.2" = 5.08 mm = 75,9  
 DENSIDAD SECA = 2,16



<b>DATOS DEL PROCTOR</b>	
DENSIDAD SECA al 100%	= 2,29 gr./cc.
DENSIDAD SECA al 95%	= 2,18 gr./cc.
OPTIMO DE HUMEDAD	= 5,6 %

<b>VALORES DEL CBR AL 95%</b>	
CBR AL 95%	0.1" = 60 %
CBR AL 95%	0.2" = 77 %

<b>VALORES DEL CBR AL 100%</b>	
CBR AL 100%	0.1" = 75 %
CBR AL 100%	0.2" = 100 %

<b>LEYENDA</b>	
○	= 0.2" pulg.
◇	= 0.1" pulg.

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 72+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 29/04/01  
**AL KM** : 73+000

**EQUIVALENTE DE ARENA - AASHTO T - 176**

DESCRIPCION	1	2	3
TAMAÑO MAXIMO (mm)	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76
MUESTRA N°	1	2	
HORA DE ENTRADA	14:36	14:39	
HORA DE SALIDA	14:46	14:49	
HORA DE ENTRADA	14:48	14:51	
HORA DE SALIDA	15:08	15:11	
ALTURA MAXIMA DE MAT. FINO (cm)	8,50	8,40	
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm)	3,40	3,40	
EQUIVALENTE DE ARENA	40%	40%	
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO	40%		
EQUIVALENTE DE ARENA MINIMO	40%		
CUMPLE	SI		

OBSERVACIONES:

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

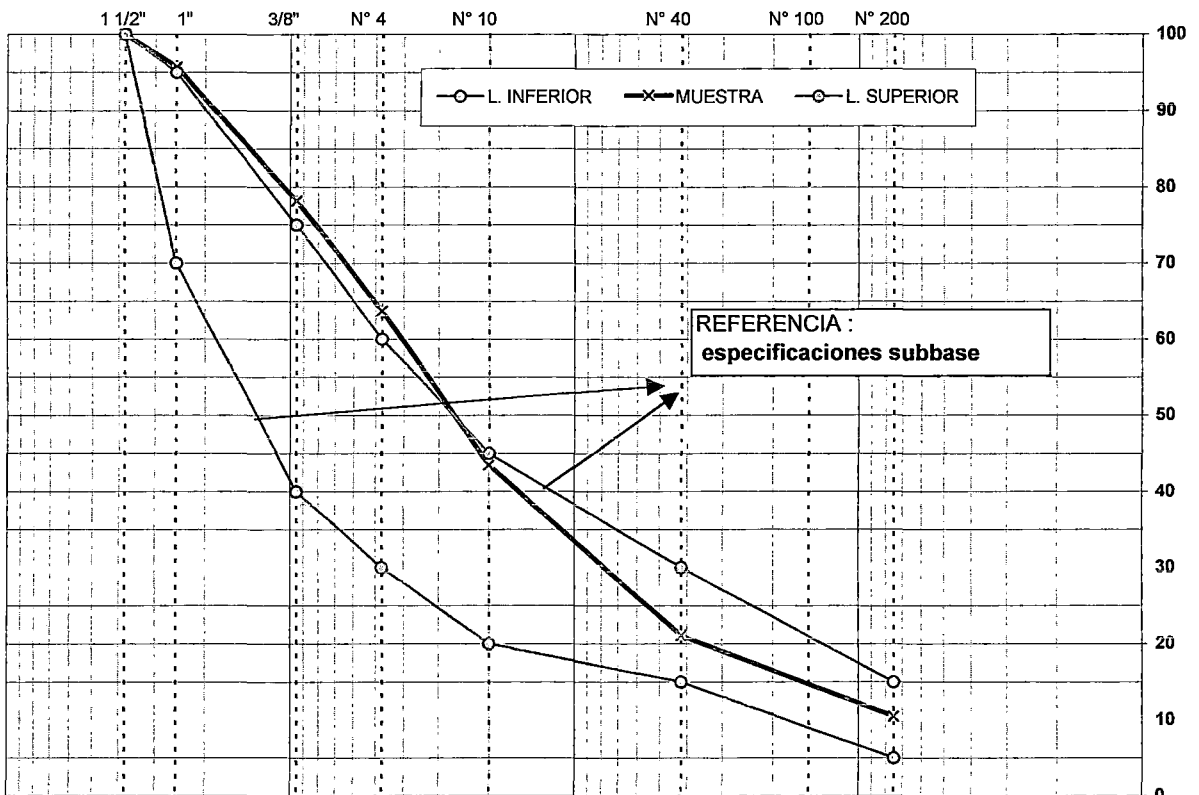
NORMA AASHTO T-11, T-27

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 73+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 06/07/01  
**AL KM** : 74+000

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	REFERENCIAL: ESPECIFICACION SUBBASE	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76,2						PESO TOTAL = 5321 gr
2 1/2"	63,5						LIMITE LIQUIDO = 17,0
2"	50,8						LIMITE PLASTICO = 15,6
1 1/2"	38,1				100,0	100	INDICE PLASTICO = 1,4
1"	25,4	228	4,3	4,3	95,7	75 - 95	CLASF. AASHTO = A - 1 - a (0)
3/4"	19,05						
1/2"	12,5						
3/8"	9,5	932	17,5	21,8	78,2	40 - 75	MAX. DENS. SECA = 2,25 gr/cc
1/4"	6,35						HUMEDAD OPT. = 5,5 %
# 4	4,75	770	14,5	36,3	63,7	30 - 60	
# 8	2,36						
# 10	2	203,7	20,3	56,5	43,5	20 - 45	
# 16	1,19						
# 30	0,6						
# 40	0,42	225,2	22,4	78,9	21,1	15 - 30	
# 50	0,3						
# 100	0,15						
# 200	0,075	106,6	10,6	89,5	10,5	5-15	
< # 200		105,5	10,5	100,0			
FRACCION		641					
TOTAL		9.059,00					

**CURVA GRANULOMETRICA**



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 73+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ING° RESP.:** W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 06/07/01  
**AL KM** : 74+000

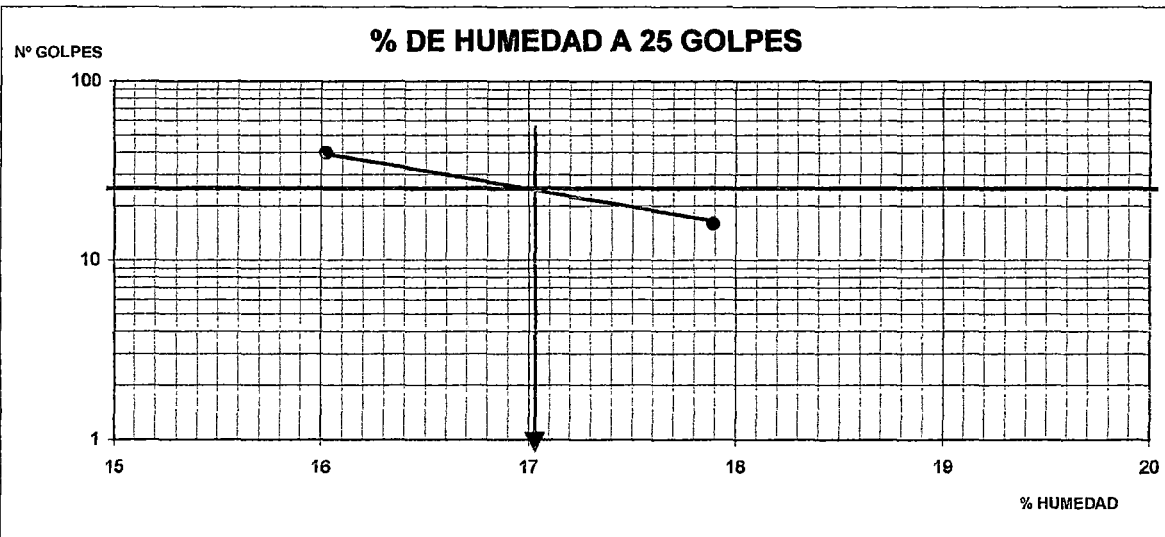
**LIMITES DE CONSISTENCIA AASHTO T-89, T-90**

**LIMITE LIQUIDO**

Nº TARRO	6	2		
TARRO + SUELO HUMEDO	28,06	26,68		
TARRO + SUELO SECO	26,16	25,15		
AGUA	1,90	1,53		
PESO DEL TARRO	15,54	15,60		
PESO DEL SUELO SECO	10,62	9,55		
% DE HUMEDAD	17,89	16,02		
Nº DE GOLPES	16	40		

**LIMITE PLASTICO**

Nº TARRO	9	10		
TARRO + SUELO HUMEDO	14,69	14,55		
TARRO + SUELO SECO	13,56	13,44		
AGUA	1,13	1,11		
PESO DEL TARRO	6,29	6,32		
PESO DEL SUELO SECO	7,27	7,12		
% DE HUMEDAD	15,54	15,59		



<b>CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA</b>	
LIMITE LIQUIDO	17,0
LIMITE PLASTICO	15,6
INDICE DE PLASTICIDAD	1,4

<b>OBSERVACIONES</b>
I.P. < % SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 73+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 04/05/01  
**AL KM** : 74+000

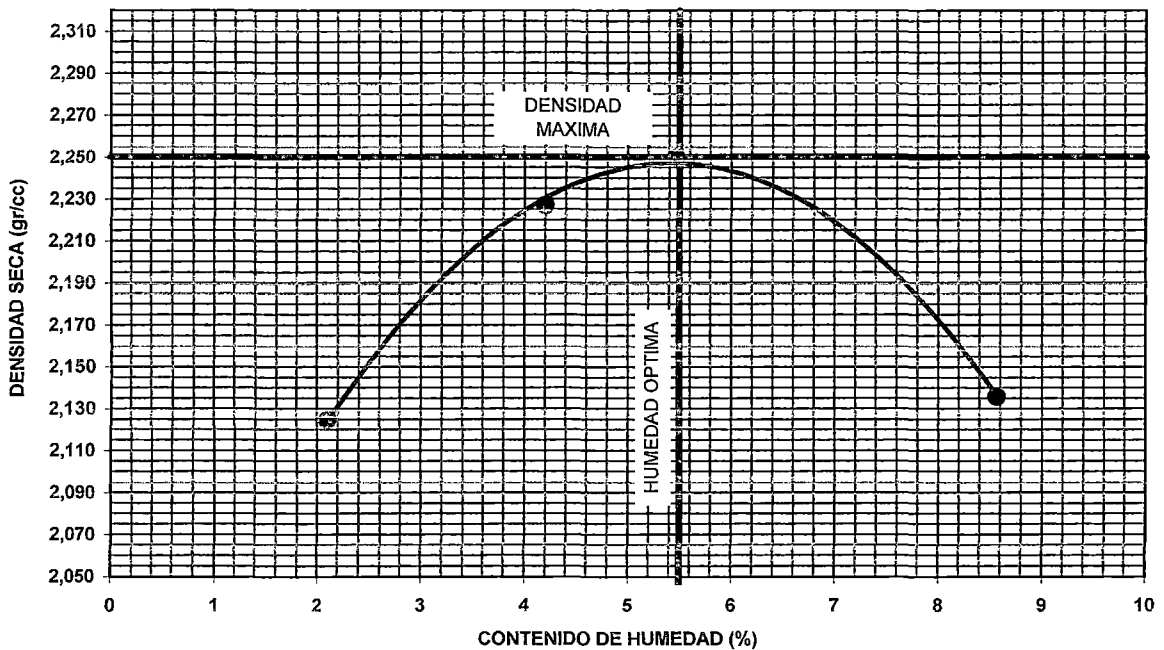
**PROCTOR MODIFICADO**

METODO AASHTO T - 180 - D

**METODO DE COMPACTACION : PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180 METODO - D**

VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO DEL MOLDE (gr.) :				MOLDE N°
2128	5765				
NUMERO DE ENSAYOS					
PESO SUELO + MOLDE	10383	10702	10815	10700	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4618	4937	5050	4935	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	2,170	2,320	2,373	2,319	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIPIENTE Nro.					
PESO SUELO HUMEDO + TARA	457,30	496,80	376,60	469,00	
PESO SUELOS SECO + TARA	447,90	476,80	357,10	432,00	
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA	9,40	20,00	19,50	37,00	
PESO DE SUELO SECO	447,90	476,80	357,10	432,00	
CONTENIDO DE AGUA	2,10	4,20	5,46	8,57	
PESO VOLUMETRICO SECO	2,13	2,23	2,25	2,14	
<b>MAX. DENSIDAD SECA:</b>	<b>2,25 gr/cc.</b>		<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>		<b>5,5 %</b>

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**NOTA:**

---



---



---

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

OBRA : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 TRAMO : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
 MATERIAL : RECUPERADO  
 DEL KM : 73+000

TESISTA : E. CALDERON  
 ASESOR : W. GUTIERREZ  
 FECHA : 04/05/01  
 AL KM : 74+000

**ENSAYO DE C.B.R.**

NORMA ASSHTO - T - 193

Molde Nº		5		5		5	
Nº Capa		56		25		12	
Golpes por capa		56		25		12	
Condición de la muestra		Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado
Peso del suelo húmedo + muestra	gr.	12272		11836		12341	
Peso del molde	gr.	7252		6957		7614	
Peso del suelo húmedo	gr.	5020		4879		4727	
Volúmen del suelo	cc.	2083		2094		2101	
Densidad húmeda	gr./cc	2,41		2,33		2,25	
% de humedad	%	5,49		5,40		5,51	
Densidad seca	gr./cc	2,28		2,21		2,13	
Tara	Nº						
Peso del suelo húmedo + tara	gr.	385,9		480,3		500,2	
Peso del suelo seco + tara	gr.	385,8		455,7		474,1	
Peso del agua	gr.	20,1		24,6		26,1	
Peso de la tara	gr.						
Peso del suelo seco	gr.	385,6		455,7		474,1	
Humedad	%	5,49		5,40		5,51	
Promedio de humedad	%	5,5		5,4		5,5	

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %
11/05/01	3:15	0 h	0	0				
12/05/01	3:15	24 h	0	0				
13/05/01	3:15	48 h	0	0				
14/05/01	3:15	72 h	0	0				
15/05/01	3:15	96 h	0	0				

**NO EXPANSIVO**

**PENETRACION**

PENETRACION		TIEMPO	1			3			4		
			CARGA 56 golpes			CARGA 25 golpes			CARGA 12 golpes		
mm	pulg.		Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>
0,000	0,000	0'00"	0	25		0	25		0	25	
0,635	0,025	0'30"	27	148		25	138		14	89	
1,270	0,050	1'00"	70	342		50	252		25	138	
1,905	0,075	1'30"	120	569		81	392		36	188	
2,540	0,100	2'00"	182	850	61,10	105	501	28,58	50	252	13,11
3,810	0,150	3'00"	310	1430		166	777		75	365	
5,080	0,200	4'00"	440	2019	119,52	220	1022	55,03	100	478	24,78
6,350	0,250	5'00"	553	2531		270	1249		115	546	
7,620	0,300	6'00"	660	3016		305	1407		136	642	
10,160	0,400	7'00"									

ANILLO AREA = 19,35 cm<sup>2</sup> Ec: Y = 4,53 X + 25,13184

**OBSERVACIONES**

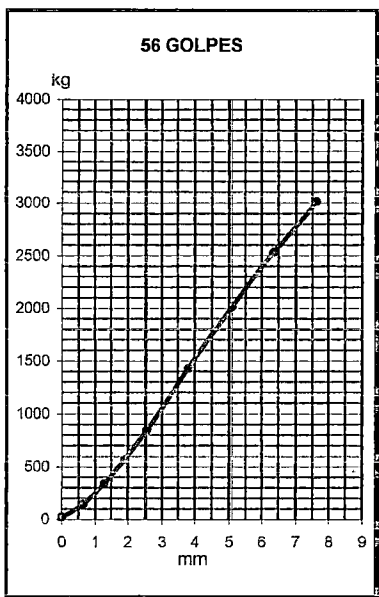
\* Valores corregidos

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

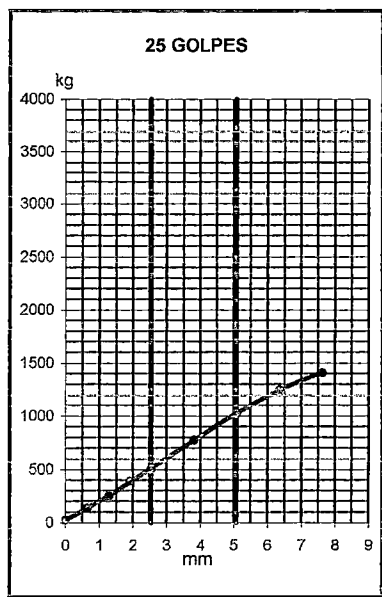
**OBRA** : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 73+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 04/05/01  
**AL KM** : 74+000

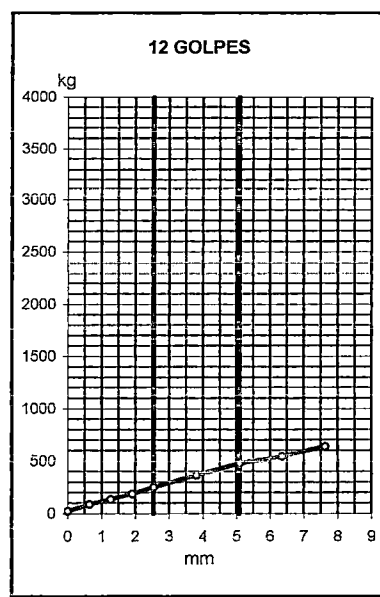
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



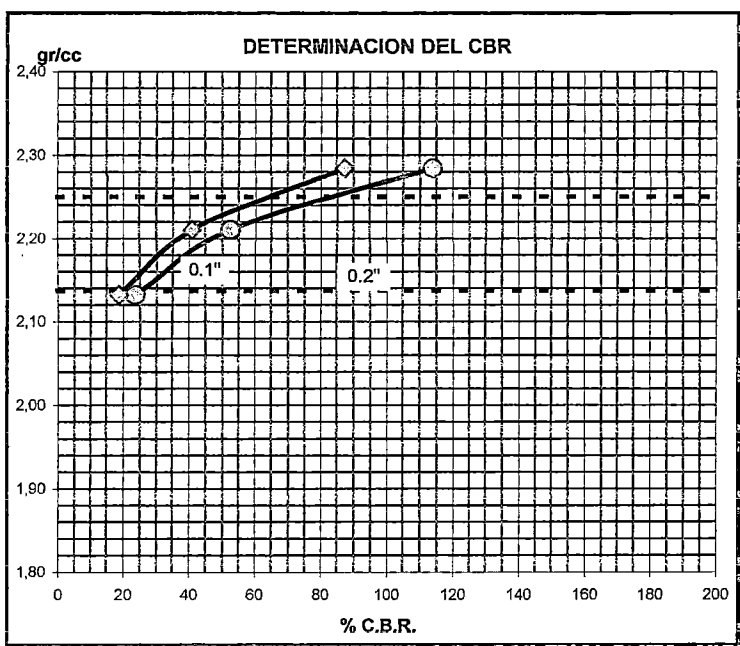
0.1" = 2.54 mm = 87,3  
 0.2" = 5.08 mm = 113,8  
 DENSIDAD SECA = 2,28



0.1" = 2.54 mm = 40,8  
 0.2" = 5.08 mm = 52,4  
 DENSIDAD SECA = 2,21



0.1" = 2.54 mm = 18,7  
 0.2" = 5.08 mm = 23,6  
 DENSIDAD SECA = 2,13



**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD SECA al 100%	=	2,25 gr./cc.
DENSIDAD SECA al 95%	=	2,14 gr./cc.
OPTIMO DE HUMEDAD	=	5,5 %

**VALORES DEL CBR AL 95%**

CBR AL 95%	0.1"	=	20 %
CBR AL 95%	0.2"	=	25 %

**VALORES DEL CBR AL 100%**

CBR AL 100%	0.1"	=	66 %
CBR AL 100%	0.2"	=	85 %

**LEYENDA**

○	—	○	=	0.2" pulg.
◇	—	◇	=	0.1" pulg.

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 73+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 06/07/01  
**AL KM** : 74+000

**EQUIVALENTE DE ARENA - AASHTO T - 176**

DESCRIPCION	1	2	3
TAMAÑO MAXIMO (mm)	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76
MUESTRA N°	1	2	
HORA DE ENTRADA	14:36	14:39	
HORA DE SALIDA	14:46	14:49	
HORA DE ENTRADA	14:48	14:51	
HORA DE SALIDA	15:08	15:11	
ALTURA MAXIMA DE MAT. FINO (cm)	8,50	8,40	
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm)	3,40	3,40	
EQUIVALENTE DE ARENA	40%	40%	
<b>EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO</b>	<b>40%</b>		
<b>EQUIVALENTE DE ARENA MINIMO</b>	<b>40%</b>		
<b>CUMPLE</b>	<b>SI</b>		

OBSERVACIONES:

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

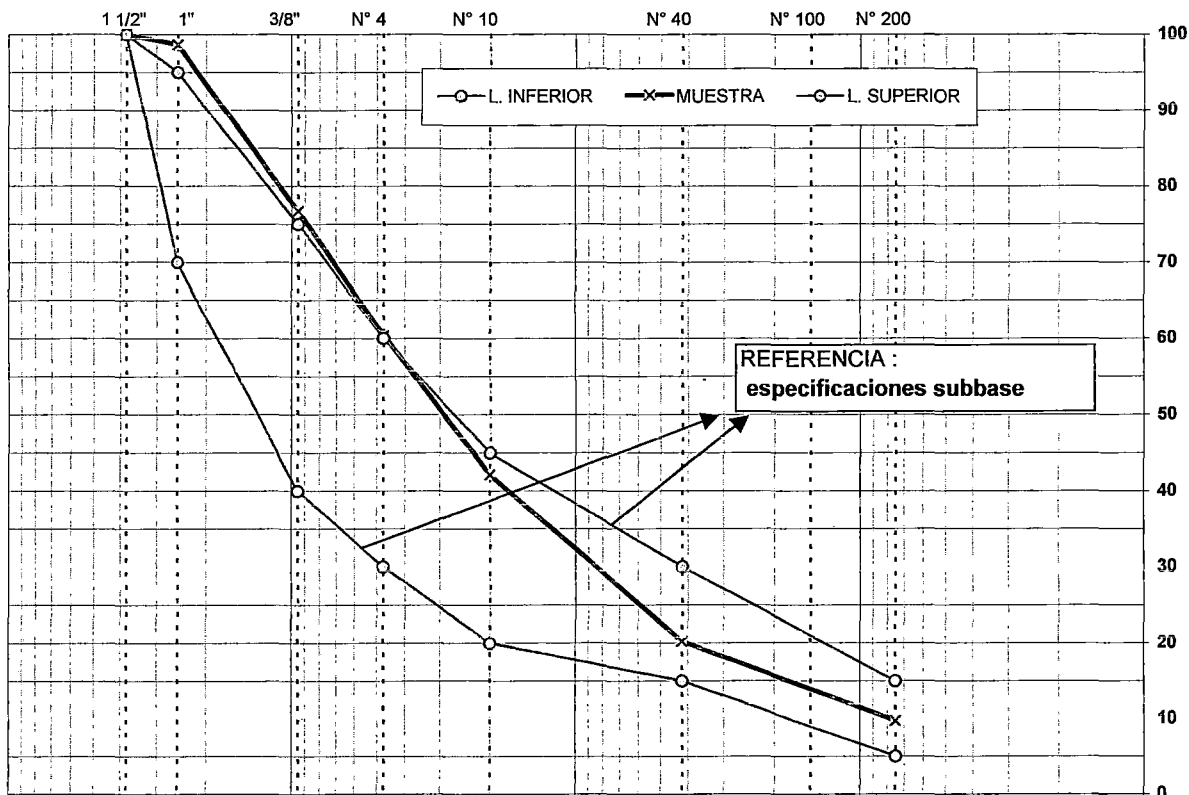
NORMA AASHTO T-11, T-27

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 74+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 07/05/01  
**AL KM** : 75+000

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	REFERENCIAL: ESPECIFICACION SUBBASE	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76,2						PESO TOTAL = 8890 gr
2 1/2"	63,5						LIMITE LIQUIDO = 20,3
2"	50,8						LIMITE PLASTICO = 17,2
1 1/2"	38,1				100,0	100	INDICE PLASTICO = 3,1
1"	25,4	118	1,3	1,3	98,7	75 - 95	CLASF. AASHTO = A - 1 - a (0)
3/4"	19,05						
1/2"	12,5						
3/8"	9,5	1950	21,9	23,3	76,7	40 - 75	MAX. DENS. SECA = 2,18 gr/cc
1/4"	6,35						HUMEDAD OPT. = 5,8 %
# 4	4,75	1454	16,4	39,6	60,4	30 - 60	
# 8	2,36						
# 10	2	289,8	18,2	57,9	42,1	20 - 45	
# 16	1,19						
# 30	0,6						
# 40	0,42	348,9	22,0	79,8	20,2	15 - 30	
# 50	0,3						
# 100	0,15						
# 200	0,075	165,9	10,4	90,3	9,7	5-15	
< # 200		154,9	9,7	100,0			
FRACCION		959,5					
TOTAL		9.059,00					

**CURVA GRANULOMETRICA**



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

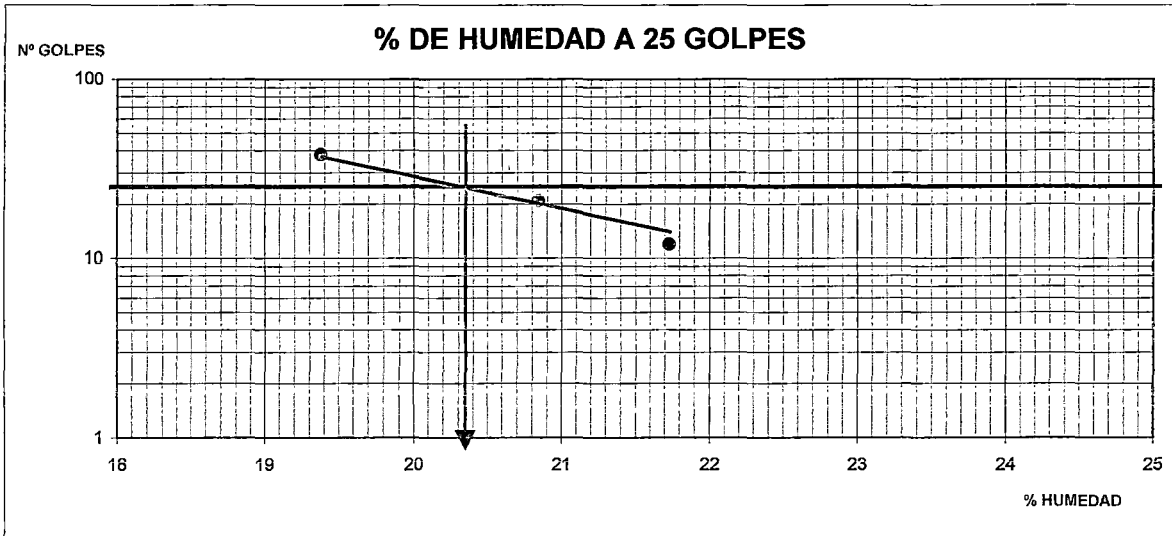
**OBRA** : REHAB. CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 74+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ING° RESP.:** W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 07/05/01  
**AL KM** : 75+000

**LIMITES DE CONSISTENCIA AASHTO T-89, T-90**

<b>LIMITE LIQUIDO</b>				
N° TARRO	9	1	6	
TARRO + SUELO HUMEDO	32,72	38,66	33,05	
TARRO + SUELO SECO	29,63	34,68	30,21	
AGUA	3,09	3,98	2,84	
PESO DEL TARRO	15,41	15,58	15,55	
PESO DEL SUELO SECO	14,22	19,10	14,66	
% DE HUMEDAD	21,73	20,84	19,37	
N° DE GOLPES	12	21	38	

<b>LIMITE PLASTICO</b>				
N° TARRO	10	7		
TARRO + SUELO HUMEDO	16,53	16,51		
TARRO + SUELO SECO	16,40	16,36		
AGUA	0,13	0,15		
PESO DEL TARRO	15,66	15,47		
PESO DEL SUELO SECO	0,74	0,89		
% DE HUMEDAD	17,57	16,85		



<b>CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA</b>	
LIMITE LIQUIDO	20,3
LIMITE PLASTICO	17,2
INDICE DE PLASTICIDAD	3,1

<b>OBSERVACIONES</b>
I.P. < % SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

<b>OBRA</b> : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO	<b>TESISTA</b> : E. CALDERON
<b>TRAMO</b> : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA	<b>ASESOR</b> : W. GUTIERREZ
<b>MATERIAL</b> : RECUPERADO	<b>FECHA</b> : 11/05/01
<b>DEL KM</b> : 74+000	<b>AL KM</b> : 75+000

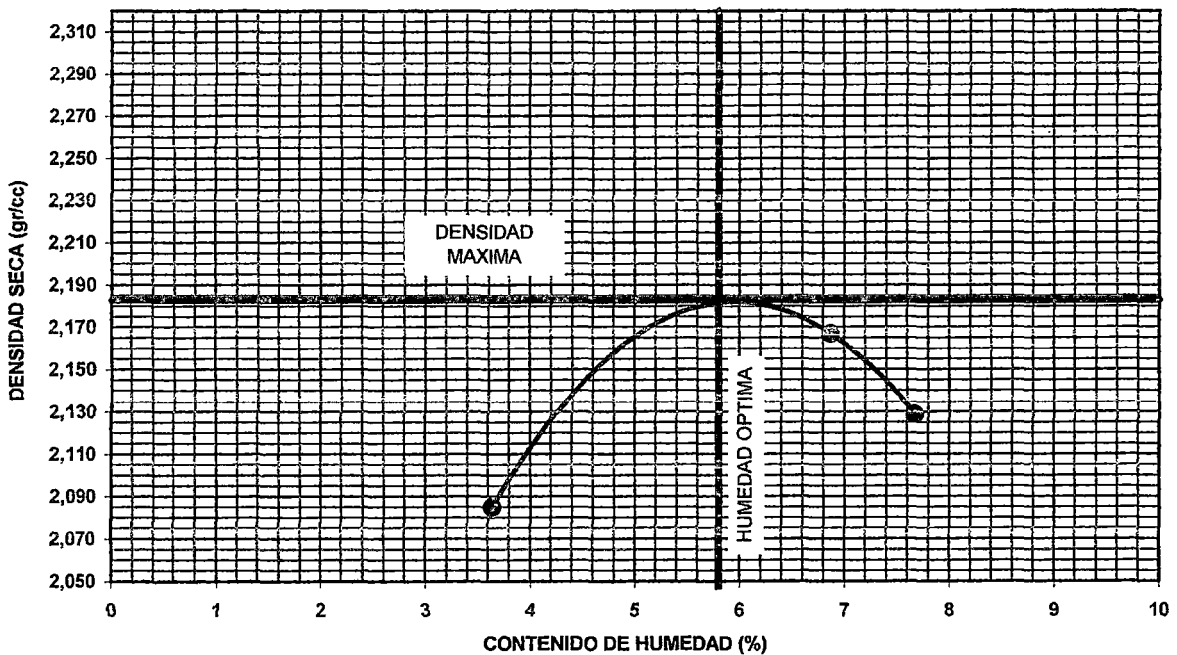
**PROCTOR MODIFICADO**

METODO AASHTO T - 180 - D

**METODO DE COMPACTACION : PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180 METODO - D**

VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2128	PESO DEL MOLDE (gr.) :		5765	MOLDE N°
NUMERO DE ENSAYOS					
PESO SUELO + MOLDE		10363	10693	10643	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		4598	4928	4878	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO		2,161	2,316	2,292	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>					
RECIPIENTE Nro.					
PESO SUELO HUMEDO + TARA		265,00	364,00	353,70	
PESO SUELOS SECO + TARA		255,70	340,60	328,50	
PESO DE LA TARA					
PESO DE AGUA		9,30	23,40	25,20	
PESO DE SUELO SECO		255,70	340,60	328,50	
CONTENIDO DE AGUA		3,64	6,87	7,67	
PESO VOLUMETRICO SECO		2,09	2,17	2,13	
<b>MAX. DENSIDAD SECA:</b>	<b>2,18 gr/cc.</b>	<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>		<b>5,8</b>	<b>%</b>

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**NOTA:**

---



---

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA

OBRA : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 TRAMO : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
 MATERIAL : RECUPERADO  
 DEL KM : 74+000

TESISTA : E. CALDERON  
 ASESOR : W. GUTIERREZ  
 FECHA : 11/05/01  
 AL KM : 75+000

**ENSAYO DE C.B.R.**

NORMA ASSHTO - T - 193

Molde N°		5			5			5		
N° Capa		56			25			12		
Golpes por capa		56			25			12		
Condición de la muestra		Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado			
Peso del suelo húmedo + muestra	gr.	12033		11567		12098				
Peso del molde	gr.	7252		6956		7612				
Peso del suelo húmedo	gr.	4781		4611		4486				
Volúmen del suelo	cc.	2080		2100		2098				
Densidad húmeda	gr./cc	2,30		2,20		2,14				
% de humedad	%	5,63		5,70		5,82				
Densidad seca	gr./cc	2,18		2,08		2,02				
Tara	N°									
Peso del suelo húmedo + tara	gr.	358,4		447,1		554,2				
Peso del suelo seco + tara	gr.	339,3		423,0		523,7				
Peso del agua	gr.	19,1		24,1		30,5				
Peso de la tara	gr.									
Peso del suelo seco	gr.	339,3		423		523,7				
Humedad		5,63		5,70		5,82				
Promedio de humedad	%	5,6		5,7		5,8				

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %
11/05/01	3:15	0 h	0	0				
12/05/01	3:15	24 h	0	0				
13/05/01	3:15	48 h	0	0				
14/05/01	3:15	72 h	0	0				
15/05/01	3:15	96 h	0	0				

**NO EXPANSIVO**

**PENETRACION**

PENETRACION		TIEMPO	1			3			4		
			CARGA 56 golpes			CARGA 25 golpes			CARGA 12 golpes		
mm	pulg.		Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>
0,000	0,000	0'00"	0	25		0	25		0	25	
0,635	0,025	0'30"	24	134		27	148		33	175	
1,270	0,050	1'00"	62	306		63,5	313		87	419	
1,905	0,075	1'30"	110	524		97	465		113	537	
2,540	0,100	2'00"	165	773	57,85	131	619	37,01	131,5	621	33,05
3,810	0,150	3'00"	288,5	1333		210	977		160	750	
5,080	0,200	4'00"	395	1815	109,04	281	1299	70,58	210	977	51,93
6,350	0,250	5'00"	500	2291		336	1546		253	1172	
7,620	0,300	6'00"	601	2749		386,5	1777		292,5	1351	
10,160	0,400	7'00"									

ANILLO AREA = 19,35 cm<sup>2</sup> Ec : Y = 4,53 X + 25,13184

**OBSERVACIONES**

\* Valores corregidos

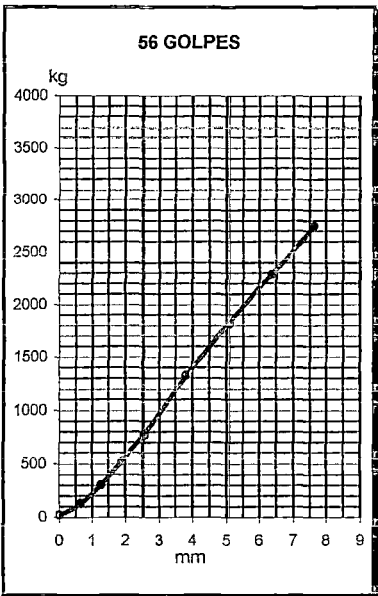


**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

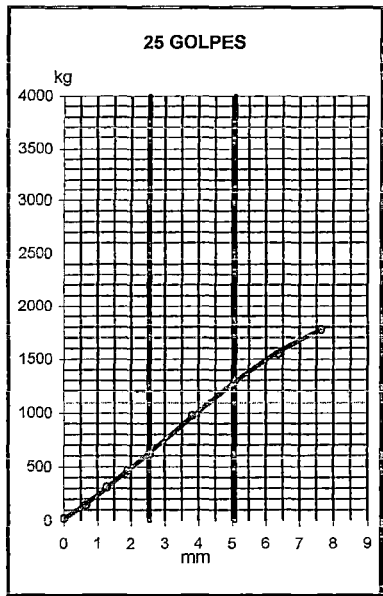
**OBRA** : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 74+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11/05/01  
**AL KM** : 75+000

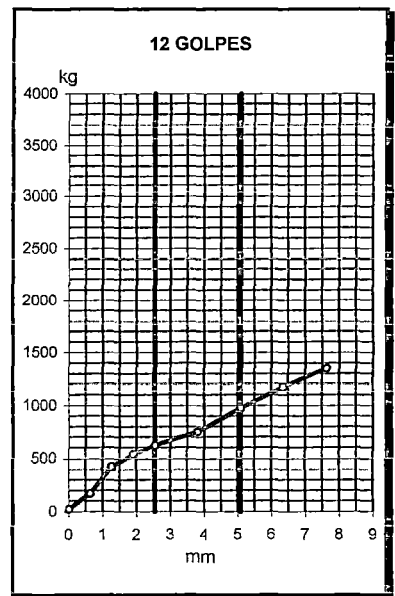
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



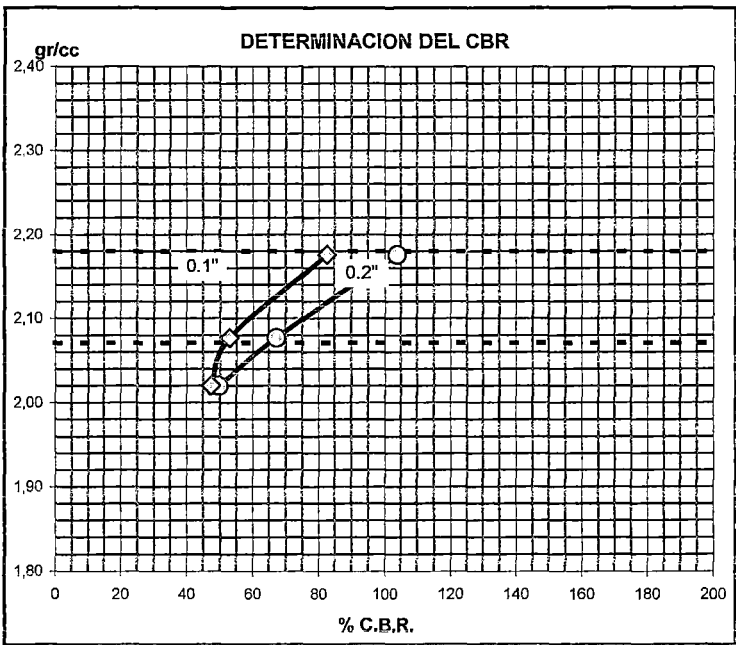
0.1" = 2.54 mm = 82,6  
 0.2" = 5.08 mm = 103,8  
 DENSIDAD SECA = 2,18



0.1" = 2.54 mm = 52,9  
 0.2" = 5.08 mm = 67,2  
 DENSIDAD SECA = 2,08



0.1" = 2.54 mm = 47,2  
 0.2" = 5.08 mm = 49,5  
 DENSIDAD SECA = 2,02



**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD SECA al 100%	=	2,18 gr./cc.
DENSIDAD SECA al 95%	=	2,07 gr./cc.
OPTIMO DE HUMEDAD	=	5,8 %

**VALORES DEL CBR AL 95%**

CBR AL 95%	0.1"	=	52 %
CBR AL 95%	0.2"	=	65 %

**VALORES DEL CBR AL 100%**

CBR AL 100%	0.1"	=	83 %
CBR AL 100%	0.2"	=	104 %

**LEYENDA**

○	—	○	=	0.2" pulg.
◇	—	◇	=	0.1" pulg.

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 74+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 07/05/01  
**AL KM** : 75+000

**EQUIVALENTE DE ARENA - AASHTO T - 176**

DESCRIPCION	1	2	3
TAMAÑO MAXIMO (mm)	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76
MUESTRA N°	1	2	
HORA DE ENTRADA	20:50	20:53	
HORA DE SALIDA	21:00	21:03	
HORA DE ENTRADA	21:02	21:05	
HORA DE SALIDA	21:22	21:25	
ALTURA MAXIMA DE MAT. FINO (cm)	9,60	7,40	
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm)	3,50	3,40	
EQUIVALENTE DE ARENA	36%	46%	
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO	41%		
EQUIVALENTE DE ARENA MINIMO	40%		
CUMPLE	SI		

OBSERVACIONES:

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

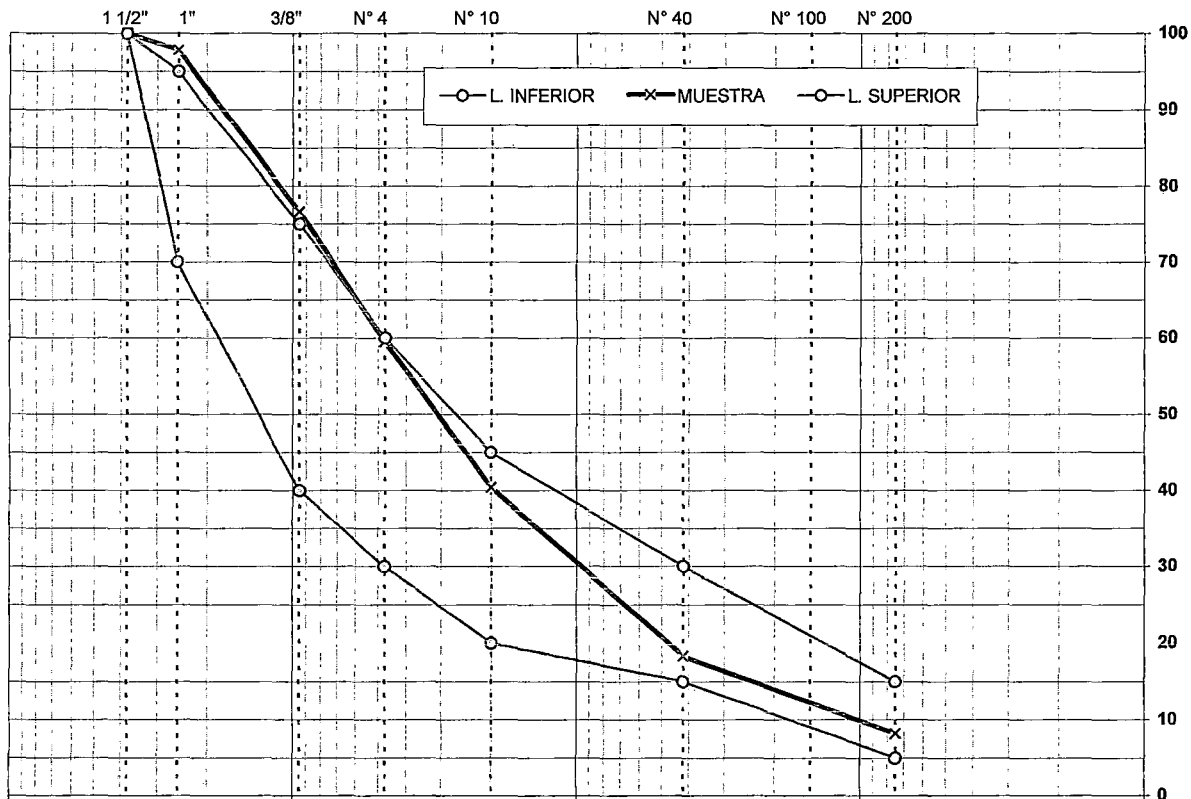
NORMA AASHTO T-11, T-27

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 75+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 13/05/01  
**AL KM** : 76+000

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76,2						PESO TOTAL = 6621 gr
2 1/2"	63,5						
2"	50,8						LIMITE LIQUIDO = 18,8
1 1/2"	38,1				100,0	100	LIMITE PLASTICO = 17,3
1"	25,4	146	2,2	2,2	97,8	75 - 95	INDICE PLASTICO = 1,5
3/4"	19,05						CLASF. AASHTO = A - 1 - a (0)
1/2"	12,5						
3/8"	9,5	1400	21,1	23,3	76,7	40 - 75	MAX. DENS. SECA = 2,26 gr/cc
1/4"	6,35						HUMEDAD OPT. = 6,0 %
# 4	4,75	1135	17,1	40,5	59,5	30 - 60	
# 8	2,36						
# 10	2	196,3	19,1	59,6	40,4	20 - 45	
# 16	1,19						
# 30	0,6						
# 40	0,42	226,5	22,1	81,7	18,3	15 - 30	
# 50	0,3						
# 100	0,15						
# 200	0,075	104	10,1	91,8	8,2	5-15	
< # 200		84,1	8,2	100,0			
FRACCION		610,9					
TOTAL		9.059,00					

**CURVA GRANULOMETRICA**



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

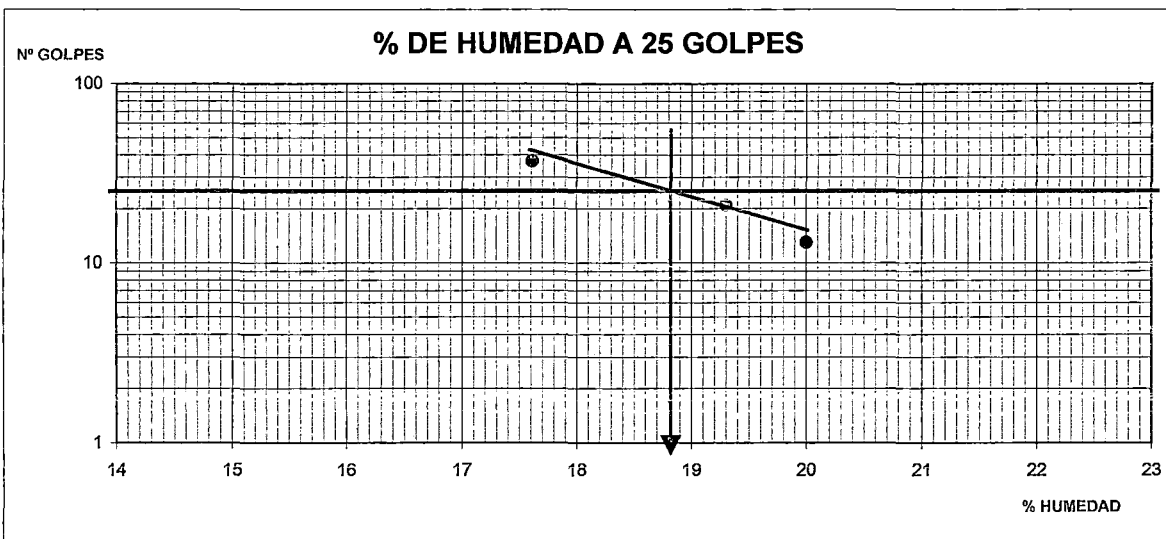
**OBRA** : REHAB. CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 75+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ING° RESP.:** W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 13/05/01  
**AL KM** : 76+000

**LIMITES DE CONSISTENCIA AASHTO T-89, T-90**

<b>LIMITE LIQUIDO</b>				
N° TARRO	10	1	6	
TARRO + SUELO HUMEDO	29,81	35,36	25,57	
TARRO + SUELO SECO	27,41	32,16	24,07	
AGUA	2,40	3,20	1,50	
PESO DEL TARRO	15,41	15,58	15,55	
PESO DEL SUELO SECO	12,00	16,58	8,52	
% DE HUMEDAD	20,00	19,30	17,61	
N° DE GOLPES	13	21	37	

<b>LIMITE PLASTICO</b>				
N° TARRO	13	7		
TARRO + SUELO HUMEDO	16,83	16,80		
TARRO + SUELO SECO	16,66	16,60		
AGUA	0,17	0,20		
PESO DEL TARRO	15,66	15,47		
PESO DEL SUELO SECO	1,00	1,13		
% DE HUMEDAD	17,00	17,70		



<b>CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA</b>	
LIMITE LIQUIDO	18,8
LIMITE PLASTICO	17,3
INDICE DE PLASTICIDAD	1,5

<b>OBSERVACIONES</b>
I.P. < % SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 75+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11/05/01  
**AL KM** : 76+000

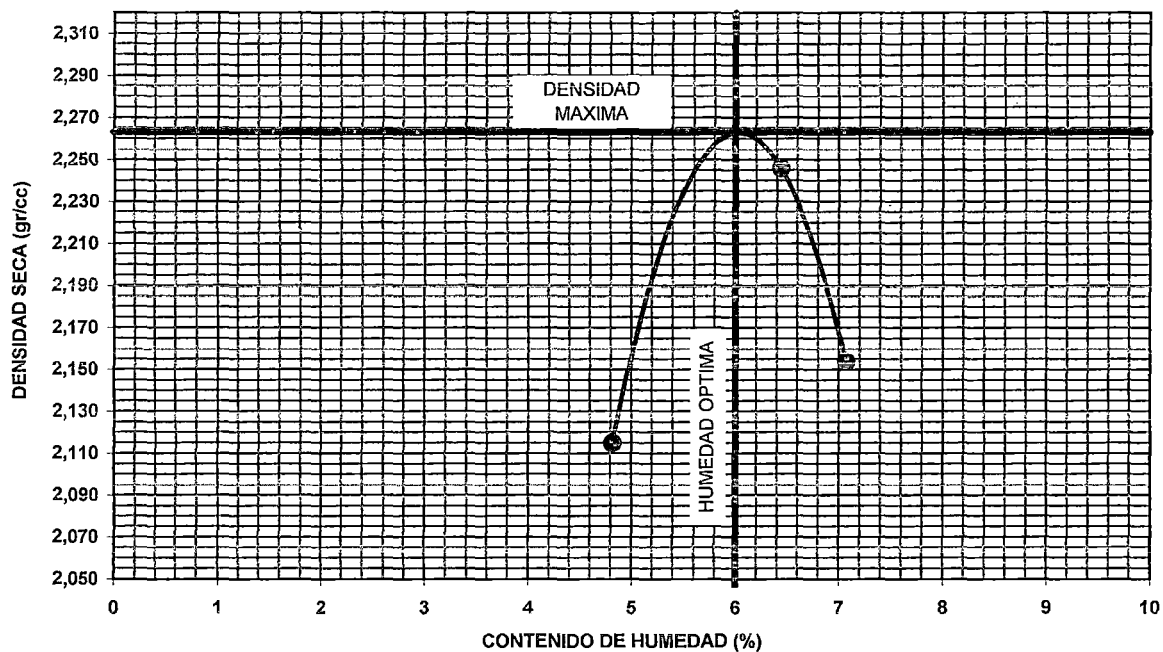
**PROCTOR MODIFICADO**

METODO AASHTO T - 180 - D

**METODO DE COMPACTACION : PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180 METODO - D**

VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	PESO DEL MOLDE (gr.) :			MOLDE N°
2128	5765			
NUMERO DE ENSAYOS				
PESO SUELO + MOLDE	10483	10853	10672	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4718	5088	4907	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	2,217	2,391	2,306	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
RECIPIENTE Nro.				
PESO SUELO HUMEDO + TARA	530,90	570,50	481,80	
PESO SUELOS SECO + TARA	506,50	536,00	450,00	
PESO DE LA TARA				
PESO DE AGUA	24,40	34,50	31,80	
PESO DE SUELO SECO	506,50	536,00	450,00	
CONTENIDO DE AGUA	4,82	6,44	7,07	
PESO VOLUMETRICO SECO	2,12	2,25	2,15	
<b>MAX. DENSIDAD SECA:</b>	<b>2,26 gr/cc.</b>	<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>	<b>6,0</b>	<b>%</b>

**GRAFICO DEL PROCTOR**



NOTA:

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

OBRA : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 TRAMO : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
 MATERIAL : RECUPERADO  
 DEL KM : 75+000

TESISTA : E. CALDERON  
 ASESOR : W. GUTIERREZ  
 FECHA : 11/05/01  
 AL KM : 76+000

**ENSAYO DE C.B.R.**

NORMA ASSHTO - T - 193

Molde N°		5		5		5	
N° Capa		56		25		12	
Golpes por capa		56		25		12	
Condición de la muestra		Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado
Peso del suelo húmedo + muestra	gr.	12230		11837		12312	
Peso del molde	gr.	7252		6956		7612	
Peso del suelo húmedo	gr.	4978		4881		4700	
Volúmen del suelo	cc.	2080		2100		2098	
Densidad húmeda	gr./cc	2,39		2,32		2,24	
% de humedad	%	6,12		6,19		6,40	
Densidad seca	gr./cc	2,26		2,19		2,11	
Tara	N°						
Peso del suelo húmedo + tara	gr.	360,8		449,2		557,2	
Peso del suelo seco + tara	gr.	340,0		423,0		523,7	
Peso del agua	gr.	20,6		26,2		33,5	
Peso de la tara	gr.						
Peso del suelo seco	gr.	340,0		423		523,7	
Humedad	%	6,12		6,19		6,40	
Promedio de humedad	%	6,1		6,2		6,4	

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %
11/05/01	3:15	0 h	0	0				
12/05/01	3:15	24 h	0	0				
13/05/01	3:15	48 h	0	0				
14/05/01	3:15	72 h	0	0				
15/05/01	3:15	96 h	0	0				

**NO EXPANSIVO**

**PENETRACION**

PENETRACION		TIEMPO	1			3			4		
mm	pulg.		CARGA 56 golpes			CARGA 25 golpes			CARGA 12 golpes		
			Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>
0,000	0,000	0'00"	0	25		0	25		0	25	
0,635	0,025	0'30"	26	143		24	134		19	111	
1,270	0,050	1'00"	73	356		58	288		65	320	
1,905	0,075	1'30"	114	542		86	415		83	401	
2,540	0,100	2'00"	168	787	58,56	135	637	42,20	123	583	33,52
3,810	0,150	3'00"	293	1353		205	954		160	750	
5,080	0,200	4'00"	395	1815	110,00	273	1262	70,81	198	923	52,74
6,350	0,250	5'00"	508	2327		315	1453		253	1172	
7,620	0,300	6'00"	612	2799		359	1652		284	1312	
10,160	0,400	7'00"									

ANILLO AREA = 19,35 cm<sup>2</sup> Ec : Y = 4,53 X + 25,13184

**OBSERVACIONES**

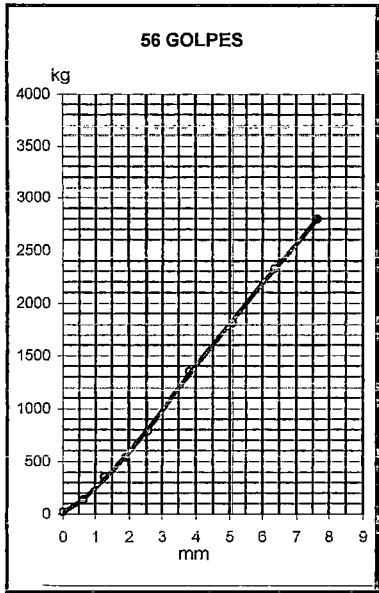
\* Valores corregidos

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

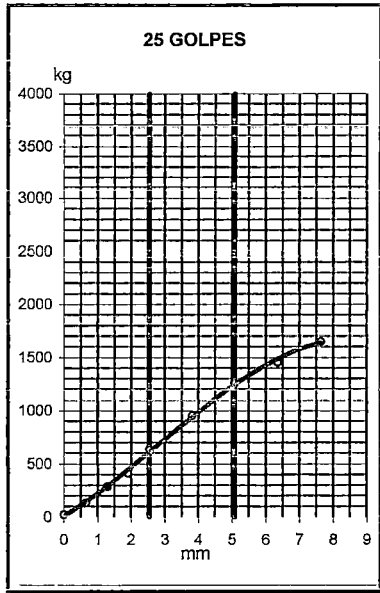
**OBRA** : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 75+000

**TESISTA** : E. CALDERÓN  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11/05/01  
**AL KM** : 76+000

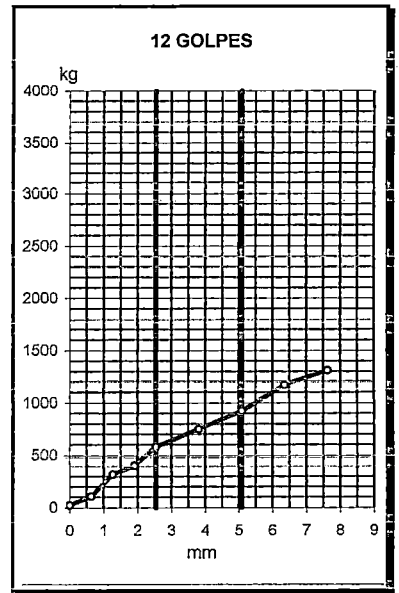
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



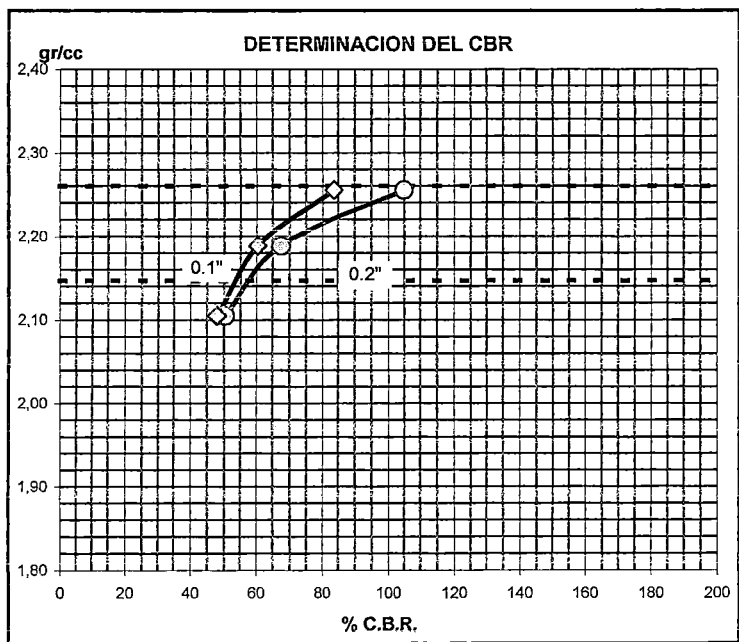
0.1" = 2.54 mm = 83,7  
 0.2" = 5.08 mm = 104,8  
 DENSIDAD SECA = 2,26



0.1" = 2.54 mm = 60,3  
 0.2" = 5.08 mm = 67,4  
 DENSIDAD SECA = 2,19



0.1" = 2.54 mm = 47,9  
 0.2" = 5.08 mm = 50,2  
 DENSIDAD SECA = 2,11



**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD SECA al 100% = 2,26 gr./cc.  
 DENSIDAD SECA al 95% = 2,15 gr./cc.  
 OPTIMO DE HUMEDAD = 6,0 %

**VALORES DEL CBR AL 95%**

CBR AL 95% 0.1" = 54 %  
 CBR AL 95% 0.2" = 59 %

**VALORES DEL GBR AL 100%**

CBR AL 100% 0.1" = 84 %  
 CBR AL 100% 0.2" = 105 %

**LEYENDA**

○ = 0.2" pulg.  
 ◇ = 0.1" pulg.

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 75+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 13/05/01  
**AL KM** : 76+000

**EQUIVALENTE DE ARENA - AASHTO T - 176**

DESCRIPCION	1	2	3
TAMAÑO MAXIMO (mm)	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76
MUESTRA Nº	1	2	
HORA DE ENTRADA	20:50	20:53	
HORA DE SALIDA	21:00	21:03	
HORA DE ENTRADA	21:02	21:05	
HORA DE SALIDA	21:22	21:25	
ALTURA MAXIMA DE MAT. FINO (cm)	9,60	7,20	
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm)	3,60	3,30	
EQUIVALENTE DE ARENA	38%	46%	
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO	42%		
EQUIVALENTE DE ARENA MINIMO	40%		
CUMPLE	SI		

OBSERVACIONES:



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

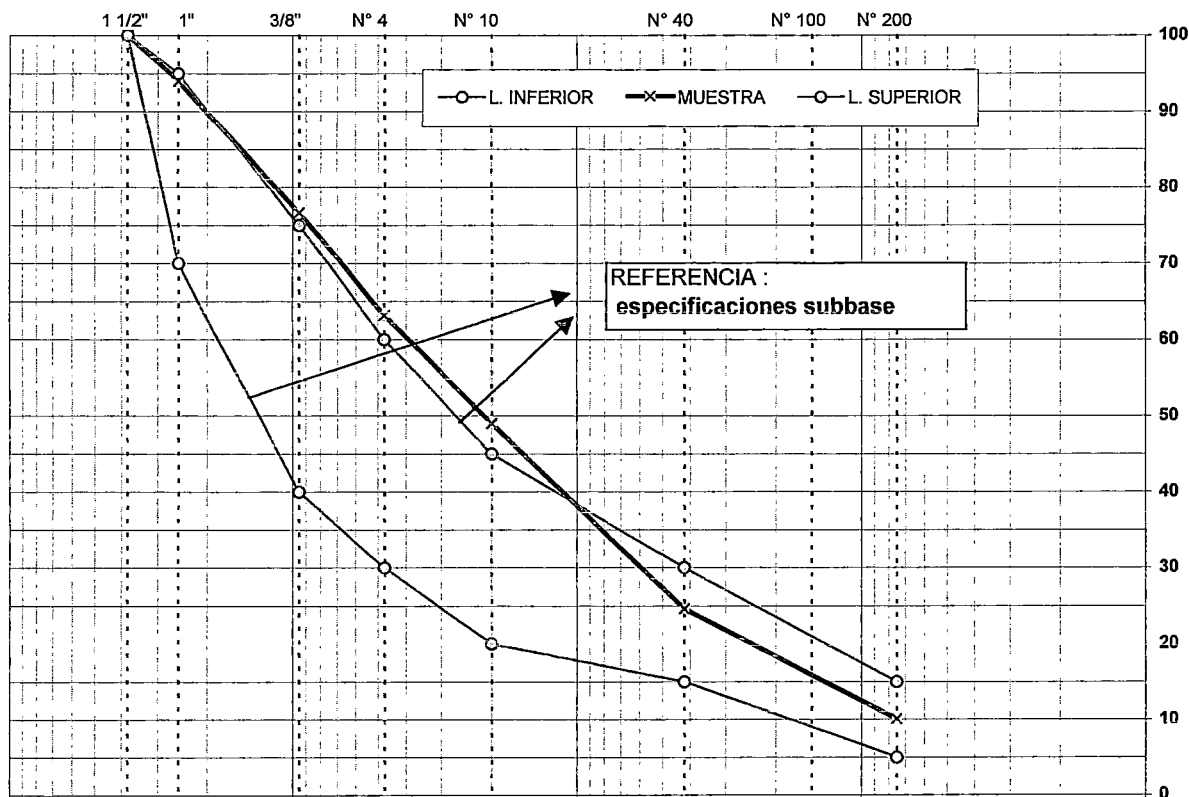
NORMA AASHTO T-11, T-27

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECIUPERADO  
**DEL KM** : 76+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 15/06/01  
**AL KM** : 77+000

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76,2						PESO TOTAL = 8318 gr
2 1/2"	63,5						LIMITE LIQUIDO = 20,5
2"	50,8						LIMITE PLASTICO = 17,2
1 1/2"	38,1				100,0	100	INDICE PLASTICO = 3,3
1"	25,4	495,6	6,0	6,0	94,0	75 - 95	CLASF. AASHTO = A - 1 - a (0)
3/4"	19,05						
1/2"	12,5						
3/8"	9,5	1445	17,4	23,3	76,7	40 - 75	MAX. DENS. SECA = 2,27 gr/cc
1/4"	6,35						HUMEDAD OPT. = 6,0 %
# 4	4,75	1124	13,5	36,8	63,2	30 - 60	
# 6	2,36						
# 10	2	127	14,2	51,0	49,0	20 - 45	
# 16	1,19						
# 30	0,6						
# 40	0,42	218,3	24,4	75,4	24,6	15 - 30	
# 50	0,3						
# 100	0,15						
# 200	0,075	130,4	14,6	89,9	10,1	5-15	
< # 200		90,3	10,1	100,0			
FRACCION		566					
TOTAL		9.059,00					

**CURVA GRANULOMETRICA**



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

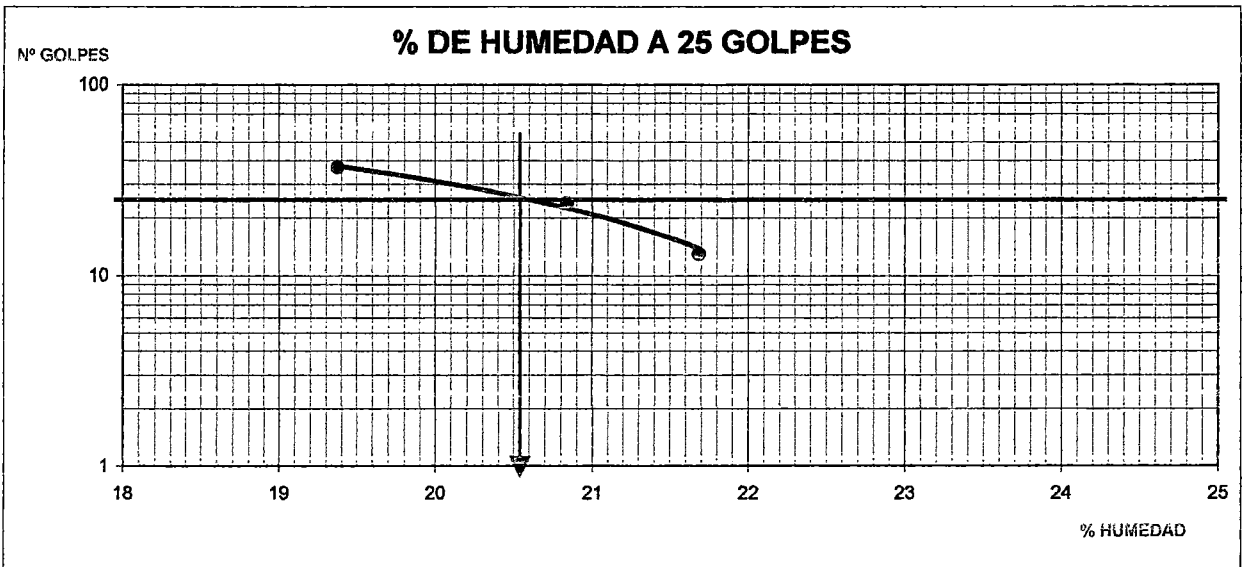
**OBRA** : REHAB. CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECIUPERADO  
**DEL KM** : 76+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ING° RESP.:** W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 15/06/01  
**AL KM** : 77+000

**LIMITES DE CONSISTENCIA AASHTO T-89, T-90**

<b>LIMITE LIQUIDO</b>				
N° TARRO	10	7	8	
TARRO + SUELO HUMEDO	32,72	38,66	33,05	
TARRO + SUELO SECO	29,63	34,68	30,21	
AGUA	3,09	3,98	2,84	
PESO DEL TARRO	15,38	15,58	15,55	
PESO DEL SUELO SECO	14,25	19,10	14,66	
% DE HUMEDAD	21,68	20,84	19,37	
N° DE GOLPES	13	24	37	

<b>LIMITE PLASTICO</b>				
N° TARRO	10	7		
TARRO + SUELO HUMEDO	16,53	16,51		
TARRO + SUELO SECO	16,40	16,36		
AGUA	0,13	0,15		
PESO DEL TARRO	15,66	15,47		
PESO DEL SUELO SECO	0,74	0,89		
% DE HUMEDAD	17,57	16,85		



<b>CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA</b>	
LIMITE LIQUIDO	20,5
LIMITE PLASTICO	17,2
INDICE DE PLASTICIDAD	3,3

<b>OBSERVACIONES</b>
I.P. < % SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECIUPERADO  
**DEL KM** : 76+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 15/05/01  
**AL KM** : 77+000

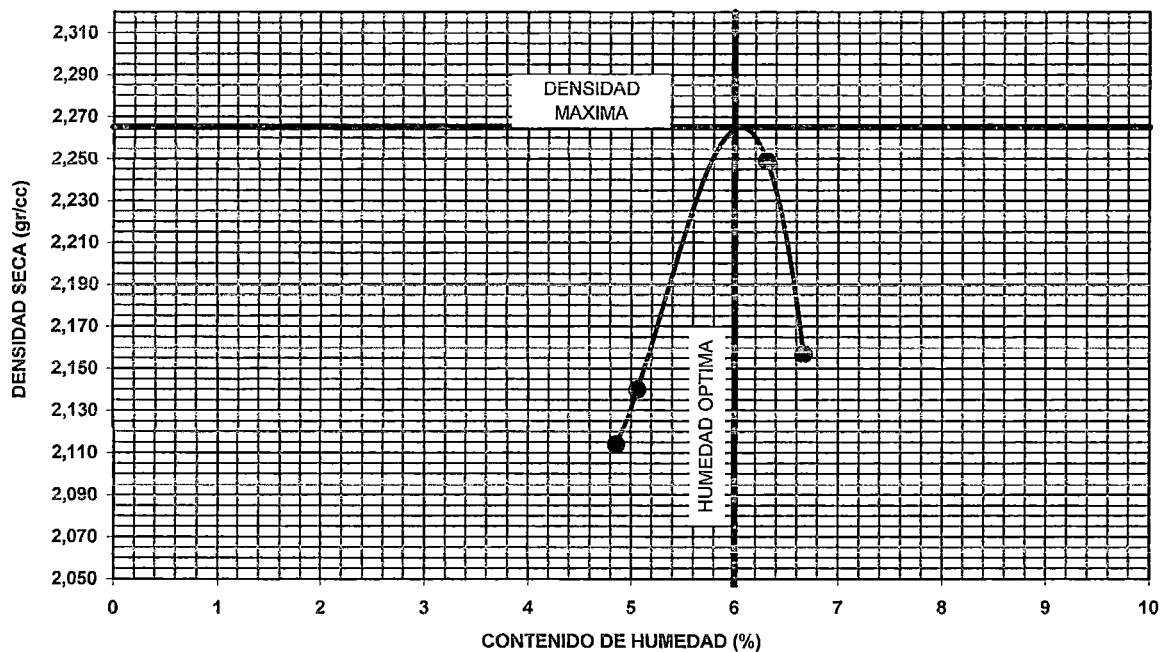
**PROCTOR MODIFICADO**

METODO AASHTO T - 180 - D

METODO DE COMPACTACION : PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180 METODO - D

VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2128	PESO DEL MOLDE (gr.) :				5765	MOLDE N°
NUMERO DE ENSAYOS							
PESO SUELO + MOLDE		10483	10853	10662	10549		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		4718	5088	4897	4784		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO		2,217	2,391	2,301	2,248		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
RECIPIENTE Nro.							
PESO SUELO HUMEDO + TARA		526,90	564,50	492,80	431,80		
PESO SUELOS SECO + TARA		502,50	531,00	462,00	411,00		
PESO DE LA TARA							
PESO DE AGUA		24,40	33,50	30,80	20,80		
PESO DE SUELO SECO		502,50	531,00	462,00	411,00		
CONTENIDO DE AGUA		4,86	6,31	6,67	5,06		
PESO VOLUMETRICO SECO		2,11	2,25	2,16	2,14		
<b>MAX. DENSIDAD SECA:</b>	<b>2,27 gr/cc.</b>	<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>			<b>6,0</b>	<b>%</b>	

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**NOTA:**

---



---



---

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA

OBRA : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 TRAMO : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
 MATERIAL : RECIUPERADO  
 DEL KM : 76+000

TESISTA : E. CALDERON  
 ASESOR : W. GUTIERREZ  
 FECHA : 15/05/01  
 AL KM : 77+000

**ENSAYO DE C.B.R.**

NORMA ASSHTO - T - 193

Molde N°		5		5		5	
N° Capa		56		25		12	
Golpes por capa		56		25		12	
Condición de la muestra		Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado
Peso del suelo húmedo + muestra	gr.	12230		11882		12837	
Peso del molde	gr.	7252		6956		8148	
Peso del suelo húmedo	gr.	4978		4926		4689	
Volúmen del suelo	cc.	2080		2100		2052	
Densidad húmeda	gr./cc	2,39		2,35		2,29	
% de humedad	%	6,00		6,09		6,19	
Densidad seca	gr./cc	2,26		2,21		2,15	
Tara	N°						
Peso del suelo húmedo + tara	gr.	438,7		490,9		545,8	
Peso del suelo seco + tara	gr.	412,0		462,7		514,0	
Peso del agua	gr.	24,7		28,2		31,8	
Peso de la tara	gr.						
Peso del suelo seco	gr.	412,0		462,7		514,0	
Humedad	%	6,00		6,09		6,19	
Promedio de humedad	%	6,0		6,1		6,2	

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %
11/05/01	3:15	0 h	0	0				
12/05/01	3:15	24 h	0	0				
13/05/01	3:15	48 h	0	0				
14/05/01	3:15	72 h	0	0				
15/05/01	3:15	96 h	0	0				

NO EXPANSIVO

**PENETRACION**

PENETRACION		TIEMPO	1			3			4		
			CARGA 56 golpes			CARGA 25 golpes			CARGA 12 golpes		
mm	pulg.		Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>
0,000	0,000	0'00"	0	25		0	25		0	25	
0,635	0,025	0'30"	27	148		21	120		20	116	
1,270	0,050	1'00"	68	333		58	288		60	297	
1,905	0,075	1'30"	115	546		89	428		79	383	
2,540	0,100	2'00"	175	818	55,87	128	605	40,75	119	564	33,53
3,810	0,150	3'00"	292	1349		215	1000		161	755	
5,080	0,200	4'00"	402	1847	108,22	278	1285	70,12	216	1004	55,00
6,350	0,250	5'00"	512	2346		312	1439		246	1140	
7,620	0,300	6'00"	615	2812		390	1793		295	1362	
10,160	0,400	7'00"									

ANILLO AREA = 19,35 cm<sup>2</sup> Ec: Y = 4,53 X + 25,13184

**OBSERVACIONES**

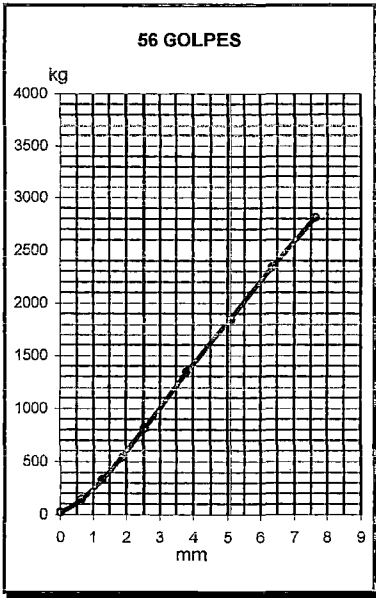
\* Valores corregidos

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

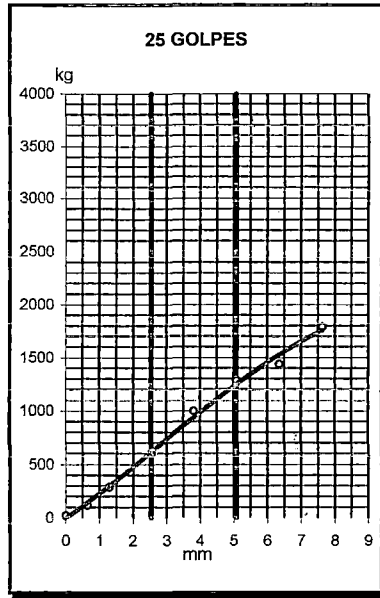
**OBRA** : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : BASE  
**DEL KM** : 76+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 15/05/01  
**AL KM** : 77+000

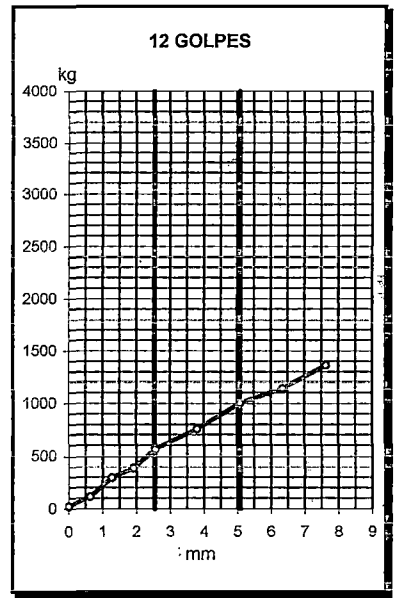
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



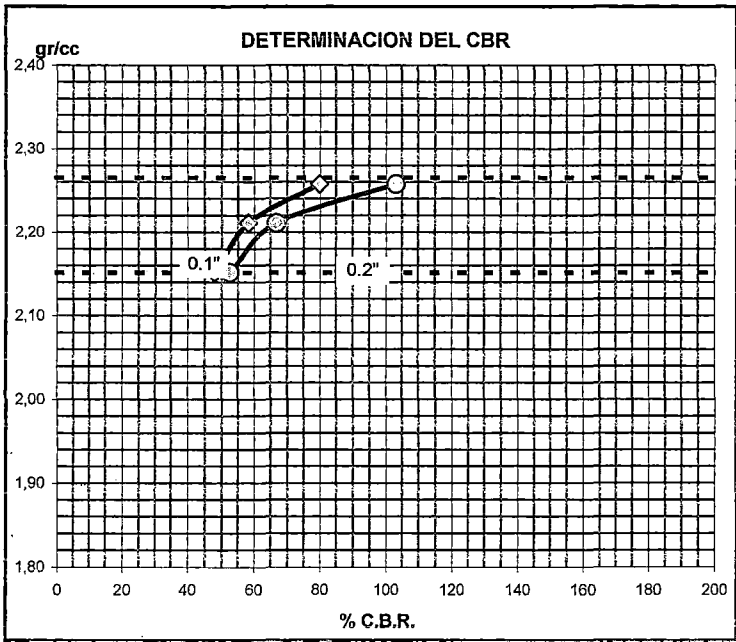
0.1" = 2.54 mm = 79,8  
 0.2" = 5.08 mm = 103,1  
 DENSIDAD SECA = 2,26



0.1" = 2.54 mm = 58,2  
 0.2" = 5.08 mm = 66,8  
 DENSIDAD SECA = 2,21



0.1" = 2.54 mm = 47,9  
 0.2" = 5.08 mm = 52,4  
 DENSIDAD SECA = 2,15



<b>DATOS DEL PROCTOR</b>	
DENSIDAD SECA al 100%	= 2,27 gr./cc.
DENSIDAD SECA al 95%	= 2,15 gr./cc.
OPTIMO DE HUMEDAD	= 6,0 %

<b>VALORES DEL CBR AL 95%</b>	
CBR AL 95%	0.1" = 48 %
CBR AL 95%	0.2" = 52 %

<b>VALORES DEL CBR AL 100%</b>	
CBR AL 100%	0.1" = 80 %
CBR AL 100%	0.2" = 103 %

<b>LEYENDA</b>	
○	= 0.2" pulg.
◇	= 0.1" pulg.

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECIUPERADO  
**DEL KM** : 76+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 15/06/01  
**AL KM** : 77+000

**EQUIVALENTE DE ARENA - AASHTO T - 176**

DESCRIPCION	1	2	3
TAMAÑO MAXIMO (mm)	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76
MUESTRA N°	1	2	
HORA DE ENTRADA	20:50	20:53	
HORA DE SALIDA	21:00	21:03	
HORA DE ENTRADA	21:02	21:05	
HORA DE SALIDA	21:22	21:25	
ALTURA MAXIMA DE MAT. FINO (cm)	9,60	8,20	
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm)	3,50	3,40	
EQUIVALENTE DE ARENA	36%	41%	
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO	39%		
EQUIVALENTE DE ARENA MINIMO	40%		
CUMPLE	SI		

OBSERVACIONES:

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA

**ENSAYO " LOS ANGELES " ( ABRASION )**

NORMA ASSHTO T - 96

OBRA : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
TRAMO : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
MATERIAL : RECUPERADO  
DEL KM : 75+000

TESISTA : E. CALDERON  
ASESOR : W. GUTIERREZ  
FECHA : 11-05-01  
AL KM : 76+000

TAMIZ	GRADUACIONES		
	A	B	PROMEDIO
1 1/2"			
1"	1250		
3/4"	1250		
1/2"	1250		
3/8"	1250		
1/4"			
Nº 4			
PESO TOTAL	5000		
PESO OBTENIDO DESPUES DEL ENSAYO	3840		
PERDIDA EN PESO DESPUES DEL ENSAYO	1160		
Nº DE ESFERAS	12		
PESO DE LAS ESFERAS	5040		
% OBTENIDO	23,2		23,2

**OBSERVACIONES :**

MAXIMO PERMITIDO 40%

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA

**ENSAYO " LOS ANGELES " ( ABRASION )**

NORMA ASSHTO T - 96

OBRA : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
TRAMO : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
MATERIAL : RECUPERADO  
DEL KM : 76+000

TESISTA : E. CALDERON  
ASESOR : W. GUTIERREZ  
FECHA : 11-05-01  
AL KM : 77+000

TAMIZ	GRADUACIONES			
		A	B	PROMEDIO
1 1/2"				
1"		1250		
3/4"		1250		
1/2"		1250		
3/8"		1250		
1/4"				
Nº 4				
PESO TOTAL		5000		
PESO OBTENIDO DESPUES DEL ENSAYO		3860		
PERDIDA EN PESO DESPUES DEL ENSAYO		1140		
Nº DE ESFERAS		12		
PESO DE LAS ESFERAS		5040		
% OBTENIDO		22,8		22,8

**OBSERVACIONES :**

MAXIMO PERMITIDO 40%



CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA

**ENSAYO " LOS ANGELES " ( ABRASION )**

NORMA ASSHTO T - 96

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 77+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11-05-01  
**AL KM** : 78+000

TAMIZ	GRADUACIONES			PROMEDIO
		A	B	
1 1/2"				
1"		1250		
3/4"		1250		
1/2"		1250		
3/8"		1250		
1/4"				
N° 4				
PESO TOTAL		5000		
PESO OBTENIDO DESPUES DEL ENSAYO		3770		
PERDIDA EN PESO DESPUES DEL ENSAYO		1230		
N° DE ESFERAS		12		
PESO DE LAS ESFERAS		5040		
% OBTENIDO		24,6		24,6

**OBSERVACIONES :**

MAXIMO PERMITIDO 40%

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

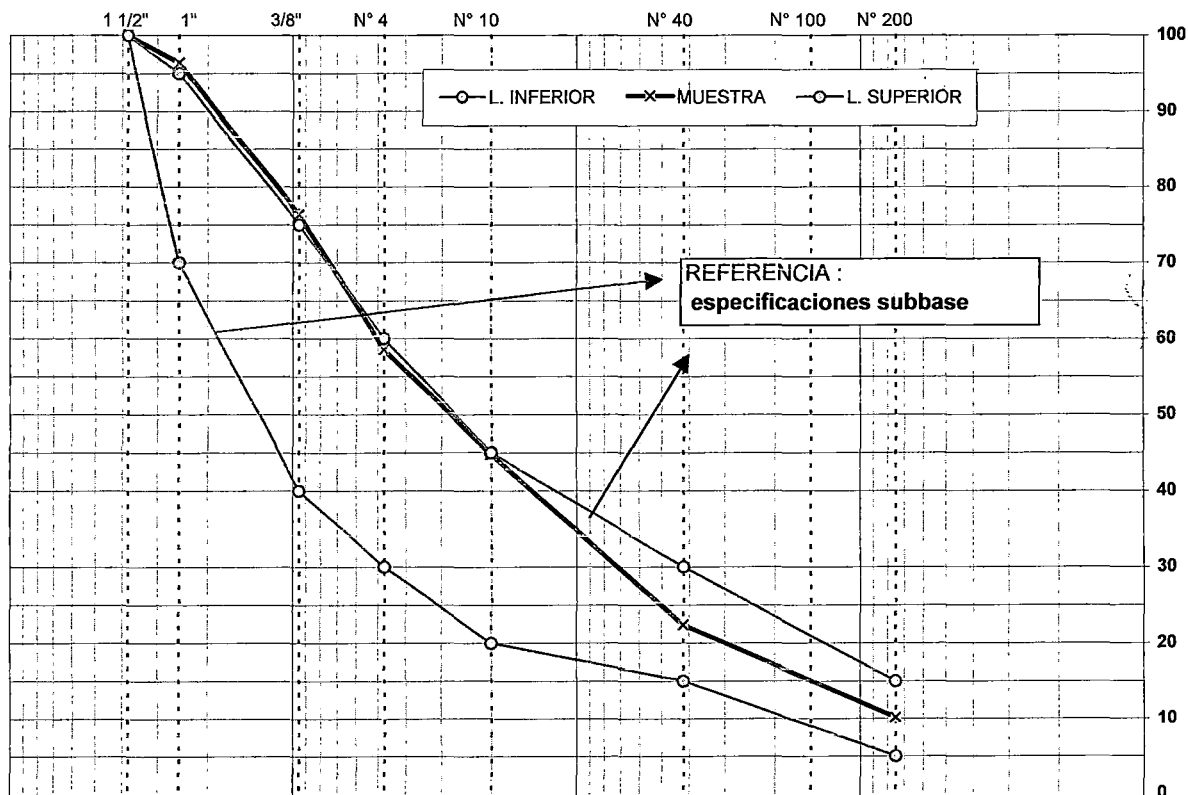
NORMA AASHTO T-11, T-27

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 77+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11/05/01  
**AL KM** : 78+000

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET.	%RET. AC.	% Q' PASA	REFERENCIAL: ESPECIFICACION SUBBASE	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76,2						PESO TOTAL = 10438 gr
2 1/2"	63,5						
2"	50,8						LIMITE LIQUIDO = 19,8
1 1/2"	38,1				100,0	100	LIMITE PLASTICO = 16,0
1"	25,4	378	3,6	3,6	96,4	75 - 95	INDICE PLASTICO = 3,8
3/4"	19,05						CLASF. AASHTO = A - 1 - a (0)
1/2"	12,5						
3/8"	9,5	2090	20,0	23,6	76,4	40 - 75	MAX. DENS. SECA = 2,26 gr/cc
1/4"	6,35						HUMEDAD OPT. = 6,0 %
# 4	4,75	1860,5	17,8	41,5	58,5	30 - 60	
# 8	2,36						CBR AL 100% = 97 %
# 10	2	153,2	13,8	55,3	44,7	20 - 45	
# 16	1,19						P. CH. Y ALARG. = %
# 30	0,6						CARAS FRACT. = %
# 40	0,42	247,8	22,3	77,6	22,4	15 - 30	
# 50	0,3						ABRASION = %
# 100	0,15						EQUIV. ARENA = 41 %
# 200	0,075	135	12,2	89,8	10,2	5-15	IMPUREZAS ORG. =
< # 200		113,2	10,2	100,0			
FRACCION		649,2					
TOTAL		9.059,00					

**CURVA GRANULOMETRICA**



**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 77+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ING° RESP.:** W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11/05/01  
**AL KM** : 78+000

**LIMITES DE CONSISTENCIA AASHTO T-89, T-90**

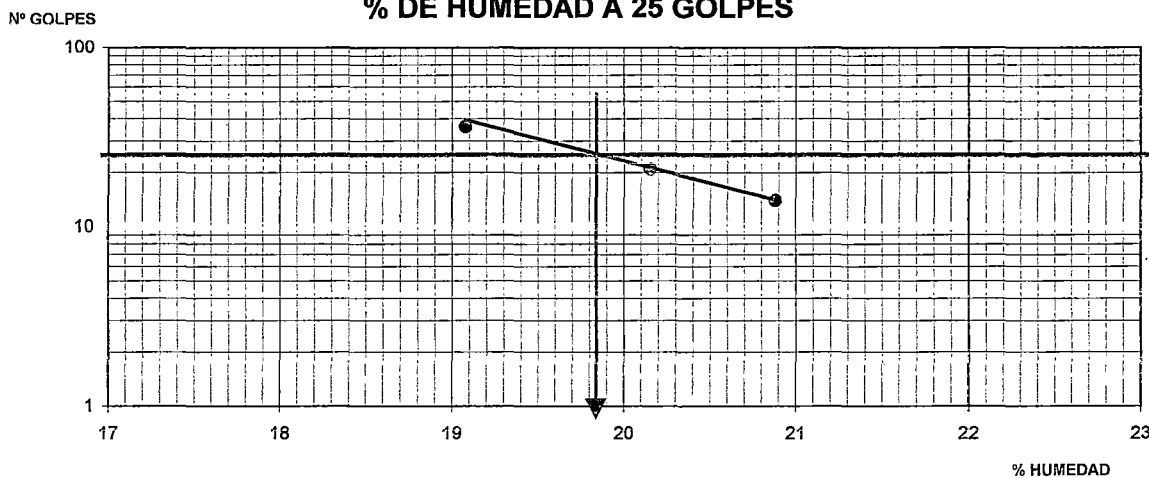
**LIMITE LIQUIDO**

N° TARRO	6	8	10
TARRO + SUELO HUMEDO	36,97	34,65	38,13
TARRO + SUELO SECO	33,27	31,48	34,53
AGUA	3,70	3,17	3,60
PESO DEL TARRO	15,55	15,75	15,66
PESO DEL SUELO SECO	17,72	15,73	18,87
% DE HUMEDAD	20,88	20,15	19,08
N° DE GOLPES	14	21	36

**LIMITE PLASTICO**

N° TARRO	1	5
TARRO + SUELO HUMEDO	7,92	7,93
TARRO + SUELO SECO	7,68	7,70
AGUA	0,24	0,23
PESO DEL TARRO	6,21	6,23
PESO DEL SUELO SECO	1,47	1,47
% DE HUMEDAD	16,33	15,65

**% DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



<b>CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA</b>	
LIMITE LIQUIDO	19,8
LIMITE PLASTICO	16,0
INDICE DE PLASTICIDAD	3,8

<b>OBSERVACIONES</b>
I.P. < % SEGÚN ESPECIFICACIONES TECNICAS

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 77+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11/05/01  
**AL KM** : 78+000

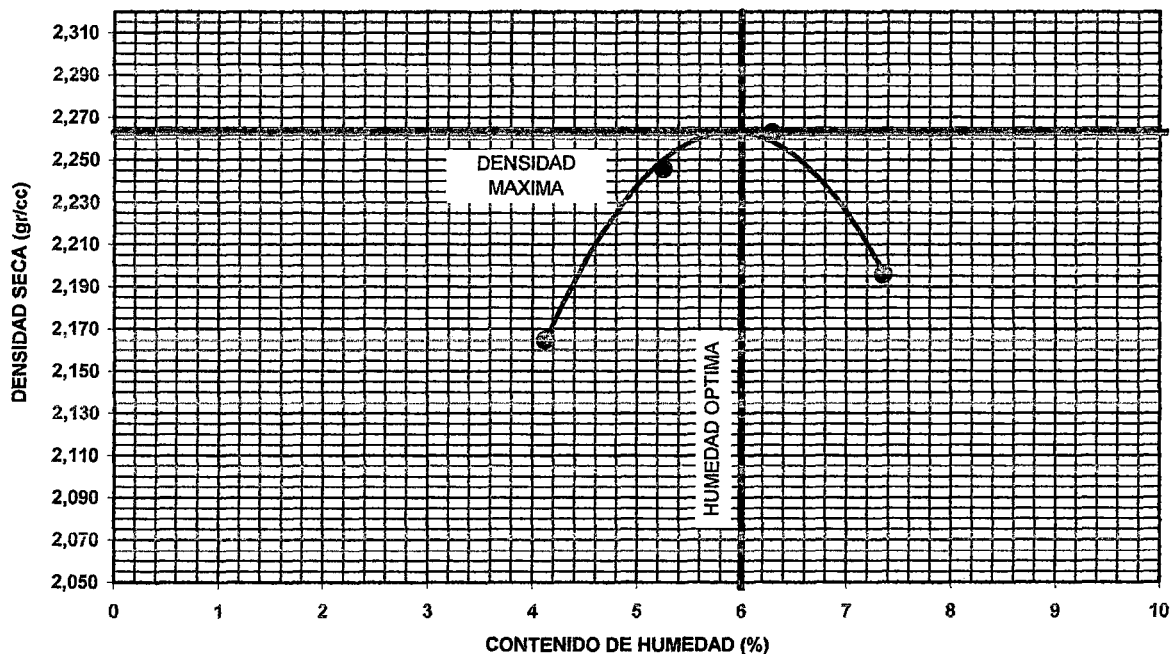
**PROCTOR MODIFICADO**

METODO AASHTO T - 180 - D

**METODO DE COMPACTACION : PROCTOR MODIFICADO AASHTO T-180 METODO - D**

VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2128		PESO DEL MOLDE (gr.) :		5765		MOLDE N°
NUMERO DE ENSAYOS							
PESO SUELO + MOLDE		10562	10795		10884	10781	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO		4797	5030		5119	5016	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO		2,254	2,364		2,406	2,357	
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>							
RECIPIENTE Nro.							
PESO SUELO HUMEDO + TARA		560,17	516,04		604,38	519,15	
PESO SUELOS SECO + TARA		538,00	490,30		568,60	483,60	
PESO DE LA TARA							
PESO DE AGUA		22,17	25,74		35,78	35,55	
PESO DE SUELO SECO		538,00	490,30		568,60	483,60	
CONTENIDO DE AGUA		4,12	5,25		6,29	7,35	
PESO VOLUMETRICO SECO		2,17	2,25		2,26	2,20	
<b>MAX. DENSIDAD SECA:</b>	<b>2,26</b>	<b>gr/cc.</b>		<b>HUMEDAD OPTIMA:</b>	<b>6,0</b>	<b>%</b>	

**GRAFICO DEL PROCTOR**



**NOTA:**

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

OBRA : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 TRAMO : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
 MATERIAL : RECUPERADO  
 DEL KM : 77+000

TESISTA : E. CALDERON  
 ASESOR : W. GUTIERREZ  
 FECHA : 11/05/01  
 AL KM : 78+000

**ENSAYO DE C.B.R.**

NORMA ASSHTO - T - 193

Molde N°		5		5		5	
N° Capa		56		25		12	
Golpes por capa		56		25		12	
Condición de la muestra		Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado	Humedad óptima	Saturado
Peso del suelo húmedo + muestra	gr.	12674		12922		12575	
Peso del molde	gr.	7865		8288		8148	
Peso del suelo húmedo	gr.	4809		4634		4427	
Volúmen del suelo	cc.	2078		2074		2052	
Densidad húmeda	gr./cc	2,31		2,23		2,16	
% de humedad	%	5,88		5,52		6,60	
Densidad seca	gr./cc	2,19		2,12		2,02	
Tara	N°						
Peso del suelo húmedo + tara	gr.	423,5		559,8		751,0	
Peso del suelo seco + tara	gr.	400,0		530,5		704,5	
Peso del agua	gr.	23,5		29,3		46,5	
Peso de la tara	gr.						
Peso del suelo seco	gr.	400,0		530,5		704,5	
Humedad	%	5,88		5,52		6,60	
Promedio de humedad	%	5,9		5,5		6,6	

**EXPANSION**

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %	DIAL mm	EXPANSION %
11/05/01	3:15	0 h	0	0				
12/05/01	3:15	24 h	0	0				
13/05/01	3:15	48 h	0	0				
14/05/01	3:15	72 h	0	0				
15/05/01	3:15	96 h	0	0				

**NO EXPANSIVO**

**PENETRACION**

PENETRACION		TIEMPO	1			3			4		
mm	pulg.		CARGA 56 golpes			CARGA 25 golpes			CARGA 12 golpes		
			Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>	Dial	Kg	*Kg/cm <sup>2</sup>
0,000	0,000	0'00"	0	25		0	25		0	25	
0,635	0,025	0'30"	16	98		28	152		10	70	
1,270	0,050	1'00"	46	234		63	311		32	170	
1,905	0,075	1'30"	88	424		97	465		51	256	
2,540	0,100	2'00"	144	678	52,93	134	632	37,94	80	388	26,43
3,810	0,150	3'00"	257	1190		215	1000		132	623	
5,080	0,200	4'00"	362	1666	101,93	284	1312	71,71	169	791	45,31
6,350	0,250	5'00"	462	2119		344	1584		205	954	
7,620	0,300	6'00"	584	2672		406	1865		250	1158	
10,160	0,400	7'00"									

ANILLO AREA = 19,35 cm<sup>2</sup> Ec: Y = 4,53 X + 25,13184

**OBSERVACIONES**

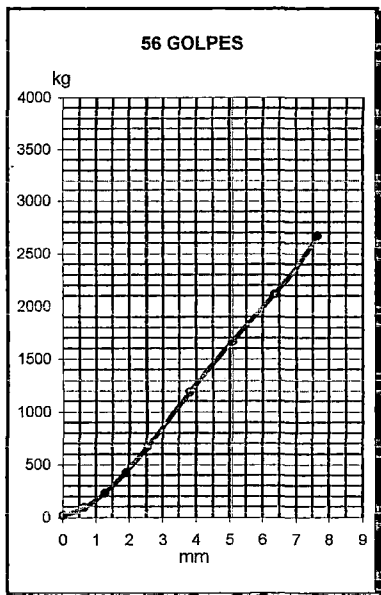
\* Valores corregidos

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

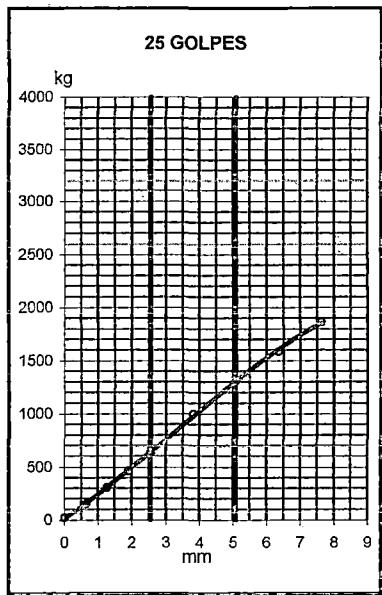
**OBRA** : REHABILITACION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 77+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11/05/01  
**AL KM** : 78+000

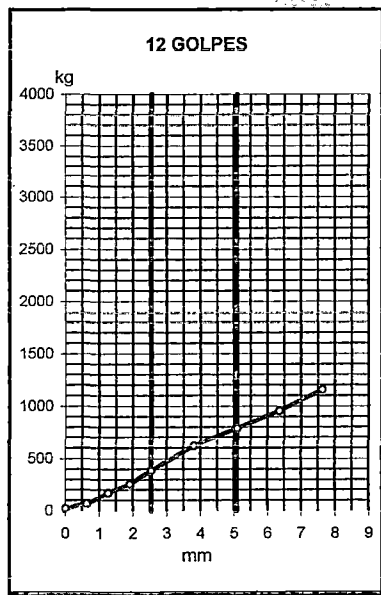
**GRAFICO DE PENETRACION DE CBR**



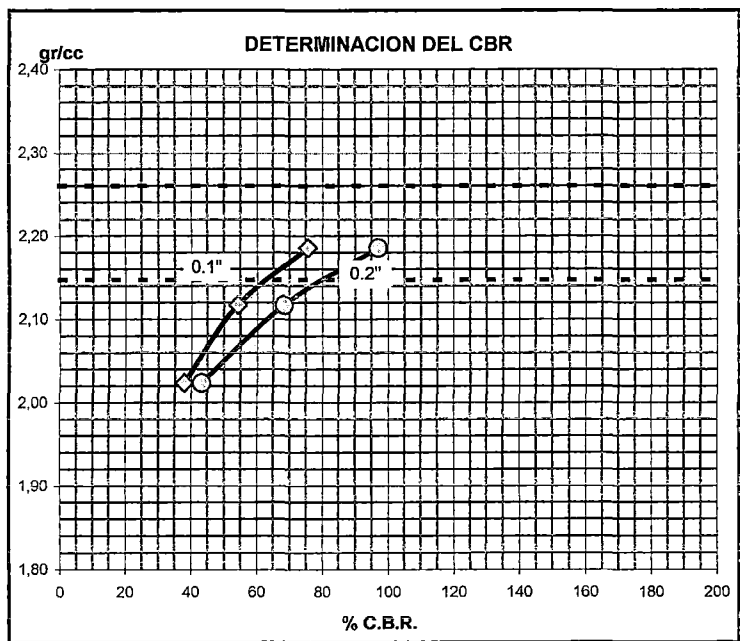
0.1" = 2.54 mm = 75,6  
 0.2" = 5.08 mm = 97,1  
 DENSIDAD SECA = 2,19



0.1" = 2.54 mm = 54,2  
 0.2" = 5.08 mm = 68,3  
 DENSIDAD SECA = 2,12



0.1" = 2.54 mm = 37,8  
 0.2" = 5.08 mm = 43,2  
 DENSIDAD SECA = 2,02



**DATOS DEL PROCTOR**

DENSIDAD SECA al 100%	=	2,26 gr./cc.
DENSIDAD SECA al 95%	=	2,15 gr./cc.
OPTIMO DE HUMEDAD	=	6,0 %

**VALORES DEL CBR AL 95%**

CBR AL 95%	0.1"	=	59 %
CBR AL 95%	0.2"	=	76 %

**VALORES DEL CBR AL 100%**

CBR AL 100%	0.1"	=	76 %
CBR AL 100%	0.2"	=	97 %

**LEYENDA**

○	—	○	=	0.2" pulg.
◇	—	◇	=	0.1" pulg.

**CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS AGREGADOS EMPLEADOS EN LA  
RECUPERACION DE CAMINOS: CARRETERA CUSCO (San Jeronimo) - COMBAPATA**

**OBRA** : REHAB. CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
**TRAMO** : CUSCO ( SAN JERONIMO ) - COMBAPATA  
**MATERIAL** : RECUPERADO  
**DEL KM** : 77+000

**TESISTA** : E. CALDERON  
**ASESOR** : W. GUTIERREZ  
**FECHA** : 11/05/01  
**AL KM** : 78+000

**EQUIVALENTE DE ARENA - AASHTO T - 176:**

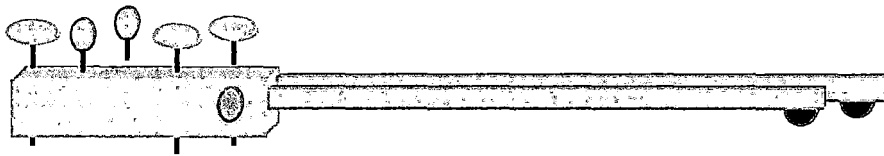
DESCRIPCION	1	2	3
TAMAÑO MAXIMO (mm)	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76	PASA LA MALLA 4.76
MUESTRA N°	1	2	
HORA DE ENTRADA	20:50	20:53	
HORA DE SALIDA	21:00	21:03	
HORA DE ENTRADA	21:02	21:05	
HORA DE SALIDA	21:22	21:25	
ALTURA MÁXIMA DE MAT. FINO (cm)	9,60	7,40	
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm)	3,50	3,40	
EQUIVALENTE DE ARENA	36%	46%	
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO	41%		
EQUIVALENTE DE ARENA MINIMO	40%		
CUMPLE	SI		

OBSERVACIONES:

# ANEXO

5





## **A5 LA VIGA BENKELMAN**

### **A5.1 MECANISMO DE MEDIDA DE LA DEFLEXIÓN EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN**

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño Gráfico N° A5.1, la viga consta esencialmente de 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 .
- 2) Dos brazos móviles acoplados al cuerpo fijo mediante una articulación de giro a 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 (punta “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, como se verá más adelante.

El extremo “D” o “punta de la viga” es colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado (Gráfico N° A5.1 y Fotografía N° A5.1). 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 “O” 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.

Así, con las dos lecturas obtenidas. es posible determinar cuanto 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

## A5.2 EQUIPO UTILIZADO

1.- Una viga Benkelman de doble brazo marca DIRIMPEX, modelo PB-0032, serie 99110814 de fabricación Colombiana con relación de brazos de 1:4 con sus correspondientes diales registradores (al 0.01 mm y recorrido 12 mm)

2.- Un camión para ensayo con las siguientes características.

El eje trasero pesará en la balanza 8.175 kilogramos, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10.00" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm<sup>2</sup> (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.

3.- Un medidor de presión de inflado.

4.- Un termómetro de 0 a 100 °C con divisiones cada grado.

5.- Un barreno para ejecutar orificios en el pavimento de 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro.

6 Un cronometro.

7 Una Wincha de acero de 2 m y otra de 25 m.

## A5.3 PROCEDIMIENTO EN CAMPO

1 El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde.

Como el ancho del carril es de 3,30 m ,la distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento es de 0,75 m según Normas.

2 La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga.

Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal trazada, de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.

3 Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.

4 Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.

5 Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran las esferas de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándolos suavemente con un lápiz. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición 0 (cero).

6 Se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 4 m aproximadamente; se pone en marcha el cronómetro cuando el camión se detiene a la distancia indicada y se leen los diales cada 60 segundos, golpeándolos suavemente con un lápiz. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L0 y L25)

7 Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, en el cual se coloca el termómetro.

El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites:

Límite inferior: 5 °C

Límite superior: 35 °C

8 No obstante el límite superior indicado, el ensayo no se deberá efectuar a temperaturas inferiores si ellas producen deformación plástica entre ambas llantas de la rueda dual. Para detectar si dicha deformación se produce, se deberá proceder de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas L0 y L25, se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial. Si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser debida, también, al hecho de que el radio de acción de la carga del camión afecte las patas de la viga.

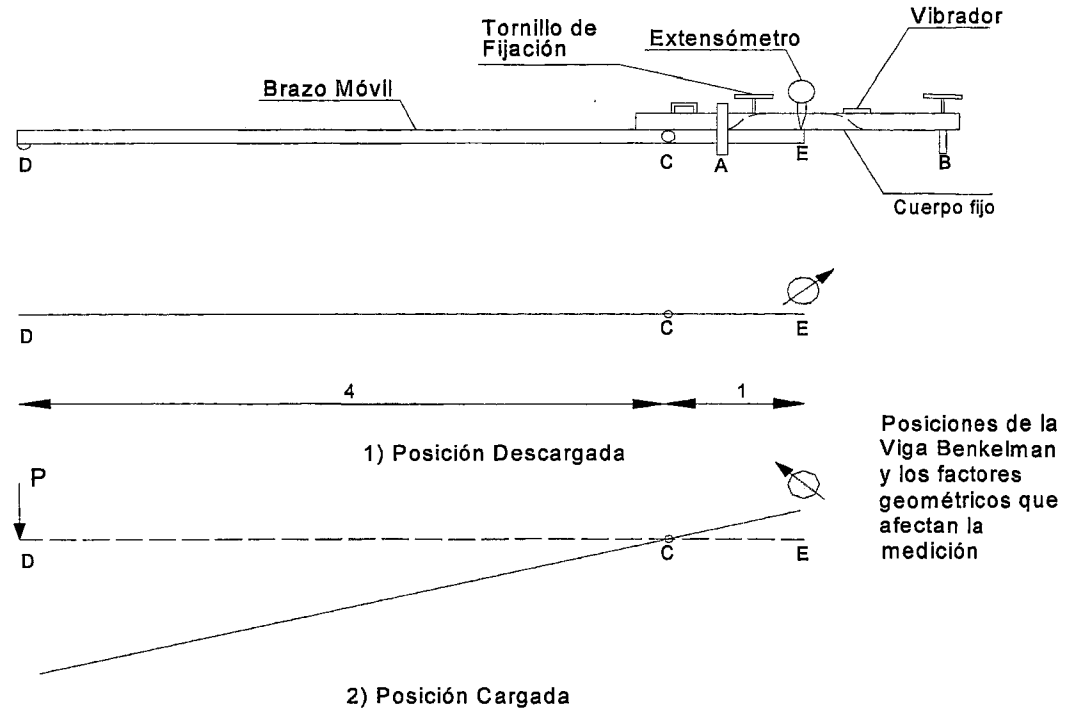
9 Tampoco deberá efectuarse el ensayo si, aún cuando no se detectara deformación plástica mediante el procedimiento indicado, se constatará que el radio de acción de la carga del camión afecta las patas de la regla, para lo cual se procederá de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas de los diales, se hace retroceder lentamente el camión observando el dial del primer brazo. Cuando se observe que el dial comienza a desplazarse acusando la deformación producida por la carga, se marca sobre el pavimento la posición de la guala vertical mencionada en el y se detiene el retroceso del camión.

Se mide la distancia entre la punta de prueba del primer brazo y la marca practicada sobre el pavimento, de acuerdo con lo indicado antes. Sea 'd' esa distancia, si d es mayor de 2,40 m, la acción de la carga del camión afecta las patas de la viga.

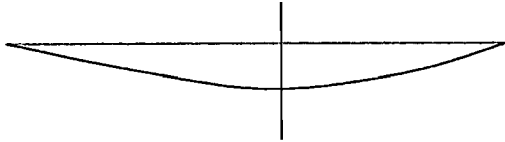
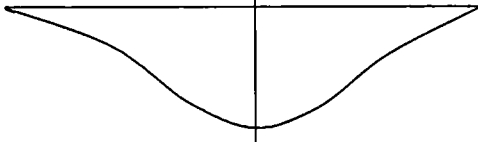
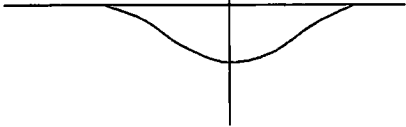
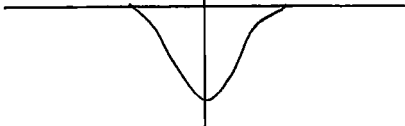
2.10 Procediéndose si no existe inconveniente a medir las deflexiones del pavimento a nivel de Sub-base y Base y Carpeta a 25, 30, 40, 50, 60, 70, 100, 500, cm. para las lecturas del primer dial y a 25 cm para la lectura del segundo dial. Así como también se midió la temperatura del ambiente y el ahuellamiento de los puntos de medición.

**ESQUEMA DE LA VIGA BENKELMAN**



Fuente (15)

**SIGNIFICADO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CURVAS**

DØ	LØ	FORMA	CURVA MEDIDA	PAVIMENTO EVALUADO
		TIPO I		
Bajo	Alto		Curva Extensa Poco Profunda	Buen Pavimento Buena Subrasante
		TIPO II		
Alto	Alto		Curva Extensa Profunda	Buen Pavimento Mala Subrasante
		TIPO III		
Bajo	Bajo		Curva Corta Poco Profunda	Mal Pavimento Buena Subrasante
		TIPO IV		
Alto	Bajo		Curva Corta Profunda	Mal Pavimento Mala Subrasante

Fuente (16)

FOTOGRAFIA N° A6.1



En el ensayo se tomaron lecturas de deflexiones en un brazo bajo la carga a 25, 30, 40, 50, 60, 70, 100 cm y una lectura final cuando el camión se ha alejado del punto de ensayo y la lectura del primer dial se estabiliza. Asimismo, se tomó la lectura del segundo dial del segundo brazo.

FOTOGRAFIA N° A6.2



En el ensayo de deflectometría a nivel de base y sub base se detectaron muy pocas lecturas altas de deflexión coincidentes con colchones ocasionados por la humedad en estos tramos se procedió a la reconfirmación de las capas

FOTOGRAFIA N° A6.3



En los ensayos se utilizó la Viga Benkelman Doble cada 50 m en trespelillo a lo largo de toda la carretera rehabilitada, además de realizarse la medición de los ahuellamientos mediante el reglado manual.



**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO  
REGISTRO DE CAMPO**

Ensayos con Viga Benkelman SUB-BASE GRANULAR

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
CARRIL : Derecho

Carga Eje :  
Presión :

4100 Kg  
80 psi

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL									LECTURA 2° DIAL	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	L-25* 0.01 mm		Amb °C	Base °C	
72+000	0	3	4	5	6	7	7.5	8	8	1.5	3:10	16	16	30
72+100	0	4	5	7	9	11	11.5	12	13	1	3:20	15	15	30
72+200	0.0	3.0	5.0	8.0	9.0	12.0	13.0	15.0	17.0	2.0	2:30	18	18	30
72+300	0.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0	6.0	7.0	2.5	2:40	17	17	30
72+400	0.0	7.0	9.0	12.0	14.0	16.0	17.0	18.0	22.0	9.0	2:50	21	21	30
72+500	0.0	9.0	11.0	13.0	16.0	17.0	17.5	18.5	20.5	6.0	3:00	17	17	30
72+600	0.0	4.0	5.0	7.0	12.0	15.0	17.0	20.0	23.0	19.0	3:10	15	15	30
72+700	0.0	4.0	7.0	9.0	10.0	13.0	14.0	17.0	19.5	1.0	3:20	15	15	30
72+800	0.0	8.0	11.0	15.0	17.0	19.0	20.0	22.0	25.0	11.0	3:30	18	18	30
72+900	0.0	7.0	8.0	11.0	14.0	15.0	17.0	18.0	20.0	5.0	3:35	16	16	30
73+000	0	2	5	7	10	12	12.5	13	14	2	12:07	26.5	25	20
73+100	0	4	5	8	11	13	14	15	16	7	12:45	19.1	17	20
73+200	0	5	7	11	12	13	14	15	17	3	12:50	19	16	20
73+300	0	4	5	8	9	11	12	13	16	9	12:32	27.2	27	20
73+400	0.0	5.0	11.0	12.0	15.0	16.0	17.0	18.0	24.0	9.0	2:00	27	27	30
73+500	0.0	6.0	7.0	9.0	13.0	14.0	15.0	17.0	19.0	7.0	2:10	24	24	30
73+600	0.0	6.0	9.0	12.0	16.0	18.0	21.0	23.0	25.0	16.0	2:20	25	25	30
73+700	0.0	5.0	7.0	10.0	14.0	16.0	17.0	20.0	23.0	16.0	2:30	24	24	30
73+800	0.0	3.0	6.0	8.0	9.0	12.0	14.0	14.5	17.0	6.0	2:40	25	25	30
73+900	0	2	4	6	8	10	11	12	12.5	13.5	12:45	28.7	28	20
74+000	0	1	2	4	5	6	8	10	15	3.5	10:20	18.2	18	20
74+100	0	3	5	8	11	12	14	16	17	5	12:55	24	24	20
74+200	0	2	3	4	6	7	8	10	11.5	5	11:53	23	23	20
74+300	0	1	2	3	7	8	12	13	15	3	11:59	21	21	20
74+400	0	5	8	14	17	20	22	24	25	11.5	12:08	18	18	20
74+500	0	3	7	11	13	15	16	18	20	7	12:15	17	17	20
74+600	0	5	9	14	18	19	20	21	22	4	12:22	21	21	20
74+700	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	5	7	1	12:29	17	17	20
74+800	0	7	8	9	12	13	13.5	14	14.5	5	12:36	15	15	20

CUADRO N° A5.1-a

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL									LECTURA 2° DIAL	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500			L-25* 0.01 mm	Amb °C	
	74+900	0	4	6	10	12	14	16	17	19	7	11:02	15	15
75+000	0	5	7	9	11	13	15	16	17	5	11:19	18	18	20
75+100	0	0.5	0.5	1	1.5	2	3	4	5	2	11:30	16	16	20
75+200	0	1.5	2	3	4	4	4.5	5.5	7	3	9:30	24	24	20
75+300	0	5	7	9	11	13	14	16	18	1	2:45	23	23	20
75+400	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5.5	1	3:10	21	21	20
75+500	0	2	3	5	7.5	9.5	11	14	17	3	8:41	18	18	20
75+600	0	2	4	7.5	11.5	12	13.5	16	18	2	8:53	17	17	20
75+700	0	4	7	10	12	14	15	16	17	2	8:40	21	21	20
75+800	0	4	7	9	10	11	12	12.5	13	4	8:45	17	17	20
75+900	0	3	5.5	7	11	14	16.5	18.5	19.5	8	8:50	15	15	20
76+000	0	4	6	9	12	14	15	16	17	5	8:55	15	15	20
76+100	0	3	4	6	8	9	10	12	13	1	8:59	18	18	20
76+200	0	7	10	14	16	17	17	18	20	2	9:08	16	16	20
76+300	0	4	7	9	12	14	15	16.5	17	5.5	9:55	21	21	20
76+400	0	1	2	4	6	7	9	11	12	1	9:05	17	17	20
76+500	0	4.5	7	9	12	14	15.5	17	19.5	1	9:38	15	15	20
76+600	0	3	5	8	10	11	12	14	16	3	9:42	15	15	20
76+700	0	3	7	8	10	11	12	14	16	1	9:48	18	18	20
76+800	0	1	3	6	8	11	12	13	15	2	9:52	16	16	20
76+900	0	2	3	4	7	9	12	13	15	10	11:00	25	25	20
77+000	0	2	3	5	8	10	11	13	15	3	11:05	25	25	20
77+100	0	3	4	5	6	7	8	9	10	1	11:10	25	25	20
77+200	0	3	5	8	11	12	14	18	19.5	11	11:45	24	24	20
77+300	0	1	3	5	8	10	12	14	15	7.5	12:00	23	23	20
77+400	0	2	4	7	11	13	17	18	20.5	11	12:05	21	21	20
77+500	0	1	1.52	2	3	4	5	7	12.5	2	2:30	18	18	20
77+600	0	1	1.5	2.5	3.5	4	5	8	11	4	2:40	17	17	20
77+700	0	2	3	5	8	11	13	15	17.5	9.5	2:50	21	21	20
77+800	0	2	4	11	17	22	25	26	28.5	11	3:00	17	17	20
77+900	0	4	8	12	15	16	17	19	22	11	3:10	15	15	20

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO  
REGISTRO DE CAMPO

Ensayos con Viga Benkelman SUB-BASE GRANULAR

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
CARRIL : Izquierdo

Carga Eje : 4100 Kg  
Presión : 80 psi

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL										LECTURA 2° DIAL L-25* 0.01 mm.	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	Amb °C			Base °C		
72+050	0.0	4.0	6.0	9.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	5.0	2:50	19	19	30	
72+150	0	5	7	11	16	18	19	22	26.5	10	12:29	17	17	20	
72+250	0	4	6	9	12	14	16	17	21	7	12:22	21	21	20	
72+350	0	3	4	5	7	9	11	18	27	14	12:15	17	17	20	
72+450	0	6	9	14	17	21	23	25	28	11	12:08	18	18	20	
72+550	0	4	6	9	13	16	17	21	24	11	11:59	21	21	20	
72+650	0	5	7	10	13	16	18	21	24	9	11:53	23	23	20	
72+750	0	7	10	14	18	22	23	25	30	8	12:55	24	24	20	
72+850	0	3	4	7	9	11	12	13	16.5	4	10:20	18.2	18	20	
72+950	0	2	2.5	3	3.5	4	5	5.5	6.5	3	12:45	28.7	28	20	
73+050	0.0	9.0	10.0	14.0	17.0	21.0	22.0	23.0	26.0	10.0	11:20	26	26	30	
73+150	0	5	7	12	13	14	17	20	23	9	12:32	27.2	27	20	
73+250	0	3	4	7	11	14	15	16	21	6	12:50	19	16	20	
73+350	0	1	2	3	5	5	6	7	8	7	12:45	19.1	17	20	
73+450	0	4	5	7	9	10	12	13	14	9	12:07	26.5	25	20	
73+550	0.0	5.0	7.0	12.0	15.0	21.0	25.0	32.0	35.0	16.0	3:10	20	20	30	
73+650	0	1	1.5	2	4	7	8	9	14	5	11:59	26	25	20	
73+750	0.0	2.0	5.0	8.0	12.0	13.0	15.0	17.0	19.0	8.0	3:00	21	21	30	
73+850	0.0	4.0	5.0	7.0	12.0	15.0	17.0	20.0	23.0	15.0	2:55	22	22	30	
73+950	0	2	3	4	6	8	10	13	16	11	11:50	25.8	25	20	
74+050	0	2	4	6	8	11	13	14	16	9	11:39	26.1	25	20	
74+150	0	1	2	3	4	5	6	7	9	1	11:34	26	26	20	
74+250	0	5	9	12	13	15	17	18	20	6.5	11:27	25.6	28	20	
74+350	0	3	7	12	13	14	14	15	16	4.5	11:15	24.2	25	20	
74+450	0	1	2	3.5	5	6	6.5	8	20	1	9:09	22	22	20	
74+550	0	7	10	13	16	18	19	21	23	10	9:03	22	22	20	

CUADRO N° A5.2-a

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL										LECTURA	TEMPERATURAS			Espesor Base G. (cm)
	L-0	L-25	L-30	L-40	L-50	L-60	L-70	L-100	L-500	2° DIAL	Hora	Amb °C	Base °C		
	0.01 mm R=0	0.01 mm R=25	0.01 mm R=30	0.01 mm R=40	0.01 mm R=50	0.01 mm R=70	0.01 mm R=100	0.01 mm R=500	L-25* 0.01 mm						
74+650	0	5	7	10	13	13.5	14	15	17	6	8:57	21	21	20	
74+750	0	3	4	6	7	7.5	8	9	11	3	8:49	21	21	20	
74+850	0	6	7	11	14	16	17	19	21	2	8:45	18	18	20	
74+950	0	6	9	13	17	19	20	23	24.5	6	8:40	19.1	17	20	
75+050	0	0.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	1	8:35	19	16	20	
75+150	0	2	4	7	9	10.5	12	12.5	15	8	8:30	19.1	17	20	
75+250	0	2	4	7	9	10	11	12	13	5	8:25	26.5	25	20	
75+350	0	2	4	7	11	13	15	16	19	5	8:20	26	25	20	
75+450	0	0.5	1	3	5	6.5	7	7.5	10	5	8:15	25.8	25	20	
75+550	0	3	6	9	12.5	13.5	15	17	19	6	8:10	26.1	25	20	
75+650	0	1.5	2.5	4	7	9	12	13	16.5	5	12:47	22	22	20	
75+750	0	1	2	3	4	4	4	5	5.5	2	10:10	21	21	20	
75+850	0	2	3	5	7	7	8	9	10	5.5	11:58	21	21	20	
75+950	0	4	7	9	13	16	17	19	21	8	10:14	15	15	20	
76+050	0	2	3	5	7	9	11	11.5	12	3	9:58	15	15	20	
76+150	0	7	8	10	11	13	14	15	16	6	9:41	16	16	20	
76+250	0	9	12	15	16	17	18	19	20	10	9:37	16	16	20	
76+350	0	7	8	11	13	13.5	14	15	17	4	9:25	17	17	20	
76+450	0	5	7	11	13	16	17	18	19	4	9:20	18	18	20	
76+550	0	4	5	7.5	8.5	9	10.5	11	12	1	9:15	18	18	20	
76+650	0	5	7	9	10	11	12	13	14	1	9:10	20	20	20	
76+750	0	4	6	8	10	12	13	14	16	6	9:05	19	19	20	
76+850	0	5	8	12	15	17	19	20	22	7	9:50	28	28	20	
76+950	0	2	5	8	10	14	15	17	18.5	10	9:40	26	26	20	
77+050	0	0.5	1.5	5	7	11	13	14.5	15.5	3	9:30	24	24	20	
77+150	0	1	2	3	4	5	6	7	8	1	9:15	23	23	20	
77+250	0	2	4	8	12	14	15	17	18	3	12:00	26	26	20	
77+350	0	2	5	8	12	15	17	20	23	10	11:55	24	24	20	
77+450	0	9	13	19	24	27	29	32	35	12	11:50	23	23	20	
77+550	0	1	2	6	8	10	12	14	18	3	11:45	25	25	20	
77+650	0	1	2	2.5	3	3.5	4	4	4.5	3	11:40	25	25	20	
77+750	0	1	4	6	9	11	12	14	16.5	3	11:35	24	24	20	
77+850	0	3	4	5	6	7	8	14	14.5	8.5	11:30	24	24	20	
77+950	0	1	3	7	8	10	11	12	14	7	11:25	25	25	20	

CUADRO N°A5.3

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Deflexiones Normalizadas SUB BASE

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
 CARRIL : Ambos (Tresbolillo)

Carga Eje : 4100 Kg  
 Presión : 80 psi

Factor Conversión : 4  
 Factor Estacional : 1

Progresiva (Km)	Temperatura °C	Factor corrección	DEFLEXIONES NORMALIZADAS ( 0.01 mm)											Espesor Asfalto (cm)
			DK0 R=0	0.5 * DK0 R	DK 25 25	DK 30 30	DK 40 40	DK 50 50	DK 60 60	DK 70 70	DK 100 100	DK 500 500	2° DIAL DK 25	
72+000	16.00	1.0000	32.0	16.0	20.0	16.0	12.0	8.0	4.0	2.0	0.0	0.0	6.0	30.00
72+050	19.00	1.0000	64.0	32.0	48.0	40.0	28.0	16.0	12.0	8.0	4.0	0.0	20.0	30.00
72+100	15.00	1.0000	52.0	26.0	36.0	32.0	24.0	16.0	8.0	6.0	4.0	0.0	4.0	30.00
72+150	17.00	1.0000	106.0	53.0	86.0	78.0	62.0	42.0	34.0	30.0	18.0	0.0	40.0	20.00
72+200	18.00	1.0000	68.0	34.0	56.0	48.0	36.0	32.0	20.0	16.0	8.0	0.0	8.0	30.00
72+250	21.00	1.0000	84.0	42.0	68.0	60.0	48.0	36.0	28.0	20.0	16.0	0.0	28.0	20.00
72+300	17.00	1.0000	28.0	14.0	24.0	22.0	20.0	18.0	16.0	8.0	4.0	0.0	10.0	30.00
72+350	17.00	1.0000	108.0	54.0	96.0	92.0	88.0	80.0	72.0	64.0	36.0	0.0	56.0	20.00
72+400	21.00	1.0000	88.0	44.0	60.0	52.0	40.0	32.0	24.0	20.0	16.0	0.0	36.0	30.00
72+450	18.00	1.0000	112.0	56.0	88.0	76.0	56.0	44.0	28.0	20.0	12.0	0.0	44.0	20.00
72+500	17.00	1.0000	82.0	41.0	46.0	38.0	30.0	18.0	14.0	12.0	8.0	0.0	24.0	30.00
72+550	21.00	1.0000	96.0	48.0	80.0	72.0	60.0	44.0	32.0	28.0	12.0	0.0	44.0	20.00
72+600	15.00	1.0000	92.0	46.0	76.0	72.0	64.0	44.0	32.0	24.0	12.0	0.0	76.0	30.00
72+650	23.00	1.0000	96.0	48.0	76.0	68.0	56.0	44.0	32.0	24.0	12.0	0.0	36.0	20.00
72+700	15.00	1.0000	78.0	39.0	62.0	50.0	42.0	38.0	26.0	22.0	10.0	0.0	4.0	30.00
72+750	24.00	1.0000	120.0	60.0	92.0	80.0	64.0	48.0	32.0	28.0	20.0	0.0	32.0	20.00
72+800	18.00	1.0000	100.0	50.0	68.0	56.0	40.0	32.0	24.0	20.0	12.0	0.0	44.0	30.00
72+850	18.00	1.0000	66.0	33.0	54.0	50.0	38.0	30.0	22.0	18.0	14.0	0.0	16.0	20.00
72+900	16.00	1.0000	80.0	40.0	52.0	48.0	36.0	24.0	20.0	12.0	8.0	0.0	20.0	30.00
72+950	28.00	1.0000	26.0	13.0	18.0	16.0	14.0	12.0	10.0	6.0	4.0	0.0	12.0	20.00
73+000	25.00	1.0000	56.0	28.0	48.0	36.0	28.0	16.0	8.0	6.0	4.0	0.0	8.0	20.00
73+050	26.00	1.0000	104.0	52.0	68.0	64.0	48.0	36.0	20.0	16.0	12.0	0.0	40.0	30.00
73+100	17.00	1.0000	64.0	32.0	48.0	44.0	32.0	20.0	12.0	8.0	4.0	0.0	28.0	20.00
73+150	27.00	1.0000	92.0	46.0	72.0	64.0	44.0	40.0	36.0	24.0	12.0	0.0	36.0	20.00
73+200	16.00	1.0000	68.0	34.0	48.0	40.0	24.0	20.0	16.0	12.0	8.0	0.0	12.0	20.00
73+250	16.00	1.0000	84.0	42.0	72.0	68.0	56.0	40.0	28.0	24.0	20.0	0.0	24.0	20.00
73+300	27.00	1.0000	64.0	32.0	48.0	44.0	32.0	28.0	20.0	16.0	12.0	0.0	36.0	20.00
73+350	17.00	1.0000	32.0	16.0	28.0	24.0	20.0	12.0	12.0	8.0	4.0	0.0	28.0	20.00

CUADRO N° A5.3-a

Progresiva (Km)	Temperatura °C	Factor corrección.	DEFLEXIONES NORMALIZADAS ( 0.01 mm)											Espesor Asfalto (cm)
			DK0 R=0	0.5 * DK0 R	DK 25 25	DK 30 30	DK 40 40	DK 50 50	DK 60 60	DK 70 70	DK 100 100	DK 500 500	2° DIAL DK 25	
73+400	27.00	1.0000	96.0	48.0	76.0	52.0	48.0	36.0	32.0	28.0	24.0	0.0	36.0	30.00
73+450	25.00	1.0000	56.0	28.0	40.0	36.0	28.0	20.0	16.0	8.0	4.0	0.0	36.0	20.00
73+500	24.00	1.0000	76.0	38.0	52.0	48.0	40.0	24.0	20.0	16.0	8.0	0.0	28.0	30.00
73+550	20.00	1.0000	140.0	70.0	120.0	112.0	92.0	80.0	56.0	40.0	12.0	0.0	64.0	30.00
73+600	25.00	1.0000	100.0	50.0	76.0	64.0	52.0	36.0	28.0	16.0	8.0	0.0	64.0	30.00
73+650	25.00	1.0000	56.0	28.0	52.0	50.0	48.0	40.0	28.0	24.0	20.0	0.0	20.0	20.00
73+700	24.00	1.0000	92.0	46.0	72.0	64.0	52.0	36.0	28.0	24.0	12.0	0.0	64.0	30.00
73+750	21.00	1.0000	76.0	38.0	68.0	56.0	44.0	28.0	24.0	16.0	8.0	0.0	32.0	30.00
73+800	25.00	1.0000	68.0	34.0	56.0	44.0	36.0	32.0	20.0	12.0	10.0	0.0	24.0	30.00
73+850	22.00	1.0000	92.0	46.0	76.0	72.0	64.0	44.0	32.0	24.0	12.0	0.0	60.0	30.00
73+900	28.00	1.0000	50.0	25.0	42.0	34.0	26.0	18.0	10.0	6.0	2.0	0.0	54.0	20.00
73+950	25.00	1.0000	64.0	32.0	56.0	52.0	48.0	40.0	32.0	24.0	12.0	0.0	44.0	20.00
74+000	18.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	52.0	44.0	40.0	36.0	28.0	20.0	0.0	14.0	20.00
74+050	25.00	1.0000	64.0	32.0	56.0	48.0	40.0	32.0	20.0	12.0	8.0	0.0	36.0	20.00
74+100	24.00	1.0000	68.0	34.0	56.0	48.0	36.0	24.0	20.0	12.0	4.0	0.0	20.0	20.00
74+150	26.00	1.0000	36.0	18.0	32.0	28.0	24.0	20.0	16.0	12.0	8.0	0.0	4.0	20.00
74+200	23.00	1.0000	46.0	23.0	38.0	34.0	30.0	22.0	18.0	14.0	6.0	0.0	20.0	20.00
74+250	28.00	1.0000	80.0	40.0	60.0	44.0	32.0	28.0	20.0	12.0	8.0	0.0	26.0	20.00
74+300	21.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	52.0	48.0	32.0	28.0	12.0	8.0	0.0	12.0	20.00
74+350	25.00	1.0000	64.0	32.0	52.0	36.0	16.0	12.0	8.0	8.0	4.0	0.0	18.0	20.00
74+400	18.00	1.0000	100.0	50.0	80.0	68.0	44.0	32.0	20.0	12.0	4.0	0.0	46.0	20.00
74+450	22.00	1.0000	80.0	40.0	76.0	72.0	66.0	60.0	56.0	54.0	48.0	0.0	4.0	20.00
74+500	17.00	1.0000	80.0	40.0	68.0	52.0	36.0	28.0	20.0	16.0	8.0	0.0	28.0	20.00
74+550	22.00	1.0000	92.0	46.0	64.0	52.0	40.0	28.0	20.0	16.0	8.0	0.0	40.0	20.00
74+600	21.00	1.0000	88.0	44.0	68.0	52.0	32.0	16.0	12.0	8.0	4.0	0.0	16.0	20.00
74+650	21.00	1.0000	68.0	34.0	48.0	40.0	28.0	16.0	14.0	12.0	8.0	0.0	24.0	20.00
74+700	17.00	1.0000	28.0	14.0	24.0	22.0	20.0	18.0	16.0	14.0	8.0	0.0	4.0	20.00
74+750	21.00	1.0000	44.0	22.0	32.0	28.0	20.0	16.0	14.0	12.0	8.0	0.0	12.0	20.00
74+800	15.00	1.0000	58.0	29.0	30.0	26.0	22.0	10.0	6.0	4.0	2.0	0.0	20.0	20.00
74+850	18.00	1.0000	84.0	42.0	60.0	56.0	40.0	28.0	20.0	16.0	8.0	0.0	8.0	20.00
74+900	15.00	1.0000	76.0	38.0	60.0	52.0	36.0	28.0	20.0	12.0	8.0	0.0	28.0	20.00
74+950	17.00	1.0000	98.0	49.0	74.0	62.0	46.0	30.0	22.0	18.0	6.0	0.0	24.0	20.00
75+000	18.00	1.0000	68.0	34.0	48.0	40.0	32.0	24.0	16.0	8.0	4.0	0.0	20.0	20.00
75+050	16.00	1.0000	14.0	7.0	12.0	12.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0	4.0	20.00
75+100	16.00	1.0000	20.0	10.0	18.0	18.0	16.0	14.0	12.0	8.0	4.0	0.0	8.0	20.00
75+150	17.00	1.0000	60.0	30.0	52.0	44.0	32.0	24.0	18.0	12.0	10.0	0.0	32.0	20.00
75+200	24.00	1.0000	28.0	14.0	22.0	20.0	16.0	12.0	12.0	10.0	6.0	0.0	12.0	20.00
75+250	25.00	1.0000	52.0	26.0	44.0	36.0	24.0	16.0	12.0	8.0	4.0	0.0	20.0	20.00

CUADRO N° A5.3-b

Progresiva (Km)	Temperatura °C	Factor corrección	DEFLEXIONES NORMALIZADAS ( 0.01 mm)											Espesor Asfalto (cm)
			DK0 R=0	0.5 * DK0 R	DK 25 25	DK 30 30	DK 40 40	DK 50 50	DK 60 60	DK 70 70	DK 100 100	DK 500 500	2° DIAL DK 25	
75+300	23.00	1.0000	72.0	36.0	52.0	44.0	36.0	28.0	20.0	16.0	8.0	0.0	4.0	20.00
75+350	25.00	1.0000	76.0	38.0	68.0	60.0	48.0	32.0	24.0	16.0	12.0	0.0	20.0	20.00
75+400	21.00	1.0000	22.0	11.0	18.0	16.0	14.0	12.0	10.0	8.0	6.0	0.0	4.0	20.00
75+450	25.00	1.0000	40.0	20.0	38.0	36.0	28.0	20.0	14.0	12.0	10.0	0.0	20.0	20.00
75+500	18.00	1.0000	68.0	34.0	60.0	56.0	48.0	38.0	30.0	24.0	12.0	0.0	12.0	20.00
75+550	25.00	1.0000	76.0	38.0	64.0	52.0	40.0	26.0	22.0	16.0	8.0	0.0	24.0	20.00
75+600	17.00	1.0000	72.0	36.0	64.0	56.0	42.0	26.0	24.0	18.0	8.0	0.0	8.0	20.00
75+650	22.00	1.0000	66.0	33.0	60.0	56.0	50.0	38.0	30.0	18.0	14.0	0.0	20.0	20.00
75+700	21.00	1.0000	68.0	34.0	52.0	40.0	28.0	20.0	12.0	8.0	4.0	0.0	8.0	20.00
75+750	21.00	1.0000	22.0	11.0	18.0	14.0	10.0	6.0	6.0	6.0	2.0	0.0	8.0	20.00
75+800	17.00	1.0000	52.0	26.0	36.0	24.0	16.0	12.0	8.0	4.0	2.0	0.0	16.0	20.00
75+850	21.00	1.0000	40.0	20.0	32.0	28.0	20.0	12.0	12.0	8.0	4.0	0.0	22.0	20.00
75+900	15.00	1.0000	78.0	39.0	66.0	56.0	50.0	34.0	22.0	12.0	4.0	0.0	32.0	20.00
75+950	15.00	1.0000	84.0	42.0	68.0	56.0	48.0	32.0	20.0	16.0	8.0	0.0	32.0	20.00
76+000	15.00	1.0000	68.0	34.0	52.0	44.0	32.0	20.0	12.0	8.0	4.0	0.0	20.0	20.00
76+050	15.00	1.0000	48.0	24.0	40.0	36.0	28.0	20.0	12.0	4.0	2.0	0.0	12.0	20.00
76+100	18.00	1.0000	52.0	26.0	40.0	36.0	28.0	20.0	16.0	12.0	4.0	0.0	4.0	20.00
76+150	16.00	1.0000	64.0	32.0	36.0	32.0	24.0	20.0	12.0	8.0	4.0	0.0	24.0	20.00
76+200	16.00	1.0000	80.0	40.0	52.0	40.0	24.0	16.0	12.0	12.0	8.0	0.0	8.0	20.00
76+250	16.00	1.0000	80.0	40.0	44.0	32.0	20.0	16.0	12.0	8.0	4.0	0.0	40.0	20.00
76+300	21.00	1.0000	68.0	34.0	52.0	40.0	32.0	20.0	12.0	8.0	2.0	0.0	22.0	20.00
76+350	17.00	1.0000	68.0	34.0	40.0	36.0	24.0	16.0	14.0	12.0	8.0	0.0	16.0	20.00
76+400	17.00	1.0000	48.0	24.0	44.0	40.0	32.0	24.0	20.0	12.0	4.0	0.0	4.0	20.00
76+450	18.00	1.0000	76.0	38.0	56.0	48.0	32.0	24.0	12.0	8.0	4.0	0.0	16.0	20.00
76+500	15.00	1.0000	78.0	39.0	60.0	50.0	42.0	30.0	22.0	16.0	10.0	0.0	4.0	20.00
76+550	18.00	1.0000	48.0	24.0	32.0	28.0	18.0	14.0	12.0	6.0	4.0	0.0	4.0	20.00
76+600	15.00	1.0000	64.0	32.0	52.0	44.0	32.0	24.0	20.0	16.0	8.0	0.0	12.0	20.00
76+650	20.00	1.0000	56.0	28.0	36.0	28.0	20.0	16.0	12.0	8.0	4.0	0.0	4.0	20.00
76+700	18.00	1.0000	64.0	32.0	52.0	36.0	32.0	24.0	20.0	16.0	8.0	0.0	4.0	20.00
76+750	19.00	1.0000	64.0	32.0	48.0	40.0	32.0	24.0	16.0	12.0	8.0	0.0	24.0	20.00
76+800	16.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	48.0	36.0	28.0	16.0	12.0	8.0	0.0	8.0	20.00
76+850	28.00	1.0000	88.0	44.0	68.0	56.0	40.0	28.0	20.0	12.0	8.0	0.0	28.0	20.00
76+900	25.00	1.0000	60.0	30.0	52.0	48.0	44.0	32.0	24.0	12.0	8.0	0.0	40.0	20.00
76+950	26.00	1.0000	74.0	37.0	66.0	54.0	42.0	34.0	18.0	14.0	6.0	0.0	40.0	20.00
77+000	25.00	1.0000	60.0	30.0	52.0	48.0	40.0	28.0	20.0	16.0	8.0	0.0	12.0	20.00
77+050	24.00	1.0000	62.0	31.0	60.0	56.0	42.0	34.0	18.0	10.0	4.0	0.0	12.0	20.00
77+100	25.00	1.0000	40.0	20.0	28.0	24.0	20.0	16.0	12.0	8.0	4.0	0.0	4.0	20.00
77+150	23.00	1.0000	32.0	16.0	28.0	24.0	20.0	16.0	12.0	8.0	4.0	0.0	4.0	20.00

CUADRO N° A5.3-c

Progresiva (Km)	Temperatura °C	Factor corrección	DEFLEXIONES NORMALIZADAS ( 0.01 mm)											Espesor: Asfalto (cm)
			DK0 R=0	0.5 * DK0 R	DK 25 25	DK 30 30	DK 40 40	DK 50 50	DK 60 60	DK 70 70	DK 100 100	DK 500 500	2° DIAL DK 25	
77+200	24.00	1.0000	78.0	39.0	66.0	58.0	46.0	34.0	30.0	22.0	6.0	0.0	44.0	20.00
77+250	26.00	1.0000	72.0	36.0	64.0	56.0	40.0	24.0	16.0	12.0	4.0	0.0	12.0	20.00
77+300	23.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	48.0	40.0	28.0	20.0	12.0	4.0	0.0	30.0	20.00
77+350	24.00	1.0000	92.0	46.0	84.0	72.0	60.0	44.0	32.0	24.0	12.0	0.0	40.0	20.00
77+400	21.00	1.0000	82.0	41.0	74.0	66.0	54.0	38.0	30.0	14.0	10.0	0.0	44.0	20.00
77+450	23.00	1.0000	140.0	70.0	104.0	88.0	64.0	44.0	32.0	24.0	12.0	0.0	48.0	20.00
77+500	18.00	1.0000	50.0	25.0	46.0	43.9	42.0	38.0	34.0	30.0	22.0	0.0	8.0	20.00
77+550	25.00	1.0000	72.0	36.0	68.0	64.0	48.0	40.0	32.0	24.0	16.0	0.0	12.0	20.00
77+600	17.00	1.0000	44.0	22.0	40.0	38.0	34.0	30.0	28.0	24.0	12.0	0.0	16.0	20.00
77+650	25.00	1.0000	18.0	9.0	14.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	2.0	0.0	12.0	20.00
77+700	21.00	1.0000	70.0	35.0	62.0	58.0	50.0	38.0	26.0	18.0	10.0	0.0	38.0	20.00
77+750	24.00	1.0000	66.0	33.0	62.0	50.0	42.0	30.0	22.0	18.0	10.0	0.0	12.0	20.00
77+800	17.00	1.0000	114.0	57.0	106.0	98.0	70.0	46.0	26.0	14.0	10.0	0.0	44.0	20.00
77+850	24.00	1.0000	58.0	29.0	46.0	42.0	38.0	34.0	30.0	26.0	2.0	0.0	34.0	20.00
77+900	15.00	1.0000	88.0	44.0	72.0	56.0	40.0	28.0	24.0	20.0	12.0	0.0	44.0	20.00
77+950	25.00	1.0000	56.0	28.0	52.0	44.0	28.0	24.0	16.0	12.0	8.0	0.0	28.0	20.00



CUADRO N° A5.4

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

Datos para SUB-BASE

OBRA CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 SECTOR CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
 CARRIL Ambos (Tresbolillo)

Estacion (Km)	Deflexiones Normalizadas		R (cm)	R5	Dk25 (0.01 mm)	Radio curvatura
	DKO (0.01 mm)*	DKR (0.01mm)			2 do. Dial	Rc (m)
72+000	32.0	16.0	30	30.00	6.0	120
72+050	64.0	28.0	40	34.85	20.0	71
72+100	52.0	24.0	40	36.76	4.0	65
72+150	106.0	62.0	40	48.27	40.0	47
72+200	68.0	32.0	50	46.87	8.0	52
72+250	84.0	36.0	50	42.71	28.0	56
72+300	28.0	16.0	60	70.25	10.0	174
72+350	108.0	64.0	70	85.96	56.0	60
72+400	88.0	40.0	40	36.20	36.0	60
72+450	112.0	56.0	40	40.00	44.0	46
72+500	82.0	38.0	30	27.68	24.0	54
72+550	96.0	44.0	50	45.63	44.0	60
72+600	92.0	44.0	50	47.67	76.0	195
72+650	96.0	44.0	50	45.63	36.0	52
72+700	78.0	38.0	50	48.61	4.0	42
72+750	120.0	64.0	40	43.04	32.0	36
72+800	100.0	56.0	30	34.24	44.0	56
72+850	66.0	30.0	50	45.25	16.0	63
72+900	80.0	36.0	40	35.83	20.0	52
72+950	26.0	12.0	50	45.95	12.0	223
73+000	56.0	28.0	40	40.00	8.0	65
73+050	104.0	48.0	40	36.76	40.0	49
73+100	64.0	32.0	40	40.00	28.0	87
73+150	92.0	44.0	40	38.14	36.0	56
73+200	68.0	40.0	30	36.48	12.0	56
73+250	84.0	40.0	50	47.46	24.0	52
73+300	64.0	32.0	40	40.00	36.0	112
73+350	32.0	12.0	50	38.55	28.0	781
73+400	96.0	48.0	40	40.00	36.0	52
73+450	56.0	28.0	40	40.00	36.0	156
73+500	76.0	40.0	40	42.38	28.0	65
73+550	140.0	80.0	50	58.54	64.0	41
73+600	100.0	52.0	40	41.79	64.0	87
73+650	56.0	28.0	60	60.00	20.0	87
73+700	92.0	52.0	40	46.19	64.0	112
73+750	76.0	44.0	40	47.63	32.0	71
73+800	68.0	32.0	50	46.87	24.0	71
73+850	92.0	44.0	50	47.67	60.0	98
73+900	50.0	26.0	40	41.79	54.0	(781)
73+950	64.0	32.0	60	60.00	44.0	156
74+000	60.0	28.0	70	65.06	14.0	68
74+050	64.0	32.0	50	50.00	36.0	112
74+100	68.0	36.0	40	42.67	20.0	65
74+150	36.0	16.0	60	53.09	4.0	98

CUADRO N° A5.4-a

Estacion (Km)	Deflexiones Normalizadas		R (cm)	R5	Dk25 (0.01 mm)	Radio curvatura
	DKO (0.01 mm)*	DKR (0.01mm)			2 do. Dial	Rc.(m)
74+200	46.0	22.0	50	47.67	20.0	120
74+250	80.0	44.0	30	33.49	26.0	58
74+300	60.0	28.0	60	55.77	12.0	65
74+350	64.0	36.0	30	34.43	18.0	68
74+400	100.0	44.0	40	35.05	46.0	58
74+450	80.0	48.0	100	124.88	4.0	41
74+500	80.0	36.0	40	35.83	28.0	60
74+550	92.0	40.0	40	34.64	40.0	60
74+600	88.0	52.0	30	36.70	16.0	43
74+650	68.0	28.0	40	33.22	24.0	71
74+700	28.0	14.0	70	70.00	4.0	130
74+750	44.0	20.0	40	36.20	12.0	98
74+800	58.0	30.0	25	25.96	20.0	82
74+850	84.0	40.0	40	37.96	8.0	41
74+900	76.0	36.0	40	37.76	28.0	65
74+950	98.0	46.0	40	37.40	24.0	42
75+000	68.0	32.0	40	37.50	20.0	65
75+050	14.0	6.0	60	51.25	4.0	313
75+100	20.0	8.0	70	56.77	8.0	260
75+150	60.0	32.0	40	43.04	32.0	112
75+200	28.0	12.0	50	42.71	12.0	195
75+250	52.0	24.0	40	36.76	20.0	98
75+300	72.0	36.0	40	40.00	4.0	46
75+350	76.0	32.0	50	42.32	20.0	56
75+400	22.0	10.0	60	54.30	4.0	174
75+450	40.0	20.0	50	50.00	20.0	156
75+500	68.0	30.0	60	52.71	12.0	56
75+550	76.0	40.0	40	42.38	24.0	60
75+600	72.0	42.0	40	48.10	8.0	49
75+650	66.0	30.0	60	54.30	20.0	68
75+700	68.0	28.0	40	33.22	8.0	52
75+750	22.0	10.0	40	36.20	8.0	223
75+800	52.0	24.0	30	27.57	16.0	87
75+850	40.0	20.0	40	40.00	22.0	174
75+900	78.0	34.0	50	43.41	32.0	68
75+950	84.0	48.0	40	46.83	32.0	60
76+000	68.0	32.0	40	37.50	20.0	65
76+050	48.0	20.0	50	41.94	12.0	87
76+100	52.0	28.0	40	43.53	4.0	65
76+150	64.0	32.0	30	30.00	24.0	78
76+200	80.0	40.0	30	30.00	8.0	43
76+250	80.0	44.0	25	27.91	40.0	78
76+300	68.0	32.0	40	37.50	22.0	68
76+350	68.0	36.0	30	32.00	16.0	60
76+400	48.0	24.0	50	50.00	4.0	71
76+450	76.0	32.0	40	33.86	16.0	52
76+500	78.0	42.0	40	43.53	4.0	42
76+550	48.0	28.0	30	36.07	4.0	71
76+600	64.0	32.0	40	40.00	12.0	60
76+650	56.0	28.0	30	30.00	4.0	60

CUADRO N° A5.4-b

Estacion (Km)	Deflexiones Normalizadas		R (cm)	R5	Dk25 (0:01 mm)	Radio curvatura
	DKO (0.01 mm)*	DKR (0.01mm)			2 do. Dial	Rc (m)
76+700	64.0	32.0	40	40.00	4.0	52
76+750	64.0	32.0	40	40.00	24.0	78
76+800	60.0	28.0	50	46.47	8.0	60
76+850	88.0	40.0	40	36.20	28.0	52
76+900	60.0	32.0	50	53.80	40.0	156
76+950	74.0	34.0	50	45.74	40.0	92
77+000	60.0	28.0	50	46.47	12.0	65
77+050	62.0	34.0	50	55.61	12.0	63
77+100	40.0	20.0	40	40.00	4.0	87
77+150	32.0	16.0	50	50.00	4.0	112
77+200	78.0	34.0	50	43.41	44.0	92
77+250	72.0	40.0	40	45.20	12.0	52
77+300	60.0	28.0	50	46.47	30.0	104
77+350	92.0	44.0	50	47.67	40.0	60
77+400	82.0	38.0	50	46.14	44.0	82
77+450	140.0	64.0	40	36.40	48.0	34
77+500	50.0	22.0	100	87.62	8.0	74
77+550	72.0	32.0	60	53.09	12.0	52
77+600	44.0	24.0	70	77.36	16.0	112
77+650	18.0	8.0	40	35.40	12.0	521
77+700	70.0	38.0	50	54.94	38.0	98
77+750	66.0	30.0	50	45.25	12.0	58
77+800	114.0	46.0	50	40.84	44.0	45
77+850	58.0	30.0	60	62.31	34.0	130
77+900	88.0	40.0	40	36.20	44.0	71
77+950	56.0	28.0	40	40.00	28.0	112

CUADRO N° A5.5

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO  
REGISTRO DE CAMPO

Benkelman - BASE GRANULAR

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
CARRIL : Derecho

Carga Eje :  
Presión :

4100 Kg  
80 psi

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL									LECTURA 2° DIAL	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500			L-25* 0.01 mm	Amb °C	
	72+000	0.0	5.0	8.0	11.0	13.0	14.5	15.0	16.0	17.0	3.5	2:00	26	26.6
72+100	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	13.0	14.5	5.0	2:05	26	26.6	15
72+200	0.0	4.0	7.0	10.0	11.0	12.0	12.5	13.0	13.5	6.5	2:15	20	22.9	15
72+300	0.0	4.0	6.0	9.0	12.0	13.0	14.0	14.0	15.0	8.0	2:25	20	22.2	15
72+400	0.0	2.0	3.0	6.0	7.0	8.0	8.5	10.0	11.5	8.0	2:40	26	26.6	15
72+500	0.0	1.0	3.0	5.0	8.0	9.0	10.0	13.0	14.0	3.0	2:45	26	26.6	15
72+600	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.5	1.0	9:59	16	16	15
72+700	0.0	2.0	3.5	5.5	7.0	8.0	8.5	9.5	11.0	7.0	10:13	16.5	16	15
72+800	0.0	2.0	3.0	5.0	7.5	8.5	9.5	11.5	13.5	4.0	8:10	16.5	16	15
72+900	0.0	1.0	1.5	2.5	3.5	7.0	8.0	9.0	12.0	4.0	9:15	16.1	16	15
73+000	0.0	4.0	5.0	7.0	9.0	10.5	11.0	12.5	15.0	8.0	9:20	16	16	15
73+100	0.0	3.0	5.0	7.0	8.5	9.0	9.5	11.0	12.5	1.0	9:25	16.5	16	15
73+200	0.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0	6.0	7.0	8.5	2.0	9:39	16.5	16	15
73+300	0.0	7.0	8.0	11.0	12.5	13.5	14.5	15.0	18.0	5.0	9:49	16.1	16	15
73+400	0.0	3.0	4.0	5.0	6.0	9.0	8.0	11.0	12.0	6.0	9:59	16	16	15
73+500	0.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.5	7.0	7.5	0.5	10:13	16.5	16	15
73+600	0.0	7.0	8.0	10.0	12.0	13.0	13.5	16.0	18.5	8.0	10:25	16.5	16	15
73+700	0.0	1.5	2.0	2.5	5.0	7.0	8.0	10.0	14.0	8.0	10:50	16.1	16	15
73+800	0.0	1.0	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	5.5	7.0	0.5	9:48	16	16	15
73+900	0.0	2.0	4.0	6.0	7.0	9.0	10.0	13.0	16.0	5.0	9:20	16	16	15
74+000	0.0	3.0	5.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	15.0	5.0	9:25	16.5	16	15
74+100	0.0	2.0	5.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	14.0	8.0	9:39	16.5	16	15
74+200	0.0	2.0	4.0	5.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	4.0	9:49	16.1	16	15
74+300	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	11.0	7.0	9:59	16	16	15
74+400	0.0	5.0	7.0	10.0	13.0	16.0	17.0	19.0	22.5	5.0	10:00	16.5	16	15
74+500	0.0	3.0	5.0	7.0	7.5	8.0	11.0	13.0	14.5	7.0	10:12	16.5	16	15
74+600	0.0	3.0	4.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.5	11.0	1.0	10:22	16.1	16	15
74+700	0.0	4.0	5.0	6.5	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	7.0	10:32	16	16	15

CUADRO N° A5.5-a

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL										LECTURA 2° DIAL	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	L-25* 0.01 mm			Amb °C	Base °C	
	74+800	0.0	1.0	3.0	5.0	8.0	9.0	9.5	11.0	12.0	1.0	10:42	16.5	16	15
74+900	0.0	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	14.0	15.0	16.5	6.0	10:52	16.5	16	15	
75+000	0.0	3.0	5.0	9.0	11.0	13.0	14.0	16.0	17.0	10.0	11:02	16.1	16	15	
75+100	0.0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	17.0	18.0	20.0	8.0	13:02	16	16	15	
75+200	0.0	0.5	1.0	3.0	6.0	9.0	10.0	12.0	14.0	7.0	11:12	16.5	16	15	
75+300	0.0	2.0	5.0	7.0	10.0	13.0	14.0	16.0	19.0	6.0	11:26	16.5	16	15	
75+400	0.0	3.0	5.0	8.0	11.0	13.0	15.0	17.0	19.0	9.0	4:26	16.1	16	15	
75+500	0.0	3.0	4.0	6.0	7.0	8.5	9.5	10.5	13.0	4.0	4:40	16	16	15	
75+600	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.5	7.0	9.0	3.0	4:53	16.5	16	15	
75+700	0.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	13.0	14.0	16.0	7.0	10:22	12	15	15	
75+800	0.0	2.0	3.0	5.0	7.0	9.0	9.5	11.0	12.0	7.0	10:32	16	16	15	
75+900	0.0	4.0	5.0	7.0	9.0	10.5	12.0	13.0	15.0	7.0	10:42	17	13	15	
76+000	0.0	1.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	2.0	10:52	16	18	15	
76+100	0.0	1.0	3.0	6.0	10.0	11.0	13.0	16.0	17.0	3.0	11:02	16	16	15	
76+200	0.0	5.0	7.0	9.0	12.0	14.0	15.0	16.0	18.0	3.0	13:02	15	16	15	
76+300	0.0	3.0	6.0	9.0	12.0	14.0	15.0	17.0	18.0	5.0	11:12	15	16	15	
76+400	0.0	4.0	6.0	10.0	12.0	14.0	16.0	17.0	18.0	10.0	11:26	14	16	15	
76+500	0.0	1.0	3.0	5.0	8.0	9.0	10.0	12.0	13.5	8.0	10:52	16	15	15	
76+600	0.0	1.0	4.0	7.0	11.0	13.0	14.0	16.0	17.0	8.5	11:02	15	17	15	
76+700	0.0	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0	6.0	8.0	10.5	3.0	13:02	16	16	15	
76+800	0.0	3.0	5.0	8.0	9.0	11.0	12.0	13.0	13.5	2.5	11:12	18	14	15	
76+900	0.0	0.5	1.0	1.5	3.0	4.0	5.0	6.5	8.0	5.0	5:03	16.5	16	15	
77+000	0.0	0.5	2.0	3.0	5.0	6.0	7.0	10.0	12.0	3.0	8:55	16.1	16	15	
77+100	0.0	2.0	4.0	6.0	9.0	11.0	12.0	14.0	16.0	3.0	9:08	16	16	15	
77+200	0.0	0.5	1.0	5.0	7.0	11.0	13.0	14.0	15.0	1.5	9:25	16.5	16	15	
77+300	0.0	1.0	2.0	5.0	9.0	12.0	14.0	18.0	20.5	10.0	9:40	16.5	16	15	
77+400	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	6.0	7.0	9.5	4.0	9:50	16.1	16	15	
77+500	0.0	1.0	2.0	5.0	7.0	9.0	11.0	12.0	15.0	5.0	10:50	16	16	15	
77+600	0.0	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	9.0	12.0	5.0	10:55	16.5	16	15	
77+700	0.0	1.0	3.0	6.0	8.5	10.0	11.0	13.0	16.0	7.0	9:05	16.5	16	15	
77+800	0.0	4.0	6.0	10.0	15.0	18.0	20.0	23.0	26.0	9.0	9:15	16.1	16	15	
77+900	0.0	1.0	3.0	6.0	7.0	10.0	12.0	15.0	19.0	3.0	9:25	16	16	15	

EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO  
REGISTRO DE CAMPO

Benkelman - BASE GRANULAR

OBRA : SUPERVISION CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
CARRIL : Izquierdo

Carga Eje : 4100 Kg  
Presión : 80 psi

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL										LECTURA 2° DIAL L-25* 0.01 mm.	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	Amb °C			Base °C		
72+050	0.0	2.0	3.0	4.5	5.0	6.0	6.5	6.0	8.0	2.0	10:15	29	29	15	
72+150	0.0	4.0	4.5	5.5	6.5	7.0	7.5	8.0	8.0	1.0	10:10	27	27	15	
72+250	0.0	1.0	3.0	5.0	6.0	6.0	6.5	7.0	9.0	6.0	10:05	26	26	15	
72+350	0.0	2.0	3.0	4.0	5.5	6.0	8.0	9.0	12.0	3.0	12:30	26	26	15	
72+450	0.0	1.0	4.0	7.0	9.0	11.0	12.0	13.0	15.0	6.5	1:34	26	26	15	
72+550	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	3.5	1.5	1:23	25	25	15	
72+650	0.0	4.0	7.0	10.0	12.0	12.5	13.0	15.0	15.5	5.0	1:58	22	22	15	
72+750	0.0	2.0	4.0	6.0	6.0	7.0	8.0	9.5	10.0	5.0	1:50	24	24	15	
72+850	0.0	1.5	2.5	4.0	7.0	9.0	10.0	11.5	12.5	8.0	11:02	25	25	15	
72+950	0.0	2.0	3.0	4.0	4.0	5.0	6.0	6.0	6.5	0.5	10:15	29	29	15	
73+050	0.0	1.0	3.0	5.0	8.0	9.0	10.0	10.5	11.0	2.0	10:10	27	27	15	
73+150	0.0	4.0	6.0	8.0	9.0	10.0	10.5	13.0	14.0	2.0	10:05	26	26	15	
73+250	0.0	2.0	3.0	5.0	6.0	6.0	6.5	7.0	8.0	3.5	12:30	26	26	15	
73+350	0.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	7.0	8.5	1.0	12:20	26	26	15	
73+450	0.0	1.0	4.0	7.0	9.0	11.0	12.0	13.0	15.0	6.5	12:10	17	17	15	
73+550	0.0	2.5	4.5	6.5	9.0	11.0	13.0	16.0	21.5	13.0	12:00	22	22	15	
73+650	0.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	4.5	4.0	11:40	18	18	15	
73+750	0.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	9.0	10.0	11.0	3.5	11:20	23	23	15	
73+850	0.0	1.0	3.0	5.0	6.0	7.0	9.0	11.0	15.0	13.0	2:20	21	21	15	
73+950	0.0	4.0	7.0	11.0	13.0	16.0	18.0	20.0	26.0	5.0	2:15	23	23	15	
74+050	0.0	3.0	5.0	8.0	11.0	13.0	14.0	16.0	17.0	6.0	2:08	22	22	15	
74+150	0.0	1.5	3.0	5.0	7.0	9.0	10.0	11.0	13.5	7.0	2:04	22	22	15	
74+250	0.0	8.0	11.0	13.0	14.0	16.0	17.0	19.0	19.0	4.0	1:57	24	24	15	
74+350	0.0	7.0	10.0	12.0	13.0	14.0	16.0	17.0	20.0	4.0	1:45	24	24	15	
74+450	0.0	3.0	7.0	10.0	14.0	15.0	16.5	18.0	20.0	7.0	1:34	26	26	15	
74+550	0.0	3.0	5.0	7.0	9.0	10.0	11.0	12.0	15.0	2.0	1:23	25	25	15	
74+650	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	5.0	3.0	1:58	22	22	15	
74+750	0.0	3.0	5.0	7.0	7.5	8.0	8.5	10.0	11.0	5.0	1:50	24	24	15	
74+850	0.0	5.0	7.0	9.0	11.0	12.0	13.0	15.0	16.0	8.0	11:38	23	23	15	

CUADRO N° A5.7

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO  
REGISTRO DE CAMPO**

Benkelman - BASE GRANULAR

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
CARRIL : Ambos (Tresbolillo)

Carga Eje : 4100 Kg  
Presión : 80 psi

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL									LECTURA 2° DIAL	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	L-25* 0.01 mm		Amb °C	Base °C	
72+000	26.60	1.0000	68.0	34.0	48.0	36.0	24.0	16.0	10.0	8.0	4.0	0.0	14.0	15.00
72+050	29.00	1.0000	32.0	16.0	24.0	20.0	14.0	12.0	8.0	6.0	8.0	0.0	8.0	15.00
72+100	26.60	1.0000	58.0	29.0	50.0	42.0	34.0	26.0	18.0	10.0	6.0	0.0	20.0	15.00
72+150	27.00	1.0000	32.0	16.0	16.0	14.0	10.0	6.0	4.0	2.0	0.0	0.0	4.0	15.00
72+200	22.90	1.0000	54.0	27.0	38.0	26.0	14.0	10.0	6.0	4.0	2.0	0.0	26.0	15.00
72+250	26.00	1.0000	36.0	18.0	32.0	24.0	16.0	12.0	12.0	10.0	8.0	0.0	24.0	15.00
72+300	22.20	1.0000	60.0	30.0	44.0	36.0	24.0	12.0	8.0	4.0	4.0	0.0	32.0	15.00
72+350	26.00	1.0000	48.0	24.0	40.0	36.0	32.0	26.0	24.0	16.0	12.0	0.0	12.0	15.00
72+400	26.60	1.0000	46.0	23.0	38.0	34.0	22.0	18.0	14.0	12.0	6.0	0.0	32.0	15.00
72+450	26.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	44.0	32.0	24.0	16.0	12.0	8.0	0.0	26.0	15.00
72+500	26.60	1.0000	56.0	28.0	52.0	44.0	36.0	24.0	20.0	16.0	4.0	0.0	12.0	15.00
72+550	25.00	1.0000	14.0	7.0	12.0	10.0	8.0	6.0	4.0	4.0	4.0	0.0	6.0	15.00
72+600	16.00	1.0000	34.0	17.0	30.0	26.0	22.0	18.0	14.0	10.0	6.0	0.0	4.0	15.00
72+650	22.00	1.0000	62.0	31.0	46.0	34.0	22.0	14.0	12.0	10.0	2.0	0.0	20.0	15.00
72+700	16.00	1.0000	44.0	22.0	36.0	30.0	22.0	16.0	12.0	10.0	6.0	0.0	28.0	15.00
72+750	24.00	1.0000	40.0	20.0	32.0	24.0	16.0	16.0	12.0	8.0	2.0	0.0	20.0	15.00
72+800	16.00	1.0000	54.0	27.0	46.0	42.0	34.0	24.0	20.0	16.0	8.0	0.0	16.0	15.00
72+850	25.00	1.0000	50.0	25.0	44.0	40.0	34.0	22.0	14.0	10.0	4.0	0.0	32.0	15.00
72+900	16.00	1.0000	48.0	24.0	44.0	42.0	38.0	34.0	20.0	16.0	12.0	0.0	16.0	15.00
72+950	29.00	1.0000	26.0	13.0	18.0	14.0	10.0	10.0	6.0	2.0	2.0	0.0	2.0	15.00
73+000	16.00	1.0000	60.0	30.0	44.0	40.0	32.0	24.0	18.0	16.0	10.0	0.0	32.0	15.00
73+050	27.00	1.0000	44.0	22.0	40.0	32.0	24.0	12.0	8.0	4.0	2.0	0.0	8.0	15.00
73+100	16.00	1.0000	50.0	25.0	38.0	30.0	22.0	16.0	14.0	12.0	6.0	0.0	4.0	15.00
73+150	26.00	1.0000	56.0	28.0	40.0	32.0	24.0	20.0	16.0	14.0	4.0	0.0	8.0	15.00
73+200	16.00	1.0000	34.0	17.0	28.0	26.0	24.0	22.0	14.0	10.0	6.0	0.0	8.0	15.00
73+250	26.00	1.0000	32.0	16.0	24.0	20.0	12.0	8.0	8.0	6.0	4.0	0.0	14.0	15.00
73+300	16.00	1.0000	72.0	36.0	44.0	40.0	28.0	22.0	18.0	14.0	12.0	0.0	20.0	15.00
73+350	26.00	1.0000	34.0	17.0	26.0	22.0	18.0	14.0	10.0	10.0	6.0	0.0	4.0	15.00

CUADRO N° A5.7-a

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL										LECTURA 2° DIAL	TEMPERATURAS		Espesor Base G (cm)	
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	L-25* 0.01 mm	Hora	Amb °C	Base °C		
73+400	16.00	1.0000	48.0	24.0	36.0	32.0	28.0	24.0	12.0	16.0	16.0	4.0	0.0	24.0	15.00
73+450	17.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	44.0	32.0	24.0	16.0	12.0	12.0	8.0	0.0	26.0	15.00
73+500	16.00	1.0000	30.0	15.0	22.0	18.0	14.0	10.0	6.0	4.0	4.0	2.0	0.0	2.0	15.00
73+550	22.00	1.0000	86.0	43.0	76.0	68.0	60.0	50.0	42.0	34.0	22.0	22.0	0.0	52.0	15.00
73+600	16.00	1.0000	74.0	37.0	46.0	42.0	34.0	26.0	22.0	20.0	10.0	10.0	0.0	32.0	15.00
73+650	18.00	1.0000	18.0	9.0	14.0	12.0	10.0	10.0	8.0	8.0	6.0	6.0	0.0	16.0	15.00
73+700	16.00	1.0000	56.0	28.0	50.0	48.0	46.0	36.0	28.0	24.0	16.0	16.0	0.0	32.0	15.00
73+750	23.00	1.0000	44.0	22.0	32.0	28.0	24.0	20.0	12.0	8.0	4.0	4.0	0.0	14.0	15.00
73+800	16.00	1.0000	28.0	14.0	24.0	20.0	18.0	16.0	12.0	8.0	6.0	6.0	0.0	2.0	15.00
73+850	21.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	48.0	40.0	36.0	32.0	24.0	16.0	16.0	0.0	52.0	15.00
73+900	16.00	1.0000	64.0	32.0	56.0	48.0	40.0	36.0	28.0	24.0	12.0	12.0	0.0	20.0	15.00
73+950	23.00	1.0000	104.0	52.0	88.0	76.0	60.0	52.0	40.0	32.0	24.0	24.0	0.0	20.0	15.00
74+000	16.00	1.0000	60.0	30.0	48.0	40.0	32.0	28.0	24.0	20.0	12.0	12.0	0.0	20.0	15.00
74+050	22.00	1.0000	68.0	34.0	56.0	48.0	36.0	24.0	16.0	12.0	4.0	4.0	0.0	24.0	15.00
74+100	16.00	1.0000	56.0	28.0	48.0	36.0	24.0	20.0	16.0	12.0	8.0	8.0	0.0	32.0	15.00
74+150	22.00	1.0000	54.0	27.0	48.0	42.0	34.0	26.0	18.0	14.0	10.0	10.0	0.0	28.0	15.00
74+200	16.00	1.0000	48.0	24.0	40.0	32.0	28.0	20.0	16.0	12.0	8.0	8.0	0.0	16.0	15.00
74+250	24.00	1.0000	76.0	38.0	44.0	32.0	24.0	20.0	12.0	8.0	0.0	0.0	0.0	16.0	15.00
74+300	16.00	1.0000	44.0	22.0	42.0	40.0	36.0	32.0	28.0	24.0	16.0	16.0	0.0	28.0	15.00
74+350	24.00	1.0000	80.0	40.0	52.0	40.0	32.0	28.0	24.0	16.0	12.0	12.0	0.0	16.0	15.00
74+400	16.00	1.0000	90.0	45.0	70.0	62.0	50.0	38.0	26.0	22.0	14.0	14.0	0.0	20.0	15.00
74+450	26.00	1.0000	80.0	40.0	68.0	52.0	40.0	24.0	20.0	14.0	8.0	8.0	0.0	28.0	15.00
74+500	16.00	1.0000	58.0	29.0	46.0	38.0	30.0	28.0	26.0	14.0	6.0	6.0	0.0	28.0	15.00
74+550	25.00	1.0000	60.0	30.0	48.0	40.0	32.0	24.0	20.0	16.0	12.0	12.0	0.0	8.0	15.00
74+600	16.00	1.0000	44.0	22.0	32.0	28.0	20.0	16.0	12.0	8.0	2.0	2.0	0.0	4.0	15.00
74+650	22.00	1.0000	20.0	10.0	18.0	16.0	14.0	12.0	12.0	10.0	10.0	10.0	0.0	12.0	15.00
74+700	16.00	1.0000	48.0	24.0	32.0	28.0	22.0	16.0	12.0	8.0	4.0	4.0	0.0	28.0	15.00
74+750	24.00	1.0000	44.0	22.0	32.0	24.0	16.0	14.0	12.0	10.0	4.0	4.0	0.0	20.0	15.00
74+800	16.00	1.0000	48.0	24.0	44.0	36.0	28.0	16.0	12.0	10.0	4.0	4.0	0.0	4.0	15.00
74+850	23.00	1.0000	64.0	32.0	44.0	36.0	28.0	20.0	16.0	12.0	4.0	4.0	0.0	32.0	15.00
74+900	16.00	1.0000	66.0	33.0	46.0	38.0	30.0	22.0	14.0	10.0	6.0	6.0	0.0	24.0	15.00
74+950	23.00	1.0000	60.0	30.0	48.0	40.0	36.0	28.0	24.0	16.0	8.0	8.0	0.0	12.0	15.00
75+000	16.00	1.0000	68.0	34.0	56.0	48.0	32.0	24.0	16.0	12.0	4.0	4.0	0.0	40.0	15.00
75+050	23.00	1.0000	14.0	7.0	12.0	10.0	8.0	6.0	6.0	4.0	2.0	2.0	0.0	6.0	15.00
75+100	16.00	1.0000	80.0	40.0	68.0	56.0	44.0	32.0	20.0	12.0	8.0	8.0	0.0	32.0	15.00
75+150	25.00	1.0000	74.0	37.0	62.0	50.0	42.0	30.0	22.0	14.0	6.0	6.0	0.0	28.0	15.00
75+200	16.00	1.0000	56.0	28.0	54.0	52.0	44.0	32.0	20.0	16.0	8.0	8.0	0.0	28.0	15.00
75+250	29.00	1.0000	68.0	34.0	48.0	40.0	32.0	16.0	12.0	4.0	0.0	0.0	0.0	24.0	15.00



CUADRO N° A5.7-b

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL										LECTURA 2° DIAL	TEMPERATURAS			Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	L-25° 0.01 mm	Hora	Amb °C	Base °C		
75+300	16.00	1.0000	76.0	38.0	68.0	56.0	48.0	36.0	24.0	20.0	12.0	12.0	0.0	24.0	15.00
75+350	27.00	1.0000	64.0	32.0	56.0	48.0	36.0	24.0	16.0	12.0	-8.0	0.0	12.0	15.00	15.00
75+400	16.00	1.0000	76.0	38.0	64.0	56.0	44.0	32.0	24.0	16.0	8.0	0.0	36.0	15.00	15.00
75+450	26.00	1.0000	60.0	30.0	48.0	40.0	28.0	24.0	16.0	12.0	8.0	0.0	20.0	15.00	15.00
75+500	16.00	1.0000	52.0	26.0	40.0	36.0	28.0	24.0	18.0	14.0	10.0	0.0	16.0	15.00	15.00
75+550	26.00	1.0000	42.0	21.0	34.0	30.0	26.0	20.0	16.0	14.0	8.0	0.0	20.0	15.00	15.00
75+600	16.00	1.0000	36.0	18.0	34.0	32.0	30.0	28.0	24.0	18.0	8.0	0.0	12.0	15.00	15.00
75+650	23.00	1.0000	56.0	28.0	44.0	40.0	32.0	24.0	16.0	12.0	4.0	0.0	20.0	15.00	15.00
75+700	15.00	1.0000	64.0	32.0	48.0	40.0	32.0	24.0	16.0	12.0	8.0	0.0	28.0	15.00	15.00
75+750	12.00	1.0000	64.0	32.0	44.0	32.0	28.0	16.0	12.0	8.0	4.0	0.0	36.0	15.00	15.00
75+800	16.00	1.0000	48.0	24.0	40.0	36.0	28.0	20.0	12.0	10.0	4.0	0.0	28.0	15.00	15.00
75+850	19.00	1.0000	72.0	36.0	48.0	40.0	28.0	20.0	16.0	8.0	4.0	0.0	12.0	15.00	15.00
75+900	13.00	1.0000	60.0	30.0	44.0	40.0	32.0	24.0	18.0	12.0	8.0	0.0	28.0	15.00	15.00
75+950	21.00	1.0000	68.0	34.0	48.0	40.0	28.0	20.0	12.0	8.0	4.0	0.0	36.0	15.00	15.00
76+000	18.00	1.0000	20.0	10.0	16.0	12.0	10.0	8.0	6.0	4.0	2.0	0.0	8.0	15.00	15.00
76+050	19.00	1.0000	40.0	20.0	32.0	28.0	24.0	16.0	14.0	10.0	6.0	0.0	4.0	15.00	15.00
76+100	16.00	1.0000	68.0	34.0	64.0	56.0	44.0	28.0	24.0	16.0	4.0	0.0	12.0	15.00	15.00
76+150	20.00	1.0000	72.0	36.0	44.0	36.0	28.0	20.0	16.0	12.0	4.0	0.0	40.0	15.00	15.00
76+200	16.00	1.0000	72.0	36.0	52.0	44.0	36.0	24.0	16.0	12.0	8.0	0.0	12.0	15.00	15.00
76+250	19.00	1.0000	32.0	16.0	24.0	20.0	18.0	16.0	12.0	10.0	8.0	0.0	8.0	15.00	15.00
76+300	16.00	1.0000	72.0	36.0	60.0	48.0	36.0	24.0	16.0	12.0	4.0	0.0	20.0	15.00	15.00
76+350	20.00	1.0000	68.0	34.0	52.0	44.0	36.0	24.0	20.0	12.0	4.0	0.0	16.0	15.00	15.00
76+400	16.00	1.0000	72.0	36.0	56.0	48.0	32.0	24.0	16.0	8.0	4.0	0.0	40.0	15.00	15.00
76+450	22.00	1.0000	18.0	9.0	14.0	10.0	8.0	6.0	2.0	2.0	0.0	0.0	10.0	15.00	15.00
76+500	15.00	1.0000	54.0	27.0	50.0	42.0	34.0	22.0	18.0	14.0	6.0	0.0	32.0	15.00	15.00
76+550	24.00	1.0000	42.0	21.0	34.0	30.0	18.0	14.0	8.0	6.0	4.0	0.0	12.0	15.00	15.00
76+600	17.00	1.0000	68.0	34.0	64.0	52.0	40.0	24.0	16.0	12.0	4.0	0.0	34.0	15.00	15.00
76+650	24.00	1.0000	46.0	23.0	34.0	30.0	22.0	18.0	14.0	12.0	10.0	0.0	20.0	15.00	15.00
76+700	16.00	1.0000	42.0	21.0	38.0	36.0	34.0	30.0	22.0	18.0	10.0	0.0	12.0	15.00	15.00
76+750	26.00	1.0000	70.0	35.0	58.0	50.0	42.0	30.0	22.0	18.0	2.0	0.0	12.0	15.00	15.00
76+800	14.00	1.0000	54.0	27.0	42.0	34.0	22.0	18.0	10.0	6.0	2.0	0.0	10.0	15.00	15.00
76+850	25.00	1.0000	68.0	34.0	56.0	48.0	42.0	30.0	20.0	12.0	4.0	0.0	24.0	15.00	15.00
76+900	16.00	1.0000	32.0	16.0	30.0	28.0	26.0	20.0	16.0	12.0	6.0	0.0	20.0	15.00	15.00
76+950	23.00	1.0000	64.0	32.0	54.0	44.0	32.0	24.0	16.0	8.0	4.0	0.0	16.0	15.00	15.00
77+000	16.00	1.0000	48.0	24.0	46.0	40.0	36.0	28.0	24.0	20.0	8.0	0.0	12.0	15.00	15.00
77+050	22.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	52.0	44.0	40.0	28.0	20.0	16.0	0.0	20.0	15.00	15.00
77+100	16.00	1.0000	64.0	32.0	56.0	48.0	40.0	28.0	20.0	16.0	8.0	0.0	12.0	15.00	15.00
77+150	25.00	1.0000	72.0	36.0	56.0	52.0	40.0	32.0	24.0	16.0	8.0	0.0	32.0	15.00	15.00

CUADRO N° A5.7-c

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL									LECTURA 2º DIAL	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Base G. (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	L-25* 0.01 mm		Amb °C	Base °C	
77+200	16.00	1.0000	60.0	30.0	58.0	56.0	40.0	32.0	16.0	8.0	4.0	0.0	6.0	15.00
77+250	23.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	52.0	40.0	32.0	24.0	16.0	8.0	0.0	36.0	15.00
77+300	16.00	1.0000	82.0	41.0	78.0	74.0	62.0	46.0	34.0	26.0	10.0	0.0	40.0	15.00
77+350	22.00	1.0000	68.0	34.0	60.0	52.0	40.0	32.0	24.0	20.0	12.0	0.0	48.0	15.00
77+400	16.00	1.0000	38.0	19.0	36.0	34.0	30.0	26.0	18.0	14.0	10.0	0.0	16.0	15.00
77+450	24.00	1.0000	48.0	24.0	40.0	36.0	28.0	24.0	20.0	14.0	8.0	0.0	16.0	15.00
77+500	16.00	1.0000	60.0	30.0	56.0	52.0	40.0	32.0	24.0	16.0	12.0	0.0	20.0	15.00
77+550	23.00	1.0000	64.0	32.0	44.0	40.0	32.0	28.0	20.0	16.0	8.0	0.0	24.0	15.00
77+600	16.00	1.0000	48.0	24.0	46.0	44.0	40.0	32.0	24.0	16.0	12.0	0.0	20.0	15.00
77+650	23.00	1.0000	48.0	24.0	44.0	40.0	32.0	24.0	20.0	16.0	8.0	0.0	28.0	15.00
77+700	16.00	1.0000	64.0	32.0	60.0	52.0	40.0	30.0	24.0	20.0	12.0	0.0	28.0	15.00
77+750	23.00	1.0000	52.0	26.0	44.0	40.0	28.0	20.0	16.0	12.0	8.0	0.0	16.0	15.00
77+800	16.00	1.0000	104.0	52.0	88.0	80.0	64.0	44.0	32.0	24.0	12.0	0.0	36.0	15.00
77+850	25.00	1.0000	34.0	17.0	30.0	26.0	22.0	18.0	14.0	10.0	2.0	0.0	12.0	15.00
77+900	16.00	1.0000	76.0	38.0	72.0	64.0	52.0	48.0	36.0	28.0	16.0	0.0	12.0	15.00
77+950	29.00	1.0000	64.0	32.0	52.0	48.0	40.0	32.0	20.0	4.0	2.0	0.0	40.0	15.00

CUADRO N° A5.8

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

Datos para BASE

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO

SECTOR CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA

CARRIL Ambos (Tresbolillo)

Estacion (Km)	Deflexiones Normalizadas		R (cm)	R5	Dk25 (0.01 mm) 2.do. Dial	Radio curvatura Rc (m)
	DKO (0.01 mm)*	DKR (0.01mm)				
72+000	68.0	36.0	30	32.00	14.0	58
72+050	32.0	14.0	40	34.85	8.0	130
72+100	58.0	26.0	50	44.62	20.0	82
72+150	32.0	16.0	25	25.00	4.0	112
72+200	54.0	26.0	30	28.81	26.0	112
72+250	36.0	16.0	40	35.40	24.0	260
72+300	60.0	24.0	40	32.44	32.0	112
72+350	48.0	24.0	60	60.00	12.0	87
72+400	46.0	22.0	40	38.14	32.0	223
72+450	60.0	32.0	40	43.04	26.0	92
72+500	56.0	24.0	50	42.71	12.0	71
72+550	14.0	6.0	50	42.71	6.0	391
72+600	34.0	18.0	50	53.33	4.0	104
72+650	62.0	34.0	30	33.37	20.0	74
72+700	44.0	22.0	40	40.00	28.0	195
72+750	40.0	16.0	40	32.44	20.0	156
72+800	54.0	24.0	50	44.24	16.0	82
72+850	50.0	22.0	50	43.81	32.0	174
72+900	48.0	20.0	60	50.33	16.0	98
72+950	26.0	14.0	30	32.64	2.0	130
73+000	60.0	32.0	40	43.04	32.0	112
73+050	44.0	24.0	40	44.20	8.0	87
73+100	50.0	22.0	40	35.05	4.0	68
73+150	56.0	24.0	40	34.17	8.0	65
73+200	34.0	14.0	60	49.83	8.0	120
73+250	32.0	12.0	40	30.84	14.0	174
73+300	72.0	40.0	30	33.90	20.0	60
73+350	34.0	18.0	40	42.67	4.0	104
73+400	48.0	24.0	50	50.00	24.0	130
73+450	60.0	32.0	40	43.04	26.0	92
73+500	30.0	14.0	40	37.18	2.0	112
73+550	86.0	42.0	60	58.49	52.0	92
73+600	74.0	34.0	40	36.59	32.0	74
73+650	18.0	8.0	60	53.09	16.0	1563
73+700	56.0	28.0	60	60.00	32.0	130
73+750	44.0	20.0	50	45.25	14.0	104
73+800	28.0	12.0	60	51.25	2.0	120
73+850	60.0	32.0	60	64.56	52.0	391
73+900	64.0	28.0	60	52.28	20.0	71
73+950	104.0	52.0	50	50.00	20.0	37
74+000	60.0	28.0	50	46.47	20.0	78
74+050	68.0	36.0	40	42.67	24.0	71
74+100	56.0	24.0	40	34.17	32.0	130
74+150	54.0	26.0	50	48.01	28.0	120
74+200	48.0	20.0	50	41.94	16.0	98

CUADRO N° A5.8-a

Estacion (Km)	Deflexiones Normalizadas		R (cm)	R5	DK25 (0.01 mm)	Radio curvatura Rc (m)
	DKO (0.01 mm)*	DKR (0.01mm)			2°do. Dial	
74+250	76.0	32.0	30	25.39	16.0	52
74+300	44.0	24.0	70	77.36	28.0	195
74+350	80.0	40.0	30	30.00	16.0	49
74+400	90.0	50.0	40	45.20	20.0	45
74+450	80.0	40.0	40	40.00	28.0	60
74+500	58.0	28.0	50	48.14	28.0	104
74+550	60.0	32.0	40	43.04	8.0	60
74+600	44.0	20.0	40	36.20	4.0	78
74+650	20.0	10.0	100	100.00	12.0	391
74+700	48.0	22.0	40	36.50	28.0	156
74+750	44.0	24.0	30	33.15	20.0	130
74+800	48.0	28.0	40	48.10	4.0	71
74+850	64.0	28.0	40	34.85	32.0	98
74+900	66.0	30.0	40	36.20	24.0	74
74+950	60.0	28.0	50	46.47	12.0	65
75+000	68.0	32.0	40	37.50	40.0	112
75+050	14.0	6.0	50	42.71	6.0	391
75+100	80.0	44.0	40	44.65	32.0	65
75+150	74.0	42.0	40	46.43	28.0	68
75+200	56.0	32.0	50	58.54	28.0	112
75+250	68.0	32.0	40	37.50	24.0	71
75+300	76.0	36.0	50	47.19	24.0	60
75+350	64.0	36.0	40	45.91	12.0	60
75+400	76.0	32.0	50	42.32	36.0	78
75+450	60.0	28.0	40	37.18	20.0	78
75+500	52.0	24.0	50	45.95	16.0	87
75+550	42.0	20.0	50	47.46	20.0	142
75+600	36.0	18.0	70	70.00	12.0	130
75+650	56.0	24.0	50	42.71	20.0	87
75+700	64.0	32.0	40	40.00	28.0	87
75+750	64.0	32.0	30	30.00	36.0	112
75+800	48.0	20.0	50	41.94	28.0	156
75+850	72.0	40.0	30	33.90	12.0	52
75+900	60.0	32.0	40	43.04	28.0	98
75+950	68.0	28.0	40	33.22	36.0	98
76+000	20.0	10.0	40	40.00	8.0	260
76+050	40.0	16.0	50	40.55	4.0	87
76+100	68.0	28.0	50	41.53	12.0	56
76+150	72.0	36.0	30	30.00	40.0	98
76+200	72.0	36.0	40	40.00	12.0	52
76+250	32.0	16.0	50	50.00	8.0	130
76+300	72.0	36.0	40	40.00	20.0	60
76+350	68.0	36.0	40	42.67	16.0	60
76+400	72.0	32.0	40	35.40	40.0	98
76+450	18.0	8.0	40	35.40	10.0	391
76+500	54.0	22.0	50	41.16	32.0	142
76+550	42.0	18.0	40	34.17	12.0	104
76+600	68.0	40.0	40	48.63	34.0	92
76+650	46.0	22.0	40	38.14	20.0	120
76+700	42.0	22.0	60	63.22	12.0	104
76+750	70.0	30.0	50	42.71	12.0	54

CUADRO N° A5.8-b

Estacion (Km)	Deflexiones Normalizadas		R (cm)	R5	Dk25 (0.01 mm)	Radio curvatura
	DKO (0.01 mm)	DKR (0.01mm)			2 do. Dial	Rc (m)
76+800	54.0	22.0	40	32.93	10.0	71
76+850	68.0	30.0	50	43.92	24.0	71
76+900	32.0	16.0	60	60.00	20.0	260
76+950	64.0	32.0	40	40.00	16.0	65
77+000	48.0	24.0	60	60.00	12.0	87
77+050	60.0	28.0	60	55.77	20.0	78
77+100	64.0	28.0	50	43.57	12.0	60
77+150	72.0	32.0	50	44.24	32.0	78
77+200	60.0	32.0	50	53.80	6.0	58
77+250	60.0	32.0	50	53.80	36.0	130
77+300	82.0	46.0	50	57.19	40.0	74
77+350	68.0	32.0	50	46.87	48.0	156
77+400	38.0	18.0	60	56.63	16.0	142
77+450	48.0	24.0	50	50.00	16.0	98
77+500	60.0	32.0	50	53.80	20.0	78
77+550	64.0	32.0	40	40.00	24.0	78
77+600	48.0	24.0	60	60.00	20.0	112
77+650	48.0	24.0	50	50.00	28.0	156
77+700	64.0	30.0	50	46.69	28.0	87
77+750	52.0	28.0	40	43.53	16.0	87
77+800	104.0	44.0	50	42.50	36.0	46
77+850	34.0	18.0	50	53.33	12.0	142
77+900	76.0	36.0	60	56.63	12.0	49
77+950	64.0	32.0	50	50.00	40.0	130

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**  
**REGISTRO DE CAMPO**  
 Ensayos con Viga Benkelman - CARPETA ASFALTICA

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
 CARRIL Derecho

Carga Eje :  
 Presión :

4100 Kg  
 80 psi

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL									LECTURA 2° DIAL L-25* 0.01 mm	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Asfalto (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500			Amb °C	Asfalto °C	
72+000	0	2	3	5	7	9	10	12	12.5	8	14:44	25	33	7.5
72+100	0	1	2	4	6	7	8	9	9	4.5	14:48	25	35	7.5
72+200	0	3	5	6	8	11	12	13	14	4	14:52	25	35	7.5
72+300	0	3	5	8	11	12	13	15	16	7	14:56	24	35	7.5
72+400	0	3	6	8	10	11	12	13	14	5	15:00	24	34	7.5
72+500	0	4	5	7	8	11	12	13	13	5	15:05	24	34	7.5
72+600	0	5	7	9	11	12	13	15	16	5	15:09	24	34	7.5
72+700	0	0.5	1.5	3	6	9	11	12	13	8	15:13	24	36	7.5
72+800	0	2	3	5	7	9	9.5	10	11.5	4	15:19	24	34	7.5
72+900	0	1	1.5	2	3	4	5	7	10	6	15:21	24	34	7.5
73+000	0	1	3	5	7	8	9	10	11	5	15:25	23	33	7.5
73+100	0	0.5	1	1.5	2	3	3.5	4	5	3	15:28	20	31	7.5
73+200	0	3	5	7	9	11	12	13	14	7	15:32	24	30	7.5
73+300	0	2	4	7	9	11	13	14	15	6	15:36	23	28	7.5
73+400	0	3	5	7	9	10	10.5	11	11.5	4.5	15:40	19	28	7.5
73+500	0	1	3	5	6	6.5	6.5	7	8.5	5	15:44	19	24	7.5
73+600	0	2	3	5	6	7	9	10	11	6	15:48	19	25	7.5
73+700	0	2	4	6	7	9	10	11	14	7	15:53	19	24	7.5
73+800	0	1	3	5	7	8	9	10	11	6	15:58	18	24	7.5
73+900	0	2	3.5	6	8	11	12	14	16	10	16:02	17	24	7.5
74+000	0	3	5	9	12	13	14	16	17	9	16:15	17	25	7.5
74+100	0	2	4	7	9	12	14	15	17	5	16:25	17	25	7.5
74+200	0	2	4	6	8	11	12	14	16	7	16:30	16	25	7.5
74+300	0	2	4	7	9	11	12	14	16	10	16:55	16	26	7.5
74+400	0	2	4	6	9	11	12	13	14	9	16:40	16	25	7.5
74+500	0	1	1.5	2	2.5	3	3	4	6	3	16:45	16	26	7.5
74+600	0	2	4	6.5	8	8.5	9	10	11	8	16:50	16	27	7.5
74+700	0	1	1.5	3	3	3.5	4	4	5	2	16:55	16	25	7.5
74+800	0	1.5	2	3	4	5	6	7	8	6	17:05	16	25	7.5
74+900	0	1	3	5	7	9	11	13	14	5	17:10	15	25	7.5

CUADRO N° A5.9-a

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL										LECTURA 2° DIAL	TEMPERATURAS			Espesor Asfalto (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	L-25° 0.01 mm	Hora	Amb °C	Asfalto °C		
	75+000	0	1	3	5	7	9	11	12	13	5	17:15	15	20	
75+100	0	2	4	7	9	11	12	14	15.5	9	8:45	11	11	7.5	
75+200	0	0.5	1.5	3	5	8	8.5	9	10	4	8:50	11	12	7.5	
75+300	0	0.5	2	4	6	8	10	12	13	6	8:55	11	13	7.5	
75+400	0	0.5	1	3	5	7	9	11	13	2.5	9:00	10	13	7.5	
75+500	0	1	2	4	7	9	10	11	13	8.5	9:05	10	13	7.5	
75+600	0	4	7	9	12	15	16	16.5	17	7	9:16	10	15	7.5	
75+700	0	1	2	2.5	3	4	5	6	6	3	9:22	10	20	7.5	
75+800	0	0.5	2	3	5	6.5	7	8	9	5	9:26	10	12	7.5	
75+900	0	4	6	8	11	13	15	16	17	10	9:30	10	20	7.5	
76+000	0	3	5	7	11	13	15	15.5	16	3	9:34	10	20	7.5	
76+100	0	1	4	7	10	11	12	14	15	7	16:10	22	28	7.5	
76+200	0	4	7	9	11	13	14	16	17	6	16:16	22	26	7.5	
76+300	0	3	5	7	8	11	12	13	14.5	4.5	16:20	21	32	7.5	
76+400	0	2	4	6	7.5	8.5	9	10	11.5	3	16:24	21	32	7.5	
76+500	0	2	4	7	10	11.5	12.5	14	14.5	9	16:28	20	32	7.5	
76+600	0	1	2	3	4	4.5	5	6	7.5	4	16:32	20	31	7.5	
76+700	0	2	4	7	9.5	10	11	12	14.5	4.5	16:37	19	30	7.5	
76+800	0	1	2.5	5	6.5	7	8	9	11.5	5	16:42	18	28	7.5	
76+900	0	1.5	5.5	6	8	9	10	10.5	11.5	7	16:46	18	29	7.5	
77+000	0	4	5	7	12	13	14	15	17	8	16:50	18	27	7.5	
77+100	0	2.5	4	7	9	11	12	13	14.5	7	8:50	20	15	7.5	
77+200	0	3	4	5	7	9	10	12	14	9	8:55	20	18	7.5	
77+300	0	1	2	3	4	7	9	10	14	11	9:08	18	20	7.5	
77+400	0	1	4	7	9	12	14	16	18	6	9:15	17	18	7.5	
77+500	0	1	3	6	8	10	11	13	16	5	9:19	17	20	7.5	
77+600	0	1	3	5	7	9	10	12	14	8	9:23	17	20	7.5	
77+700	0	3	5	7	10	11	12	14	16	10	9:27	16	21	7.5	
77+800	0	1	2	4	6	8	10	12	14	10	9:31	16	22	7.5	
77+900	0	3	5	7	9	11	12	14	16	2.5	9:35	16	22	7.5	

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO  
REGISTRO DE CAMPO**

Ensayos con Viga Benkelman - CARPETA ASFALTICA

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
CARRIL Izquierdo

Carga Eje : 4100 Kg  
Presión : 80 psi

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL									LECTURA 2° DIAL	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Asfalto (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500	L-25* 0.01 mm		Amb °C	Asfalto °C	
72+050	0	2	4	7	10	11	14	15	15.5	8	12:15	28	24	7.5
72+150	0	2	4	8	10	12	12.5	13	13	7	12:10	28	24	7.5
72+250	0	5	6	9	12	14	16	19	21	10	12:00	27	35	7.5
72+350	0	3	6	9	13	15	17	21	25	14	11:52	25	34	7.5
72+450	0	4	6	7	9	12	14	17	22	10	11:45	25	35	7.5
72+550	0	2	5	8	11	13	15	17	22	13	11:35	21	37	7.5
72+650	0	1	1.5	2	3	5	7	9	15	10	11:29	21	34	7.5
72+750	0	0.5	1	1.5	3	4	6	8	16	4	11:25	21	35	7.5
72+850	0	2	4	7	10	12	14	16	22	13	11:18	22	36	7.5
72+950	0	2	3	5	7	10	11	13	16.5	3.5	11:13	22	35	7.5
73+050	0	3	5	8	10	11	11.5	12	13.5	6	11:09	22	32	7.5
73+150	0	2	3	5	7	10	11	13	15	8	11:05	21	32	7.5
73+250	0	1	2	5	9	11	12	14	16.5	10	11:01	24	36	7.5
73+350	0	4	6	8	10	11	12	13	15	6	10:57	24	36	7.5
73+450	0	0.5	1.5	4	7	9	13	14	15	7	10:53	24	32	7.5
73+550	0	1.5	2	4	7	9	12	14	19	8	10:45	21	28	7.5
73+650	0	0.5	2	3	6	8	9	10	12	5	10:40	18	26	7.5
73+750	0	1	2	3	5	6	7	8	10.5	7	10:26	17	26	7.5
73+850	0	1	3	6	8	10	12	14	16.5	10	10:22	10	26	7.5
73+950	0	0.5	1	5	9	11	12	13	15	10.5	10:18	21	29	7.5
74+050	0	0.5	1	4	7	9	10	11	15	10	10:14	21	28	7.5
74+150	0	0.5	2	5	7	9	10	12	16	11	10:10	21	28	7.5
74+250	0	1	2	5	7	9	10	11	16	9	10:05	19	27	7.5
74+350	0	2	5	7	9	10	10	12	14	9	10:01	19	28	7.5
74+450	0	1	1.5	3	6	8	9	11	13	5	9:57	19	26	7.5
74+550	0	1	3	5	6	7	8	9	12	8	9:53	18	28	7.5
74+650	0	1	1.5	2	3	4	5	7	9	4	9:49	16	23	7.5
74+750	0	1	2	4	6	8	10	12	15	7	9:45	19	24	7.5



CUADRO N° A5.10-a

Progresiva (Km)	LECTURAS DEL PRIMER DIAL									LECTURA 2° DIAL L-25* 0.01 mm	Hora	TEMPERATURAS		Espesor Asfalto (cm)
	L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-30 0.01 mm R=30	L-40 0.01 mm R=40	L-50 0.01 mm R=50	L-60 0.01 mm R=70	L-70 0.01 mm R=70	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500			Amb °C	Asfalto °C	
	74+850	0	0.5	1	2	4	5	6	7	9	4.5	9:41	10	12
74+950	0	1	2	3	3.5	4	5	6	7	5	9:37	10	18	7.5
75+050	0	3	5	7	8.5	10	11	13	15	10	15:38	19	28	7.5
75+150	0	1	3	5	8	11	12	13	15.5	10	15:34	20	27	7.5
75+250	0	1	3	6	8	9	10	11	12	7	15:30	20	29	7.5
75+350	0	0.5	1.5	3	6	9	11	13	18	5	15:24	19	27	7.5
75+450	0	1	2	4	6	9	10	13	19	10	15:18	19	27	7.5
75+550	0	1	3	4	6	7	8	9	16	5	15:12	19	28	7.5
75+650	0	1	1.5	2	2.5	3	3	5	8	5.5	15:08	20	29	7.5
75+750	0	2	3	6	8	10	11	13	16	10	15:04	20	28	7.5
75+850	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	5	8	6	15:00	20	29	7.5
75+950	0	2	4	7	10	12	13	13	14	7	14:56	20	29	7.5
76+050	0	2	3	4	5	6	7	8	10	3	14:52	21	30	7.5
76+150	0	2	4	6	8	10	11	12	12	3	14:48	20	31	7.5
76+250	0	2	4	6	8	10	12	14	14.5	9	14:44	20	30	7.5
76+350	0	2	5	7	10	12	13	14	16	7	14:40	21	30	7.5
76+450	0	1	2	4	7	9	10	12	14	10	14:36	20	30	7.5
76+550	0	4	6	9	11	12	14	16	18	11	14:32	21	31	7.5
76+650	0	3	5	9	11	12	13	15	16.5	11	14:27	21	32	7.5
76+750	0	1	2	5	7	9	10	12	15	10	14:23	21	31	7.5
76+850	0	2	4	6	8	9	10	11.5	13	4	14:19	22	32	7.5
76+950	0	1.5	3	6	9	11	12	14	16	9	14:15	22	32	7.5
77+050	0	3	5	7	9	10	11	13	15.5	9	14:11	22	30	7.5
77+150	0	2	5	7	10	12	14	15	17	10	14:06	22	32	7.5
77+250	0	2	4	7	9	10	10.5	11.5	12	2.5	14:02	22	30	7.5
77+350	0	2	4	6	7	9	11	12	16	10.5	13:58	25	30	7.5
77+450	0	3	4	6	9	11	12	14	14.5	8	13:54	24	32	7.5
77+550	0	1	1.5	2	2.5	3	4	6	12	8	13:46	24	31	7.5
77+650	0	2	4	6	8	9	10	12	14.5	9	13:42	27	30	7.5
77+750	0	2	3	5	6	7	9	11	13	9.5	13:33	24	30	7.5
77+850	0	1	1.5	3	5	6	7	8	10	4	13:29	24	31	7.5
77+950	0	3	5	7	11	12	13	13.5	15.5	10	13:25	25	30	7.5

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

Deflexiones Normalizadas Carpeta Asfáltica

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 SECTOR : CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
 CARRIL : Ambos (Tresbolillo)

Carga Eje : 4100 Kg  
 Presión : 80 psi  
 Factor Conversión : 4  
 Factor Estacional : 1

Progresiva (Km)	Temperatura °C	Factor corrección	DEFLEXIONES NORMALIZADAS: ( 0.01 mm)											Espesor Asfalto (cm)
			DK0 R=0	0.5 * DK0 R	DK 25 25	DK 30 30	DK 40 40	DK 50 50	DK 60 60	DK 70 70	DK 100 100	DK 500 500	2° DIAL DK 25	
72+000	33.00	0.9112	45.6	22.8	38.3	34.6	27.3	20.0	12.8	9.1	1.8	0.0	29.2	7.50
72+050	24.00	0.9709	60.2	30.1	52.4	44.7	33.0	21.4	17.5	5.8	1.9	0.0	31.1	7.50
72+100	35.00	0.8989	32.4	16.2	28.8	25.2	18.0	10.8	7.2	3.6	0.0	0.0	16.2	7.50
72+150	24.00	0.9709	50.5	25.2	42.7	35.0	19.4	11.7	3.9	1.9	0.0	0.0	27.2	7.50
72+200	35.00	0.8989	50.3	25.2	39.6	32.4	28.8	21.6	10.8	7.2	3.6	0.0	14.4	7.50
72+250	35.00	0.8989	75.5	37.8	57.5	53.9	43.1	32.4	25.2	18.0	7.2	0.0	36.0	7.50
72+300	35.00	0.8989	57.5	28.8	46.7	39.6	28.8	18.0	14.4	10.8	3.6	0.0	25.2	7.50
72+350	34.00	0.9050	90.5	45.2	79.6	68.8	57.9	43.4	36.2	29.0	14.5	0.0	50.7	7.50
72+400	34.00	0.9050	50.7	25.3	39.8	29.0	21.7	14.5	10.9	7.2	3.6	0.0	18.1	7.50
72+450	35.00	0.8989	79.1	39.6	64.7	57.5	53.9	46.7	36.0	28.8	18.0	0.0	36.0	7.50
72+500	34.00	0.9050	47.1	23.5	32.6	29.0	21.7	18.1	7.2	3.6	0.0	0.0	18.1	7.50
72+550	37.00	0.8869	78.0	39.0	71.0	60.3	49.7	39.0	31.9	24.8	17.7	0.0	46.1	7.50
72+600	34.00	0.9050	57.9	29.0	39.8	32.6	25.3	18.1	14.5	10.9	3.6	0.0	18.1	7.50
72+650	34.00	0.9050	54.3	27.1	50.7	48.9	47.1	43.4	36.2	29.0	21.7	0.0	36.2	7.50
72+700	36.00	0.8929	46.4	23.2	44.6	41.1	35.7	25.0	14.3	7.1	3.6	0.0	28.6	7.50
72+750	35.00	0.8989	57.5	28.8	55.7	53.9	52.1	46.7	43.1	36.0	28.8	0.0	14.4	7.50
72+800	34.00	0.9050	41.6	20.8	34.4	30.8	23.5	16.3	9.0	7.2	5.4	0.0	14.5	7.50
72+850	36.00	0.8929	78.6	39.3	71.4	64.3	53.6	42.9	35.7	28.6	21.4	0.0	46.4	7.50
72+900	34.00	0.9050	36.2	18.1	32.6	30.8	29.0	25.3	21.7	18.1	10.9	0.0	21.7	7.50
72+950	35.00	0.8989	59.3	29.7	52.1	48.5	41.3	34.2	23.4	19.8	12.6	0.0	12.6	7.50
73+000	33.00	0.9112	40.1	20.0	36.4	29.2	21.9	14.6	10.9	7.3	3.6	0.0	18.2	7.50
73+050	32.00	0.9174	49.5	24.8	38.5	31.2	20.2	12.8	9.2	7.3	5.5	0.0	22.0	7.50
73+100	31.00	0.9238	18.5	9.2	16.6	14.8	12.9	11.1	7.4	5.5	3.7	0.0	11.1	7.50
73+150	32.00	0.9174	55.0	27.5	47.7	44.0	36.7	29.4	18.3	14.7	7.3	0.0	29.4	7.50
73+200	30.00	0.9302	52.1	26.0	40.9	33.5	26.0	18.6	11.2	7.4	3.7	0.0	26.0	7.50
73+250	36.00	0.8929	58.9	29.5	55.4	51.8	41.1	26.8	19.6	16.1	8.9	0.0	35.7	7.50
73+300	28.00	0.9434	56.6	28.3	49.1	41.5	30.2	22.6	15.1	7.5	3.8	0.0	22.6	7.50
73+350	36.00	0.8929	53.6	26.8	39.3	32.1	25.0	17.9	14.3	10.7	7.1	0.0	21.4	7.50

CUADRO N° A5.11-a

Progresiva (Km)	Temperatura °C	Factor corrección	DEFLEXIONES NORMALIZADAS ( 0.01 mm)											Espesor Asfalto (cm)
			DK0 R=0	0.5* DK0 R	DK 25 25'	DK 30 30'	DK 40 40'	DK 50 50'	DK 60 60'	DK 70 70'	DK 100 100'	DK 500 500'	2º DIAL DK 25	
73+400	28.00	0.9434	43.4	21.7	32.1	24.5	17.0	9.4	5.7	3.8	1.9	0.0	17.0	7.50
73+450	32.00	0.9174	55.0	27.5	53.2	49.5	40.4	29.4	22.0	7.3	3.7	0.0	25.7	7.50
73+500	24.00	0.9709	33.0	16.5	29.1	21.4	13.6	9.7	7.8	7.8	5.8	0.0	19.4	7.50
73+550	28.00	0.9434	71.7	35.8	66.0	64.2	56.6	45.3	37.7	26.4	18.9	0.0	30.2	7.50
73+600	25.00	0.9639	42.4	21.2	34.7	30.8	23.1	19.3	15.4	7.7	3.9	0.0	23.1	7.50
73+650	26.00	0.9569	45.9	23.0	44.0	38.3	34.4	23.0	15.3	11.5	7.7	0.0	19.1	7.50
73+700	24.00	0.9709	54.4	27.2	46.6	38.8	31.1	27.2	19.4	15.5	11.7	0.0	27.2	7.50
73+750	26.00	0.9569	40.2	20.1	36.4	32.5	28.7	21.1	17.2	13.4	9.6	0.0	26.8	7.50
73+800	24.00	0.9709	42.7	21.4	38.8	31.1	23.3	15.5	11.7	7.8	3.9	0.0	23.3	7.50
73+850	26.00	0.9569	63.2	31.6	59.3	51.7	40.2	32.5	24.9	17.2	9.6	0.0	38.3	7.50
73+900	24.00	0.9709	62.1	31.1	54.4	48.5	38.8	31.1	19.4	15.5	7.8	0.0	38.8	7.50
73+950	29.00	0.9368	56.2	28.1	54.3	52.5	37.5	22.5	15.0	11.2	7.5	0.0	39.3	7.50
74+000	25.00	0.9639	65.5	32.8	54.0	46.3	30.8	19.3	15.4	11.6	3.9	0.0	34.7	7.50
74+050	28.00	0.9434	56.6	28.3	54.7	52.8	41.5	30.2	22.6	18.9	15.1	0.0	37.7	7.50
74+100	25.00	0.9639	65.5	32.8	57.8	50.1	38.6	30.8	19.3	11.6	7.7	0.0	19.3	7.50
74+150	28.00	0.9434	60.4	30.2	58.5	52.8	41.5	34.0	26.4	22.6	15.1	0.0	41.5	7.50
74+200	25.00	0.9639	61.7	30.8	54.0	46.3	38.6	30.8	19.3	15.4	7.7	0.0	27.0	7.50
74+250	27.00	0.9501	60.8	30.4	57.0	53.2	41.8	34.2	26.6	22.8	19.0	0.0	34.2	7.50
74+300	26.00	0.9569	61.2	30.6	53.6	45.9	34.4	26.8	19.1	15.3	7.7	0.0	38.3	7.50
74+350	28.00	0.9434	52.8	26.4	45.3	34.0	26.4	18.9	15.1	15.1	7.5	0.0	34.0	7.50
74+400	25.00	0.9639	54.0	27.0	46.3	38.6	30.8	19.3	11.6	7.7	3.9	0.0	34.7	7.50
74+450	26.00	0.9569	49.8	24.9	45.9	44.0	38.3	26.8	19.1	15.3	7.7	0.0	19.1	7.50
74+500	26.00	0.9569	23.0	11.5	19.1	17.2	15.3	13.4	11.5	11.5	7.7	0.0	11.5	7.50
74+550	28.00	0.9434	45.3	22.6	41.5	34.0	26.4	22.6	18.9	15.1	11.3	0.0	30.2	7.50
74+600	27.00	0.9501	41.8	20.9	34.2	26.6	17.1	11.4	9.5	7.6	3.8	0.0	30.4	7.50
74+650	23.00	0.9780	35.2	17.6	31.3	29.3	27.4	23.5	19.6	15.6	7.8	0.0	15.6	7.50
74+700	25.00	0.9639	19.3	9.6	15.4	13.5	7.7	7.7	5.8	3.9	3.9	0.0	7.7	7.50
74+750	24.00	0.9709	58.3	29.1	54.4	50.5	42.7	35.0	27.2	19.4	11.7	0.0	27.2	7.50
74+800	25.00	0.9639	30.8	15.4	25.1	23.1	19.3	15.4	11.6	7.7	3.9	0.0	23.1	7.50
74+850	12.00	1.0638	38.3	19.1	36.2	34.0	29.8	21.3	17.0	12.8	8.5	0.0	19.1	7.50
74+900	25.00	0.9639	54.0	27.0	50.1	42.4	34.7	27.0	19.3	11.6	3.9	0.0	19.3	7.50
74+950	18.00	1.0152	28.4	14.2	24.4	20.3	16.2	14.2	12.2	8.1	4.1	0.0	20.3	7.50
75+000	20.00	1.0000	52.0	26.0	48.0	40.0	32.0	24.0	16.0	8.0	4.0	0.0	20.0	7.50
75+050	28.00	0.9434	56.6	28.3	45.3	37.7	30.2	24.5	18.9	15.1	7.5	0.0	37.7	7.50
75+100	11.00	1.0724	66.5	33.2	57.9	49.3	36.5	27.9	19.3	15.0	6.4	0.0	38.6	7.50
75+150	27.00	0.9501	58.9	29.5	55.1	47.5	39.9	28.5	17.1	13.3	9.5	0.0	38.0	7.50
75+200	12.00	1.0638	42.6	21.3	40.4	36.2	29.8	21.3	8.5	6.4	4.3	0.0	17.0	7.50
75+250	29.00	0.9368	45.0	22.5	41.2	33.7	22.5	15.0	11.2	7.5	3.7	0.0	26.2	7.50

CUADRO N° A5.11-c

Progresiva (Km)	Temperatura °C	Factor corrección	DEFLEXIONES NORMALIZADAS ( 0.01 mm)											Espesor Asfalto (cm)
			DK0 R=0	0.5 DK0 R	DK 25 25	DK 30 30	DK 40 40	DK 50 50	DK 60 60	DK 70 70	DK 100 100	DK 500 500	2° DIAL DK 25	
77+200	18.00	1.0152	56.9	28.4	44.7	40.6	36.5	28.4	20.3	16.2	8.1	0.0	36.5	7.50
77+250	30.00	0.9302	44.7	22.3	37.2	29.8	18.6	11.2	7.4	5.6	1.9	0.0	9.3	7.50
77+300	20.00	1.0000	56.0	28.0	52.0	48.0	44.0	40.0	28.0	20.0	16.0	0.0	44.0	7.50
77+350	30.00	0.9302	59.5	29.8	52.1	44.7	37.2	33.5	26.0	18.6	14.9	0.0	39.1	7.50
77+400	18.00	1.0152	73.1	36.5	69.0	56.9	44.7	36.5	24.4	16.2	8.1	0.0	24.4	7.50
77+450	32.00	0.9174	53.2	26.6	42.2	38.5	31.2	20.2	12.8	9.2	1.8	0.0	29.4	7.50
77+500	20.00	1.0000	64.0	32.0	60.0	52.0	40.0	32.0	24.0	20.0	12.0	0.0	20.0	7.50
77+550	31.00	0.9238	44.3	22.2	40.6	38.8	37.0	35.1	33.3	29.6	22.2	0.0	29.6	7.50
77+600	20.00	1.0000	56.0	28.0	52.0	44.0	36.0	28.0	20.0	16.0	8.0	0.0	32.0	7.50
77+650	30.00	0.9302	54.0	27.0	46.5	39.1	31.6	24.2	20.5	16.7	9.3	0.0	33.5	7.50
77+700	21.00	0.9926	63.5	31.8	51.6	43.7	35.7	23.8	19.9	15.9	7.9	0.0	39.7	7.50
77+750	30.00	0.9302	48.4	24.2	40.9	37.2	29.8	26.0	22.3	14.9	7.4	0.0	35.3	7.50
77+800	22.00	0.9852	55.2	27.6	51.2	47.3	39.4	31.5	23.6	15.8	7.9	0.0	39.4	7.50
77+850	31.00	0.9238	37.0	18.5	33.3	31.4	25.9	18.5	14.8	11.1	7.4	0.0	14.8	7.50
77+900	22.00	0.9852	63.1	31.5	51.2	43.3	35.5	27.6	19.7	15.8	7.9	0.0	9.9	7.50
77+950	30.00	0.9302	57.7	28.8	46.5	39.1	31.6	16.7	13.0	9.3	7.4	0.0	37.2	7.50

CUADRO N° A5.12

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

Datos para CARPETA

OBRA : CARRETERA CUSCO - JULIACA - DESAGUADERO  
 SECTOR CUSCO (SAN JERONIMO) - COMBAPATA  
 CARRIL Ambos (Tresbolillo)

Estacion (Km)	Deflexiones Normalizadas		R (cm)	R5	Dk25 (0.01 mm)	Radio curvatura
	DKO (0.01 mm)*	DKR (0.01mm)			2 do. Dial	Rc (m)
72+000	45.6	20.0	50	43.81	29.2	191
72+050	60.2	33.0	40	44.49	31.1	107
72+100	32.4	18.0	40	45.20	16.2	193
72+150	50.5	19.4	40	31.45	27.2	134
72+200	50.3	21.6	50	42.71	14.4	87
72+250	75.5	32.4	50	42.71	36.0	79
72+300	57.5	28.8	40	40.00	25.2	97
72+350	90.5	43.4	50	47.85	50.7	78
72+400	50.7	21.7	40	34.17	18.1	96
72+450	79.1	36.0	60	54.30	36.0	72
72+500	47.1	21.7	40	36.76	18.1	108
72+550	78.0	39.0	50	50.00	46.1	98
72+600	57.9	25.3	40	34.85	18.1	78
72+650	54.3	29.0	70	75.31	36.2	173
72+700	46.4	25.0	50	54.41	28.6	175
72+750	57.5	28.8	100	100.00	14.4	72
72+800	41.6	23.5	40	46.19	14.5	115
72+850	78.6	42.9	50	55.25	46.4	97
72+900	36.2	18.1	70	70.00	21.7	216
72+950	59.3	34.2	50	59.11	12.6	67
73+000	40.1	21.9	40	44.20	18.2	143
73+050	49.5	20.2	40	32.93	22.0	114
73+100	18.5	7.4	60	48.66	11.1	423
73+150	55.0	29.4	50	53.80	29.4	122
73+200	52.1	26.0	40	40.00	26.0	120
73+250	58.9	26.8	50	45.25	35.7	135
73+300	56.6	30.2	40	43.04	22.6	92
73+350	53.6	25.0	40	37.18	21.4	97
73+400	43.4	24.5	30	34.64	17.0	118
73+450	55.0	29.4	50	53.80	25.7	106
73+500	33.0	13.6	40	33.22	19.4	230
73+550	71.7	37.7	60	63.57	30.2	75
73+600	42.4	19.3	50	45.25	23.1	162
73+650	45.9	23.0	50	50.00	19.1	117
73+700	54.4	27.2	50	50.00	27.2	115
73+750	40.2	21.1	50	52.68	26.8	233
73+800	42.7	23.3	40	44.20	23.3	161
73+850	63.2	32.5	50	51.69	38.3	126
73+900	62.1	31.1	50	50.00	38.8	134
73+950	56.2	22.5	50	40.55	39.3	185
74+000	65.5	30.8	40	37.50	34.7	101
74+050	56.6	30.2	50	53.80	37.7	166
74+100	65.5	30.8	50	46.87	19.3	68
74+150	60.4	34.0	50	57.38	41.5	166
74+200	61.7	30.8	50	50.00	27.0	90
74+250	60.8	26.6	60	52.28	34.2	117
74+300	61.2	26.8	50	43.57	38.3	136

CUADRO Nº A5.11-a

Estacion (Km)	Deflexiones Normalizadas		R (cm)	R5	Dk25 (0.01 mm)	Radio curvatura
	DKO (0.01 mm)*	DKR (0.01mm)			2 do. Dial	Rc (m)
74+350	52.8	26.4	40	40.00	34.0	166
74+400	54.0	30.8	40	46.83	34.7	162
74+450	49.8	26.8	50	54.41	19.1	102
74+500	23.0	11.5	70	70.00	11.5	272
74+550	45.3	22.6	50	50.00	30.2	207
74+600	41.8	17.1	40	33.04	30.4	274
74+650	35.2	15.6	70	61.94	15.6	160
74+700	19.3	7.7	40	32.44	7.7	270
74+750	58.3	27.2	60	55.77	27.2	101
74+800	30.8	15.4	50	50.00	23.1	405
74+850	38.3	17.0	60	53.09	19.1	163
74+900	54.0	27.0	50	50.00	19.3	90
74+950	28.4	14.2	50	50.00	20.3	385
75+000	52.0	24.0	50	45.95	20.0	98
75+050	56.6	30.2	40	43.04	37.7	166
75+100	66.5	36.5	40	44.49	38.6	112
75+150	58.9	28.5	50	48.26	38.0	150
75+200	42.6	21.3	50	50.00	17.0	122
75+250	45.0	22.5	40	40.00	26.2	167
75+300	54.9	29.6	50	54.41	25.3	106
75+350	68.4	34.2	60	60.00	19.0	63
75+400	54.9	25.3	60	55.14	10.6	70
75+450	72.2	34.2	70	66.07	38.0	91
75+500	54.9	25.3	50	45.95	35.9	164
75+550	60.4	30.2	70	70.00	18.9	75
75+600	70.6	33.2	40	37.50	29.1	75
75+650	30.0	18.7	70	92.61	20.6	334
75+700	24.0	12.0	50	50.00	12.0	260
75+750	60.4	30.2	50	50.00	37.7	138
75+800	38.3	17.0	50	44.24	21.3	184
75+850	30.0	16.9	70	80.34	22.5	417
75+900	68.0	36.0	40	42.67	40.0	112
75+950	52.5	26.2	40	40.00	26.2	119
76+000	64.0	36.0	40	45.91	12.0	60
76+050	37.2	18.6	50	50.00	11.2	120
76+100	56.6	30.2	40	43.04	26.4	104
76+150	44.3	22.2	40	40.00	11.1	94
76+200	65.1	30.6	40	37.50	23.0	74
76+250	54.0	24.2	50	44.62	33.5	153
76+300	53.2	27.5	40	41.54	16.5	85
76+350	59.5	33.5	40	45.91	26.0	93
76+400	42.2	20.2	40	38.14	11.0	100
76+450	52.1	26.0	50	50.00	37.2	210
76+500	53.2	27.5	40	41.54	33.0	155
76+550	66.5	33.3	40	40.00	40.6	121
76+600	27.7	12.9	50	46.47	14.8	242
76+650	60.6	27.5	40	36.20	40.4	155
76+700	54.0	27.9	40	41.54	16.7	84
76+750	55.4	29.6	50	53.80	37.0	169
76+800	43.4	18.9	50	43.30	18.9	127
76+850	47.7	25.7	40	43.53	14.7	95
76+900	43.1	22.5	30	31.47	26.2	185
76+950	58.7	25.7	50	43.57	33.0	122
77+000	64.6	38.0	40	48.63	30.4	91

CUADRO N° A5.12

RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE SUBBASE

Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
1	72+000	32	16	30	13.5	1754.2	24.7	15.9	1932.8	1.1	35.08
2	72+050	64	28	34.9	16.7	783.1	11	7.1	1076.1	1.3	37.09
3	72+100	52	24	36.8	17.9	923.5	13	8.3	1379.1	1.4	38.01
4	72+150	106	62	48.3	25.1	357.1	5	3.2	854.2	2.3	44.86
5	72+200	68	32	46.9	24.3	575	8.1	5.2	1292.4	2.2	44.2
6	72+250	84	36	42.7	21.7	502.6	7.1	4.5	973.9	1.9	42.09
7	72+300	28	16	70.2	38.6	952.3	13.4	8.6	4923.5	5.1	58.49
8	72+350	108	64	86	48.1	204.7	2.9	1.8	1656.7	8	67.96
9	72+400	88	40	36.2	17.6	547.7	7.7	4.9	810.1	1.4	38.01
10	72+450	112	56	40	20	398.9	5.6	3.6	688.2	1.7	40.56
11	72+500	82	38	27.7	11.9	707.1	10	6.4	722.3	1	33.98
12	72+550	96	44	45.6	23.5	416.1	5.9	3.7	892.4	2.1	43.52
13	72+600	92	44	47.7	24.8	416.4	5.9	3.7	973.3	2.3	44.86
14	72+650	96	44	45.6	23.5	416.1	5.9	3.7	892.4	2.1	43.52
15	72+700	78	38	48.6	25.3	481.5	6.8	4.3	1169.5	2.4	45.5
16	72+750	120	64	43	21.9	348.6	4.9	3.1	685.6	1.9	42.09
17	72+800	100	56	34.2	16.3	506.6	7.1	4.6	680.9	1.3	37.09
18	72+850	66	30	45.2	23.3	610.5	8.6	5.5	1289.1	2.1	43.52
19	72+900	80	36	35.8	17.3	612.9	8.6	5.5	878.7	1.4	38.01
20	72+950	26	12	45.9	23.7	1523.5	21.5	13.8	3317.9	2.1	43.52
21	73+000	56	28	40	20	797.8	11.3	7.2	1376.4	1.7	40.56
22	73+050	104	48	36.8	17.9	461.8	6.5	4.1	689.6	1.4	38.01
23	73+100	64	32	40	20	698.1	9.8	6.3	1204.4	1.7	40.56
24	73+150	92	44	38.1	18.8	503.5	7.1	4.5	808.2	1.6	39.75
25	73+200	68	40	36.5	17.7	714.2	10.1	6.4	1045	1.4	38.01
26	73+250	84	40	47.5	24.6	459.8	6.5	4.1	1058.1	2.3	44.86
27	73+300	64	32	40	20	698.1	9.8	6.3	1204.4	1.7	40.56
28	73+350	32	12	38.6	19.1	1443.4	20.4	13.1	2335.9	1.6	39.75
29	73+400	96	48	40	20	465.4	6.6	4.2	802.9	1.7	40.56
30	73+450	56	28	40	20	797.8	11.3	7.2	1376.4	1.7	40.56
31	73+500	76	40	42.4	21.5	560.7	7.9	5	1064.5	1.8	41.34
32	73+550	140	80	58.5	31.4	226.4	3.2	2	792.6	3.5	51.59
33	73+600	100	52	41.8	21.1	428.8	6.1	3.8	802.8	1.8	41.34
34	73+650	56	28	60	32.3	556.5	7.9	5	2025	3.6	52.08
35	73+700	92	52	46.2	23.8	428.7	6	3.8	945	2.2	44.2
36	73+750	76	44	47.6	24.7	506.1	7.1	4.6	1173.8	2.3	44.86

CUADRO N° A5.12-a

RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE SUBBASE

Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm.	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E*	E*/E0	HEQ (cm)
37	73+800	68	32	46.9	24.3	575	8.1	5.2	1292.4	2.2	44.2
38	73+850	92	44	47.7	24.8	416.4	5.9	3.7	973.3	2.3	44.86
39	73+900	50	26	41.8	21.1	857.7	12.1	7.7	1605.6	1.8	41.34
40	73+950	64	32	60	32.3	487	6.9	4.4	1771.9	3.6	52.08
41	74+000	60	28	65.1	35.4	479.3	6.8	4.3	2089.2	4.3	55.26
42	74+050	64	32	50	26.2	573.4	8.1	5.2	1468	2.5	46.12
43	74+100	68	36	42.7	21.7	620.9	8.8	5.6	1203.1	1.9	42.09
44	74+150	36	16	53.1	28.1	961.6	13.6	8.7	2775.8	2.8	47.9
45	74+200	46	22	47.7	24.8	832.8	11.8	7.5	1946.6	2.3	44.86
46	74+250	80	44	33.5	15.8	644.3	9.1	5.8	837	1.2	36.11
47	74+300	60	28	55.8	29.7	552.2	7.8	5	1756.7	3.1	49.55
48	74+350	64	36	34.4	16.4	786.7	11.1	7.1	1069	1.3	37.09
49	74+400	100	44	35	16.8	498.2	7	4.5	692	1.3	37.09
50	74+450	80	48	124.9	71.6	193.5	2.7	1.7	3885.5	20	92.24
51	74+500	80	36	35.8	17.3	612.9	8.6	5.5	878.7	1.4	38.01
52	74+550	92	40	34.6	16.6	548.1	7.7	4.9	745	1.3	37.09
53	74+600	88	52	36.7	17.9	545.7	7.7	4.9	814.9	1.4	38.01
54	74+650	68	28	33.2	15.6	767.7	10.8	6.9	975.1	1.2	36.11
55	74+700	28	14	70	38.4	957.3	13.5	8.7	4891.7	5.1	58.49
56	74+750	44	20	36.2	17.6	1095.4	15.5	9.9	1620.1	1.4	38.01
57	74+800	58	30	26	10.6	1030.2	14.5	9.3	981.9	0.9	32.81
58	74+850	84	40	38	18.7	554.4	7.8	5	881.3	1.5	38.9
59	74+900	76	36	37.8	18.6	616.1	8.7	5.6	969.8	1.5	38.9
60	74+950	98	46	37.4	18.3	485.6	6.9	4.4	742.2	1.5	38.9
61	75+000	68	32	37.5	18.4	696.1	9.8	6.3	1074.4	1.5	38.9
62	75+050	14	6	51.2	27	2573.3	36.3	23.3	6854.3	2.6	46.73
63	75+100	20	8	56.8	30.4	1637.1	23.1	14.8	5353.7	3.2	50.08
64	75+150	60	32	43	21.9	697.2	9.8	6.3	1371.1	1.9	42.09
65	75+200	28	12	42.7	21.7	1507.8	21.3	13.7	2921.8	1.9	42.09
66	75+250	52	24	36.8	17.9	923.5	13	8.3	1379.1	1.4	38.01
67	75+300	72	36	40	20	620.5	8.8	5.6	1070.5	1.7	40.56
68	75+350	76	32	42.3	21.4	563.3	7.9	5.1	1060.6	1.8	41.34
69	75+400	22	10	54.3	28.8	1553.1	21.9	14.1	4616.6	2.9	48.46
70	75+450	40	20	50	26.2	917.4	12.9	8.3	2348.9	2.5	46.12
71	75+500	68	30	52.7	27.9	512.7	7.2	4.6	1458.8	2.8	47.9
72	75+550	76	40	42.4	21.5	560.7	7.9	5	1064.5	1.8	41.34



CUADRO N° A5.12-b  
 RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE SUBBASE

Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
77	75+800	52	24	27.6	11.8	1124.4	15.9	10.2	1132.4	1	33.98
78	75+850	40	20	40	20	1116.9	15.8	10.1	1927	1.7	40.56
79	75+900	78	34	43.4	22.1	531.5	7.5	4.8	1061.3	1.9	42.09
80	75+950	84	48	46.8	24.2	461.8	6.5	4.1	1050.9	2.2	44.2
81	76+000	68	32	37.5	18.4	696.1	9.8	6.3	1074.4	1.5	38.9
82	76+050	48	20	41.9	21.2	889.2	12.5	8	1678.8	1.8	41.34
83	76+100	52	28	43.5	22.2	803.4	11.3	7.3	1592.9	1.9	42.09
84	76+150	64	32	30	13.5	877.1	12.4	7.9	966.4	1.1	35.08
85	76+200	80	40	30	13.5	701.7	9.9	6.3	773.1	1.1	35.08
86	76+250	80	44	27.9	12	730.5	10.3	6.6	739	1	33.98
87	76+300	68	32	37.5	18.4	696.1	9.8	6.3	1074.4	1.5	38.9
88	76+350	68	36	32	14.8	786.7	11.1	7.1	951.3	1.2	36.11
89	76+400	48	24	50	26.2	764.5	10.8	6.9	1957.4	2.5	46.12
90	76+450	76	32	33.9	16.1	674.8	9.5	6.1	887.3	1.3	37.09
91	76+500	78	42	43.5	22.2	535.6	7.6	4.8	1061.9	1.9	42.09
92	76+550	48	28	36.1	17.5	1009.9	14.2	9.1	1478.2	1.4	38.01
93	76+600	64	32	40	20	698.1	9.8	6.3	1204.4	1.7	40.56
94	76+650	56	28	30	13.5	1002.4	14.1	9.1	1104.4	1.1	35.08
95	76+700	64	32	40	20	698.1	9.8	6.3	1204.4	1.7	40.56
96	76+750	64	32	40	20	698.1	9.8	6.3	1204.4	1.7	40.56
97	76+800	60	28	46.5	24	651.9	9.2	5.9	1460.1	2.2	44.2
98	76+850	88	40	36.2	17.6	547.7	7.7	4.9	810.1	1.4	38.01
99	76+900	60	32	53.8	28.5	575.5	8.1	5.2	1674.5	2.9	48.46
100	76+950	74	34	45.7	23.6	537.6	7.6	4.8	1161.7	2.1	43.52
101	77+000	60	28	46.5	24	651.9	9.2	5.9	1460.1	2.2	44.2
102	77+050	62	34	55.6	29.6	536.2	7.6	4.8	1693.9	3.1	49.55
103	77+100	40	20	40	20	1116.9	15.8	10.1	1927	1.7	40.56
104	77+150	32	16	50	26.2	1146.7	16.2	10.4	2936.1	2.5	46.12
105	77+200	78	34	43.4	22.1	531.5	7.5	4.8	1061.3	1.9	42.09
106	77+250	72	40	45.2	23.2	562	7.9	5.1	1177.5	2	42.81
107	77+300	60	28	46.5	24	651.9	9.2	5.9	1460.1	2.2	44.2
108	77+350	92	44	47.7	24.8	416.4	5.9	3.7	973.3	2.3	44.86
109	77+400	82	38	46.1	23.8	481	6.8	4.3	1060.3	2.2	44.2
110	77+450	140	64	36.4	17.7	346.9	4.9	3.1	507.6	1.4	38.01
111	77+500	50	22	87.6	49.1	433.1	6.1	3.9	3682.4	8.5	69.35
112	77+550	72	32	53.1	28.1	480.8	6.8	4.3	1387.9	2.8	47.9

CUADRO N° A5.12-c

RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE SUBBASE

Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
113	77+600	44	24	77.4	42.9	557.3	7.9	5	3506.6	6.2	62.43
114	77+650	18	8	35.4	17.1	2756	38.9	25	3869	1.4	38.01
115	77+700	70	38	54.9	29.2	481.4	6.8	4.3	1471.9	3	49.01
116	76+750	66	30	45.2	23.3	610.5	8.6	5.5	1289.1	2.1	43.52
117	77+800	114	46	40.8	20.5	387.2	5.5	3.5	685.1	1.7	40.56
118	77+850	58	30	62.3	33.7	515	7.3	4.6	2051.7	3.9	53.49
119	77+900	88	40	36.2	17.6	547.7	7.7	4.9	810.1	1.4	38.01
120	77+950	56	28	40	20	797.8	11.3	7.2	1376.4	1.7	40.56

Prom R5	Prom L0	Prom E0	Prom Mr	Prom E*	Prom E*/E0	Prom HEQ
44.7	22.8	716.0	10.1	1524.6	2.3	43.2

CUADRO N° A5.13

RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE BASE GRANULAR

Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
15	72+000	68	36	32	14.8	786.7	11.1	7.1	934.9	1.1	45.81
16	72+050	32	14	34.9	16.7	1566.2	22.1	14.2	2072.8	1.3	48.44
17	72+100	58	26	44.6	22.9	698.3	9.9	6.3	1316.5	1.8	53.99
18	72+150	32	16	25	9.8	1875.5	26.5	17	1793.5	0.9	42.85
19	72+200	54	26	28.8	12.7	1055.5	14.9	9.5	1125.5	1	44.38
20	72+250	36	16	35.4	17.1	1378	19.4	12.5	1856.7	1.3	48.44
21	72+300	60	24	32.4	15.1	886.4	12.5	8	1065.2	1.2	47.16
22	72+350	48	24	60	32.3	649.3	9.2	5.9	1935.8	2.9	63.29
23	72+400	46	22	38.1	18.8	1007.1	14.2	9.1	1514.9	1.5	50.8
24	72+450	60	32	43	21.9	697.2	9.8	6.3	1246.2	1.7	52.97
25	72+500	56	24	42.7	21.7	753.9	10.6	6.8	1328.2	1.7	52.97
26	72+550	14	6	42.7	21.7	3015.7	42.5	27.4	5312.8	1.7	52.97
27	72+600	34	18	53.3	28.2	1014.5	14.3	9.2	2513.8	2.4	59.42
28	72+650	62	34	33.4	15.7	836.6	11.8	7.6	1046.3	1.2	47.16
29	72+700	44	22	40	20	1015.4	14.3	9.2	1623.8	1.5	50.8
30	72+750	40	16	32.4	15.1	1329.6	18.8	12	1597.8	1.2	47.16
31	72+800	40	16	32.4	15.1	1329.6	18.8	12	1597.8	1.2	47.16
32	72+850	50	22	43.8	22.4	828.1	11.7	7.5	1507.6	1.8	53.99
33	72+900	48	20	50.3	26.4	758.7	10.7	6.8	1707.2	2.2	57.72
34	72+950	26	14	32.6	15.3	2018.7	28.5	18.3	2474.3	1.2	47.16
35	73+000	60	32	43	21.9	697.2	9.8	6.3	1246.2	1.7	52.97
36	73+050	44	24	44.2	22.6	932.7	13.2	8.4	1722	1.8	53.99
37	73+100	50	22	35	16.8	996.4	14.1	9	1330.8	1.3	48.44
38	73+150	56	24	34.2	16.3	904.6	12.8	8.2	1175.2	1.2	47.16
39	73+200	34	14	49.8	26.1	1083.4	15.3	9.8	2393.2	2.2	57.72
40	73+250	32	12	30.8	14.1	1704.6	24.1	15.4	1958.5	1.1	45.81
41	73+300	72	40	33.9	16.1	712.3	10	6.4	908.3	1.2	47.16
42	73+350	34	18	42.7	21.7	1241.8	17.5	11.2	2187.6	1.7	52.97
43	73+400	48	24	50	26.2	764.5	10.8	6.9	1699.2	2.2	57.72
44	73+450	60	32	43	21.9	697.2	9.8	6.3	1246.2	1.7	52.97
45	73+500	30	14	37.2	18.2	1574.4	22.2	14.3	2292.8	1.4	49.65
46	73+550	86	42	58.5	31.4	368.6	5.2	3.3	1064.2	2.8	62.55
47	73+600	74	34	36.6	17.8	652.6	9.2	5.9	918.4	1.4	49.65
48	73+650	18	8	53.1	28.1	1923.1	27.1	17.4	4736.6	2.4	59.42
49	73+700	56	28	60	32.3	556.5	7.9	5	1659.2	2.9	63.29

CUADRO N° A5.13-a

RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE BASE GRANULAR

Pt.	Km.	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mf Ksi	CBR (%)	E Kg/cm2	E/E0	HEQ (cm)
50	73+750	44	20	45.2	23.3	915.7	12.9	8.3	1744.4	1.9	54.97
51	73+800	28	12	51.2	27	1286.7	18.2	11.6	2963.1	2.3	58.58
52	73+850	60	32	64.6	35.1	483.4	6.8	4.3	1642.3	3.3	66.08
53	73+900	64	28	52.3	27.6	550.7	7.8	5	1315.8	2.3	58.58
54	73+950	104	52	50	26.2	352.8	5	3.2	784.2	2.2	57.72
55	74+000	60	28	46.5	24	651.9	9.2	5.9	1302.5	1.9	54.97
56	74+050	68	36	42.7	21.7	620.9	8.8	5.6	1093.8	1.7	52.97
57	74+100	56	24	34.2	16.3	904.6	12.8	8.2	1175.2	1.2	47.16
58	74+150	54	26	48	25	703.8	9.9	6.3	1475.1	2	55.92
59	74+200	48	20	41.9	21.2	889.2	12.5	8	1536.6	1.7	52.97
60	74+250	76	32	25.4	10.1	795.7	11.2	7.2	757.5	0.9	42.85
61	74+300	44	24	77.4	42.9	557.3	7.9	5	2615.4	4.6	73.81
62	74+350	80	40	30	13.5	701.7	9.9	6.3	770.9	1	44.38
63	74+400	90	50	45.2	23.2	449.6	6.3	4	850.7	1.8	53.99
64	74+450	80	40	40	20	558.5	7.9	5	893.1	1.5	50.8
65	74+500	58	28	48.1	25.1	652.6	9.2	5.9	1376.7	2.1	56.83
66	74+550	60	32	43	21.9	697.2	9.8	6.3	1246.2	1.7	52.97
67	74+600	44	20	36.2	17.6	1095.4	15.5	9.9	1542.6	1.4	49.65
68	74+650	20	10	100	56.6	959.2	13.5	8.7	7440.5	7.7	87.64
69	74+700	48	22	36.5	17.8	1006.1	14.2	9.1	1415.8	1.4	49.65
70	74+750	44	24	33.2	15.6	1186.4	16.7	10.7	1469.5	1.2	47.16
71	74+800	48	28	48.1	25	791.7	11.2	7.1	1659.5	2	55.92
72	74+850	64	28	34.9	16.7	783.1	11	7.1	1036.4	1.3	48.44
73	74+900	66	30	36.2	17.6	730.3	10.3	6.6	1028.4	1.4	49.65
74	74+950	60	28	46.5	24	651.9	9.2	5.9	1302.5	1.9	54.97
75	75+000	68	32	37.5	18.4	696.1	9.8	6.3	1012.6	1.4	49.65
76	75+050	14	6	42.7	21.7	3015.7	42.5	27.4	5312.8	1.7	52.97
77	75+100	80	44	44.6	22.9	506.3	7.1	4.6	954.4	1.8	53.99
78	75+150	74	42	46.4	24	528.6	7.5	4.8	1056.1	1.9	54.97
79	75+200	56	32	58.5	31.4	566	8	5.1	1634.3	2.8	62.55
80	75+250	68	32	37.5	18.4	696.1	9.8	6.3	1012.6	1.4	49.65
81	75+300	76	36	47.2	24.5	510.3	7.2	4.6	1034.3	2	55.92
82	75+350	64	36	45.9	23.7	618.9	8.7	5.6	1213.3	1.9	54.97
83	75+400	76	32	42.3	21.4	563.3	7.9	5.1	970.9	1.7	52.97
84	75+450	60	28	37.2	18.2	787.2	11.1	7.1	1146.4	1.4	49.65

CUADRO N° A5.13-b

RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE BASE GRANULAR

Pt	Km	DO 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	LO cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
85	75+500	52	24	45.9	23.7	761.8	10.7	6.9	1493.3	1.9	54.97
86	75+550	42	20	47.5	24.6	919.6	13	8.3	1875.2	2	55.92
87	75+600	36	18	70	38.4	744.6	10.5	6.7	2927.8	3.9	69.86
88	75+650	56	24	42.7	21.7	753.9	10.6	6.8	1328.2	1.7	52.97
89	75+700	64	32	40	20	698.1	9.8	6.3	1116.4	1.5	50.8
90	75+750	64	32	30	13.5	877.1	12.4	7.9	963.6	1	44.38
91	75+800	48	20	41.9	21.2	889.2	12.5	8	1536.6	1.7	52.97
92	75+850	72	40	33.9	16.1	712.3	10	6.4	908.3	1.2	47.16
93	75+900	60	32	43	21.9	697.2	9.8	6.3	1246.2	1.7	52.97
94	75+950	68	28	33.2	15.6	767.7	10.8	6.9	950.9	1.2	47.16
95	76+000	20	10	40	20	2233.9	31.5	20.3	3572.3	1.5	50.8
96	76+050	40	16	40.5	20.3	1100.4	15.5	10	1801.6	1.6	51.91
97	76+100	68	28	41.5	20.9	636.7	9	5.7	1072.4	1.6	51.91
98	76+150	72	36	30	13.5	779.6	11	7	856.6	1	44.38
99	76+200	72	36	40	20	620.5	8.8	5.6	992.3	1.5	50.8
100	76+250	32	16	50	26.2	1146.7	16.2	10.4	2548.8	2.2	57.72
101	76+300	72	36	40	20	620.5	8.8	5.6	992.3	1.5	50.8
102	76+350	68	36	42.7	21.7	620.9	8.8	5.6	1093.8	1.7	52.97
103	76+400	72	32	35.4	17.1	689	9.7	6.2	928.3	1.3	48.44
104	76+450	18	8	35.4	17.1	2756	38.9	25	3713.4	1.3	48.44
105	76+500	54	22	41.2	20.7	809.5	11.4	7.3	1342.9	1.6	51.91
106	76+550	42	18	34.2	16.3	1206.1	17	10.9	1567	1.2	47.16
107	76+600	68	40	48.6	25.4	550.1	7.8	5	1182.8	2.1	56.83
108	76+650	46	22	38.1	18.8	1007.1	14.2	9.1	1514.9	1.5	50.8
109	76+700	42	22	63.2	34.3	706.6	10	6.4	2303.3	3.2	65.4
110	76+750	70	30	42.7	21.7	603.1	8.5	5.4	1062.6	1.7	52.97
111	76+800	54	22	32.9	15.5	959.4	13.5	8.7	1199.1	1.2	47.16
112	76+850	68	30	43.9	22.4	608.9	8.6	5.5	1108.5	1.8	53.99
113	76+900	32	16	60	32.3	973.9	13.7	8.8	2903.6	2.9	63.29
114	76+950	64	32	40	20	698.1	9.8	6.3	1116.4	1.5	50.8
115	77+000	48	24	60	32.3	649.3	9.2	5.9	1935.8	2.9	63.29
116	77+050	60	28	55.8	29.7	552.2	7.8	5	1468.5	2.6	61.03
117	77+100	64	28	43.6	22.2	652.8	9.2	5.9	1171.7	1.7	52.97
118	77+150	72	32	44.2	22.6	570	8	5.1	1052.4	1.8	53.99
119	77+200	60	32	53.8	28.5	575.5	8.1	5.2	1426.6	2.4	59.42

CUADRO N° A5.13-c

RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE BASE GRANULAR

Pt	Km	DO 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
120	77+250	60	32	53.8	28.5	575.5	8.1	5.2	1426.6	2.4	59.42
121	77+300	82	46	57.2	30.6	396.7	5.6	3.6	1091.1	2.7	61.8
122	77+350	68	32	46.9	24.3	575	8.1	5.2	1151	2	55.92
123	77+400	38	18	56.6	30.3	864.5	12.2	7.8	2337.9	2.7	61.8
124	77+450	48	24	50	26.2	764.5	10.8	6.9	1699.2	2.2	57.72
125	77+500	60	32	53.8	28.5	575.5	8.1	5.2	1426.6	2.4	59.42
126	77+550	64	32	40	20	698.1	9.8	6.3	1116.4	1.5	50.8
127	77+600	48	24	60	32.3	649.3	9.2	5.9	1935.8	2.9	63.29
128	77+650	48	24	50	26.2	764.5	10.8	6.9	1699.2	2.2	57.72
129	77+700	64	30	46.7	24.2	606.1	8.6	5.5	1222.3	2	55.92
130	77+750	52	28	43.5	22.2	803.4	11.3	7.3	1442.1	1.7	52.97
131	77+800	104	44	42.5	21.5	409.7	5.8	3.7	711.4	1.7	52.97
132	77+850	34	18	53.3	28.2	1014.5	14.3	9.2	2513.8	2.4	59.42
133	77+900	76	36	56.6	30.3	432.2	6.1	3.9	1169	2.7	61.8
134	77+950	64	32	50	26.2	573.4	8.1	5.2	1274.4	2.2	57.72

## RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE CARPETA ASFALTICA

Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
1	72+000	45.6	20	43.7	22.3	912.1	12.9	8.2	1601.7	1.7	59.17
2	72+050	60.2	33	44.5	22.8	675.7	9.5	6.1	1226.9	1.8	60.31
3	72+100	32.4	18	45.2	23.2	1248.9	17.6	11.3	2290.2	1.8	60.31
4	72+150	50.5	19.4	31.4	14.5	1065.8	15.0	9.6	1246.2	1.1	51.18
5	72+200	50.3	21.6	42.8	21.7	839.4	11.8	7.6	1438.4	1.7	59.17
6	72+250	75.5	32.4	42.8	21.7	559.2	7.9	5.0	958.3	1.7	59.17
7	72+300	57.4	28.8	40.2	20.1	774.5	10.9	7.0	1220.6	1.5	56.75
8	72+350	90.5	43.4	47.8	24.8	423.3	6.0	3.8	845.6	1.9	61.40
9	72+400	50.7	21.4	33.9	16.1	1011.5	14.3	9.1	1277.8	1.2	52.68
10	72+450	79.1	36	54.4	28.9	430.5	6.1	3.9	1041.4	2.4	66.37
11	72+500	47.1	21.7	36.7	17.9	1019.6	14.4	9.2	1425.2	1.3	54.11
12	72+550	78	39	50	26.2	470.4	6.6	4.2	1005.4	2.1	63.49
13	72+600	57.9	25.3	34.8	16.7	865.6	12.2	7.8	1132.6	1.3	54.11
14	72+650	54.3	29	75.4	41.7	459.6	6.5	4.1	1902.8	4.1	79.35
15	72+700	46.4	25	54.4	28.9	733.8	10.4	6.6	1775.3	2.4	66.37
16	72+750	57.5	28.8	100.2	56.7	333.0	4.7	3.0	2283.7	6.8	93.92
17	72+800	41.6	23.5	46.2	23.8	948.2	13.4	8.6	1812.3	1.9	61.40
18	72+850	78.6	42.9	55.3	29.5	424.4	6.0	3.8	1061.2	2.5	67.28
19	72+900	36.2	18.1	70	38.4	740.4	10.4	6.7	2698.9	3.6	75.98
20	72+950	59.3	34.2	59.2	31.9	532.1	7.5	4.8	1461.9	2.7	69.03
21	73+000	40.1	21.9	44.3	22.7	1018.9	14.4	9.2	1837.8	1.8	60.31
22	73+050	49.5	20.2	33	15.5	1046.7	14.8	9.5	1297.5	1.2	52.68
23	73+100	18.5	7.4	48.7	25.4	2021.9	28.5	18.3	4178.5	2.0	62.46
24	73+150	55	29.4	53.9	28.6	625.6	8.8	5.6	1488.3	2.3	65.44
25	73+200	52.1	26	39.9	19.9	861.8	12.2	7.8	1338.2	1.5	56.75
26	73+250	58.9	26.8	45.3	23.3	684.1	9.7	6.2	1262.6	1.8	60.31
27	73+300	56.6	30.2	43.1	21.9	739.1	10.4	6.7	1284.1	1.7	59.17
28	73+350	53.6	25	37.2	18.2	881.2	12.4	8.0	1262.1	1.4	55.46
29	73+400	43.4	24.5	34.6	16.5	1153.0	16.3	10.4	1508.8	1.3	54.11
30	73+450	55	29.4	53.9	28.6	625.6	8.8	5.6	1488.3	2.3	65.44
31	73+500	33	13.6	33.2	15.7	1571.8	22.2	14.2	1949.4	1.2	52.68
32	73+550	71.7	37.7	63.5	34.5	411.5	5.8	3.7	1270.2	3.0	71.50
33	73+600	42.4	19.3	45.3	23.3	950.3	13.4	8.6	1753.9	1.8	60.31
34	73+650	45.9	23	50.1	26.3	796.4	11.2	7.2	1712.1	2.1	63.49
35	73+700	54.4	27.2	50	26.2	674.5	9.5	6.1	1441.6	2.1	63.49
36	73+750	40.2	21.1	52.8	27.9	867.3	12.2	7.8	2010.4	2.3	65.44
37	73+800	42.7	23.3	44.2	22.6	961.1	13.6	8.7	1722.0	1.7	59.17

RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE CARPETA ASFALTICA

Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
38	73+850	63.2	32.5	51.6	27.2	565.8	8.0	5.1	1260.9	2.2	64.48
39	73+900	62.1	31.1	50.1	26.3	588.7	8.3	5.3	1265.5	2.1	63.49
40	73+950	56.2	22.5	40.6	20.3	783.2	11.1	7.1	1252.8	1.5	56.75
41	74+000	65.5	30.8	37.5	18.4	722.6	10.2	6.5	1033.8	1.4	55.46
42	74+050	56.6	30.2	53.8	28.5	610.0	8.6	5.5	1443.2	2.3	65.44
43	74+100	65.5	30.8	46.8	24.2	592.3	8.4	5.3	1159.4	1.9	61.40
44	74+150	60.4	34	57.4	30.8	535.0	7.5	4.8	1411.1	2.6	68.17
45	74+200	61.7	30.8	49.9	26.1	597.0	8.4	5.4	1268.4	2.1	63.49
46	74+250	60.8	26.6	52.3	27.6	579.7	8.2	5.2	1321.3	2.2	64.48
47	74+300	61.2	26.8	43.6	22.2	682.6	9.6	6.2	1190.7	1.7	59.17
48	74+350	52.8	26.4	40	20.0	846.2	11.9	7.6	1323.7	1.5	56.75
49	74+400	54	30.8	46.7	24.2	718.4	10.1	6.5	1406.3	1.9	61.40
50	74+450	49.8	26.8	54.4	28.9	683.7	9.6	6.2	1654.1	2.4	66.37
51	74+500	23	11.5	70	38.4	1165.4	16.4	10.5	4247.9	3.6	75.98
52	74+550	45.3	22.6	49.9	26.1	813.1	11.5	7.3	1727.6	2.1	63.49
53	74+600	41.8	17.1	33	15.5	1239.5	17.5	11.2	1536.6	1.2	52.68
54	74+650	35.2	15.6	61.8	33.4	856.2	12.1	7.7	2537.1	2.9	70.70
55	74+700	19.3	7.7	32.4	15.1	2755.6	38.9	25.0	3291.2	1.1	51.18
56	74+750	58.3	27.2	55.8	29.7	568.3	8.0	5.1	1436.6	2.5	67.28
57	74+800	30.8	15.4	50	26.2	1191.4	16.8	10.8	2546.2	2.1	63.49
58	74+850	38.3	17	53	28.1	903.8	12.8	8.2	2125.3	2.3	65.44
59	74+900	54	27	50	26.2	679.5	9.6	6.1	1452.3	2.1	63.49
60	74+950	28.4	14.2	50	26.2	1292.1	18.2	11.7	2761.4	2.1	63.49
61	75+000	52	24	45.9	23.7	761.8	10.7	6.9	1442.7	1.8	60.31
62	75+050	56.6	30.2	43.1	21.9	739.1	10.4	6.7	1284.1	1.7	59.17
63	75+100	66.5	36.5	44.5	22.8	611.7	8.6	5.5	1110.7	1.8	60.31
64	75+150	58.9	28.5	48.3	25.1	642.7	9.1	5.8	1305.6	2.0	62.46
65	75+200	42.6	21.3	50	26.2	861.4	12.2	7.8	1840.9	2.1	63.49
66	75+250	45	22.5	40	20.0	992.8	14.0	9.0	1553.2	1.5	56.75
67	75+300	54.9	29.6	54.5	29.0	618.1	8.7	5.6	1503.5	2.4	66.37
68	75+350	84.7	42.4	60.1	32.4	366.8	5.2	3.3	1033.8	2.8	69.87
69	75+400	54.9	25.3	55.1	29.3	611.7	8.6	5.5	1513.0	2.4	66.37
70	75+450	72.2	34.2	66.1	36.0	391.6	5.5	3.5	1299.4	3.3	73.81
71	75+500	54.9	25.3	45.9	23.7	721.5	10.2	6.5	1366.5	1.8	60.31
72	75+550	60.4	30.2	70	38.4	443.8	6.3	4.0	1617.6	3.6	75.98
73	75+600	70.6	33.2	37.5	18.4	670.4	9.5	6.0	959.2	1.4	55.46
74	75+650	30	18.7	92.3	51.9	690.1	9.7	6.2	4066.2	5.8	89.07



Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
75	75+700	24	12	50	26.2	1529.0	21.6	13.8	3267.6	2.1	63.49
76	75+750	60.4	30.2	50	26.2	607.5	8.6	5.5	1298.4	2.1	63.49
77	75+800	38.3	17	44.2	22.6	1071.5	15.1	9.7	1919.8	1.7	59.17
78	75+850	30	16.9	80.5	44.8	782.7	11.0	7.1	3635.0	4.6	82.45
79	75+900	68	36	42.7	21.7	620.9	8.8	5.6	1064.0	1.7	59.17
80	75+950	52.5	26.2	39.9	19.9	855.3	12.1	7.7	1328.0	1.5	56.75
81	76+000	64	36	45.9	23.7	618.9	8.7	5.6	1172.2	1.8	60.31
82	76+050	37.2	18.6	50	26.2	986.4	13.9	8.9	2108.1	2.1	63.49
83	76+100	56.6	30.2	43.1	21.9	739.1	10.4	6.7	1284.1	1.7	59.17
84	76+150	44.3	22.2	40.1	20.0	1008.5	14.2	9.1	1577.7	1.5	56.75
85	76+200	65.1	30.6	37.5	18.4	727.1	10.3	6.6	1040.2	1.4	55.46
86	76+250	54	24.2	44.6	22.9	750.0	10.6	6.8	1370.8	1.8	60.31
87	76+300	53.2	27.5	41.5	20.9	813.8	11.5	7.3	1337.1	1.6	57.98
88	76+350	59.5	33.5	46	23.7	665.7	9.4	6.0	1260.8	1.8	60.31
89	76+400	42.2	20.2	38.2	18.8	1097.8	15.5	9.9	1621.0	1.4	55.46
90	76+450	52.1	26	49.9	26.1	707.0	10.0	6.4	1502.1	2.1	63.49
91	76+500	53.2	27.5	41.5	20.9	813.8	11.5	7.3	1337.1	1.6	57.98
92	76+550	66.5	33.3	40.1	20.0	671.8	9.5	6.1	1051.0	1.5	56.75
93	76+600	27.7	12.9	46.4	24.0	1412.1	19.9	12.8	2731.6	1.9	61.40
94	76+650	60.6	27.5	36.1	17.5	799.9	11.3	7.2	1100.7	1.3	54.11
95	76+700	54	27.9	41.5	20.9	801.7	11.3	7.2	1317.3	1.6	57.98
96	76+750	55.4	29.6	53.9	28.6	621.1	8.8	5.6	1477.5	2.3	65.44
97	76+800	43.4	18.9	43.4	22.1	955.2	13.5	8.6	1682.3	1.7	59.17
98	76+850	47.7	25.7	43.6	22.2	875.9	12.4	7.9	1527.7	1.7	59.17
99	76+900	43.1	22.5	31.5	14.5	1248.8	17.6	11.3	1460.2	1.1	51.18
100	76+950	58.7	25.7	43.6	22.2	711.7	10.0	6.4	1241.5	1.7	59.17
101	77+000	64.6	38	48.6	25.4	579.0	8.2	5.2	1196.6	2.0	62.46
102	77+050	57.7	31.6	44.4	22.7	708.1	10.0	6.4	1277.2	1.8	60.31
103	77+100	60.3	31.2	41.6	21.0	714.6	10.1	6.4	1185.5	1.6	57.98
104	77+150	62.4	25.7	41.5	20.9	693.8	9.8	6.3	1140.0	1.6	57.98
105	77+200	56.9	28.4	49.9	26.1	647.4	9.1	5.8	1375.4	2.1	63.49
106	77+250	44.7	18.6	33.5	15.8	1153.1	16.3	10.4	1443.1	1.2	52.68
107	77+300	56	28	60	32.3	556.5	7.9	5.0	1560.4	2.8	69.87
108	77+350	59.5	26	52.2	27.6	592.3	8.4	5.3	1350.2	2.2	64.48
109	77+400	73.1	36.5	49.9	26.2	502.0	7.1	4.5	1072.8	2.1	63.49
110	77+450	53.2	31.2	48.4	25.2	708.7	10.0	6.4	1448.0	2.0	62.46
111	77+500	64	32	50	26.2	573.4	8.1	5.2	1225.4	2.1	63.49
112	77+550	44.3	22.2	100.2	56.7	432.3	6.1	3.9	2964.2	6.8	93.92
113	77+600	56	28	50	26.2	655.3	9.2	5.9	1400.4	2.1	63.49
114	77+650	54	24.2	44.6	22.9	750.0	10.6	6.8	1370.8	1.8	60.31
115	77+700	63.5	35.7	45.9	23.6	626.4	8.8	5.6	1178.8	1.8	60.31

CUADRO N° A5.14-c  
 RESULTADOS DEL METODO DE HOGG - NIVEL DE CARPETA ASFALTICA

Pt	Km	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
116	77+750	48.4	22.3	55	29.3	693.9	9.8	6.3	1716.2	2.4	66.37
117	77+800	55.2	23.6	51.1	26.9	655.1	9.2	5.9	1434.9	2.1	63.49
118	77+850	37	18.5	50	26.2	991.8	14.0	9.0	2119.5	2.1	63.49
119	77+900	63.1	27.6	43.6	22.2	662.1	9.3	6.0	1154.9	1.7	59.17
120	77+950	57.7	31.6	44.4	22.7	708.1	10.0	6.4	1277.2	1.8	60.31

RESULTADOS DEL TRAMO MONITOREADO

Prom R5	Prom L0	Prom E0	Prom Mr	Prom E*	Prom E*/E0	Prom HEQ
48.6	25.3	796.2	11.2	1597.2	2.1	62.4

**SUBBASE RECICLADA**

SECTOR	PROGRESIVA	Prom R5 (cm)	Prom L0 (cm)	Prom E0 (Kg/cm2)	Prom Mr (Ksi)	Prom E* (Kg/cm2)	Prom E*/E0	Prom HEQ (cm)
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	53.6	28.8	2247.8	31.7	6188.1	3.8	50.0
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	53.7	28.3	1005.6	14.2	2701.1	3.4	49.3
3	Km. 20+000 - Km. 36+000	46.4	23.8	1339.2	18.9	2948.7	2.5	45.1
4	Km. 36+000 - Km 45+000	52.6	27.6	1718.6	24.3	5648.0	4.0	47.4
5	Km. 45+000 - Km. 86+500	47.6	24.6	1236.2	17.4	3170.2	2.9	43.8
6	Km. 86+500 - Km. 96+358	52.2	27.5	901.2	12.7	2349.9	3.3	47.6

**BASE GRANULAR**

SECTOR	PROGRESIVA	Prom R5 (cm)	Prom L0 (cm)	Prom E0 (Kg/cm2)	Prom Mr (Ksi)	Prom E* (Kg/cm2)	Prom E*/E0	Prom HEQ (cm)
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	50.6	26.4	1619.5	22.9	4007.3	2.8	54.1
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	54.7	29.0	1157.9	16.3	2787.8	2.7	66.5
3	Km. 20+000 - Km. 36+000	49.3	25.6	1200.6	16.9	2380.9	2.5	63.1
4	Km. 36+000 - Km 45+000	43.5	22.0	1498.2	21.1	2444.3	1.9	58.6
5	Km. 45+000 - Km. 86+500	41.7	20.9	1155.8	16.3	1983.8	1.9	53.4
6	Km. 86+500 - Km. 96+358	45.2	23.2	1268.7	17.9	2266.7	1.9	60.6

**CARPETA ASFALTICA**

SECTOR	PROGRESIVA	Prom R5 (cm)	Prom L0 (cm)	Prom E0 (Kg/cm2)	Prom Mr (Ksi)	Prom E* (Kg/cm2)	Prom E*/E0	Prom HEQ (cm)
1	Km. 0+000 - Km. 7+000	49.5	26.2	1050.1	14.8	2262.9	2.5	58.6
2	Km. 7+000 - Km. 20+000	49.4	26.8	844.8	11.9	1604.7	2.4	70.3
3	Km. 20+000 - Km. 36+000	49.1	25.8	1126.7	15.9	2173.0	2.5	69.5
4	Km. 36+000 - Km 45+000	58.4	32.0	774.1	10.9	1885.9	3.6	74.3
5	Km. 45+000 - Km. 86+500	45.1	23.0	900.2	12.7	1581.7	2.0	61.5
6	Km. 86+500 - Km. 96+358	47.0	24.3	1156.6	16.3	2192.1	1.9	67.5

# **ANEXO**

**6**

PRESUPUESTOS TENTATIVOS

---

**Fresado de Firmes Asfálticos**  
**Reciclaje a Profundidad de capa**

---

## **A6 ANÁLISIS TÉCNICO ECONOMICO**

### **A6.1 Introducción**

El presente anexo muestra presupuestos tentativos de lo que significa económicamente reciclar, pero debe tenerse presente que en costos y presupuestos de carreteras es gravitante el factor transporte, el cual es propio a la localización de cada proyecto, si bien se pueden mostrar costos comparativos por m<sup>2</sup> o kilómetros, lo recomendable es evaluar un proyecto en conjunto.

### **A6.2 Desarrollo a través del tiempo.**

Conforme la tecnología avanza, los precios a través del tiempo decrecen; así tenemos que en E.U, en el tiempo que empezaron las primeras máquinas recicladoras (1970), el costo por m<sup>2</sup> de fresar 76.2 mm bordeaba los US\$ 0.59/m<sup>2</sup>; actualmente este costo es de US\$ 0.24/m<sup>2</sup>, mostramos los Cuadros N° A6.1, “Costo de fresado a medio carril a principios de la década de los 70s” A6.2, “ Costo de fresado de medio carril actualmente”, A6.3, “Costo de fresado carril completo” de los que podemos apreciar costos comparativos para las diferentes profundidades de fresado.

### **A6.3 Presupuesto para diferentes opciones de rehabilitación : con estructuras de pavimento equivalente.**

Las diversas opciones de reciclaje consideradas en el Gráfico N° A6.1, “Opciones de rehabilitación para el reciclaje a profundidad de la capa” son analizadas para comparar costos de cada opción .

Los precios de los diferentes ítems incluidos en cada una de las opciones de reciclaje los encontramos en el Cuadro N° A6.4, “Precios básicos”.

Estos precios se basan en precios de contrato aplicables en la industria de la construcción de pistas de SUDAFRICA en Marzo de 1998

Si bien en estos ejemplos se ha considerado un precio de US\$ 2 m<sup>2</sup>, debe recalarse que este precio depende de muchas variables (ejemplo: Tamaño de la máquina, alcance del proyecto, restricciones del tiempo, localización, entre otros).

Este precio puede fluctuar de US\$ 1/m<sup>2</sup> a más de US\$ 10/m<sup>2</sup>, dependiendo del proyecto específico.

### **A6.3.1 Ejemplo de reciclaje a Profundidad de la Capa**

En este ejemplo, el pavimento deteriorado consiste en 3 capas de asfalto agrietado de un espesor total de 170 mm, recapeando 250 mm de piedra chancada. Las opciones de rehabilitación consideradas son:

#### **OPCION 1 Reconstrucción de Pavimento**

En esta opción las capas de asfalto agrietadas de 170 mm serán cortadas y desechadas. Después una capa de 150 mm de piedra chancada será esparcida y procesada. Una nueva base de asfalto de 80 mm y una superficie de asfalto de 50 mm serán pavimentadas luego sobre una capa chancada. Del presupuesto presentado en el Cuadro N° A6.5, “Estimado de la opción reconstrucción de pavimentos”, tenemos que estaría bordeando los U\$ 30/m<sup>2</sup>

#### **OPCION 2 Recapa de Asfalto**

En esta opción se asume que sólo 12% del asfalto agrietado necesita ser retirado, hasta una profundidad de 90 mm y luego parchado con asfalto nuevo. Después de este trabajo, una nueva base de asfalto de 100 mm y un revestimiento de asfalto de 50 mm serán pavimentados sobre la superficie parchada. Del presupuesto presentado en el Cuadro N° A6.6, “Estimado de la opción recapa de asfalto”, tenemos para este caso U\$ 20.40/m<sup>2</sup>

#### **OPCION 3m Reciclar in situ 300 mm con cemento**

El reciclaje in situ con la opción cemento requiere cortar tanto los 170 mm existentes de asfalto agrietado, 130mm de la capa de piedra chancada y 3% de cemento, por masa homogénea de 300 mm. Después, una base de asfalto de 80 mm y un revestimiento de asfalto de 50 mm serán pavimentados sobre la capa reciclada. Del presupuesto presentado en el Cuadro N° A6.7, “Estimado de la opción reciclaje in situ 300 mm con cemento” se tiene un estimado U\$ 18.86/m<sup>2</sup>

### OPCION 3n Reciclar in situ con emulsión de asfalto & cemento

El reciclaje in situ con emulsión de asfalto y cemento requiere cortar tanto los 170 mm existentes de asfalto agrietado y 55 mm de la capa de piedra chancada, en una capa homogénea de 225 mm, con 4% de emulsión de asfalto y 1.5% de cemento. Después, un nuevo revestimiento de asfalto de 50 mm será pavimentado sobre la capa reciclada. Del presupuesto presentado en el Cuadro N° A6.8, “Estimado de la opción reciclar in situ con emulsión de asfalto & cemento”, tenemos que el costo disminuye notablemente bordeando los U\$ 12.07/m<sup>2</sup>

### OPCION 3p Reciclar in situ con asfalto espumoso & cemento

Esta opción es similar a la opción anterior. El 4 % de emulsión de asfalto es reemplazado por 2.5 % de asfalto espumoso. El cemento y revestimiento siguen los mismos pasos. Del presupuesto presentado en el Cuadro N° A6.9, “Estimado de la opción reciclar in situ con asfalto espumoso & cemento”, en el que apreciamos una posibilidad realmente apreciable a ser estudiada con un estimado de U\$ 10.72/m<sup>2</sup>.

#### OBSERVACIONES:

De lo anterior tenemos que los ahorros respecto a la alternativa tradicional de reconstrucción varían desde 37.4 para la alternativa que comprende estabilización con cemento hasta 64% para la que tiene asfalto espumoso. Frente a la alternativa que tiene al parchado y colocación de carpeta asfáltica, tenemos ahorros del 9.11% con la opción de cemento hasta 49% con la opción de asfalto espumado. En condiciones reales quizá estas brechas sean menores. Pero sin duda la última opción es la que conseguiría mejor beneficio.

#### **A6.4 De los agentes estabilizadores cementosos y bituminosos**

También habrá que tener presente los pro y los contras de los tres agentes estabilizadores más comúnmente utilizados, junto con sus respectivas propiedades de ingeniería. Para ello



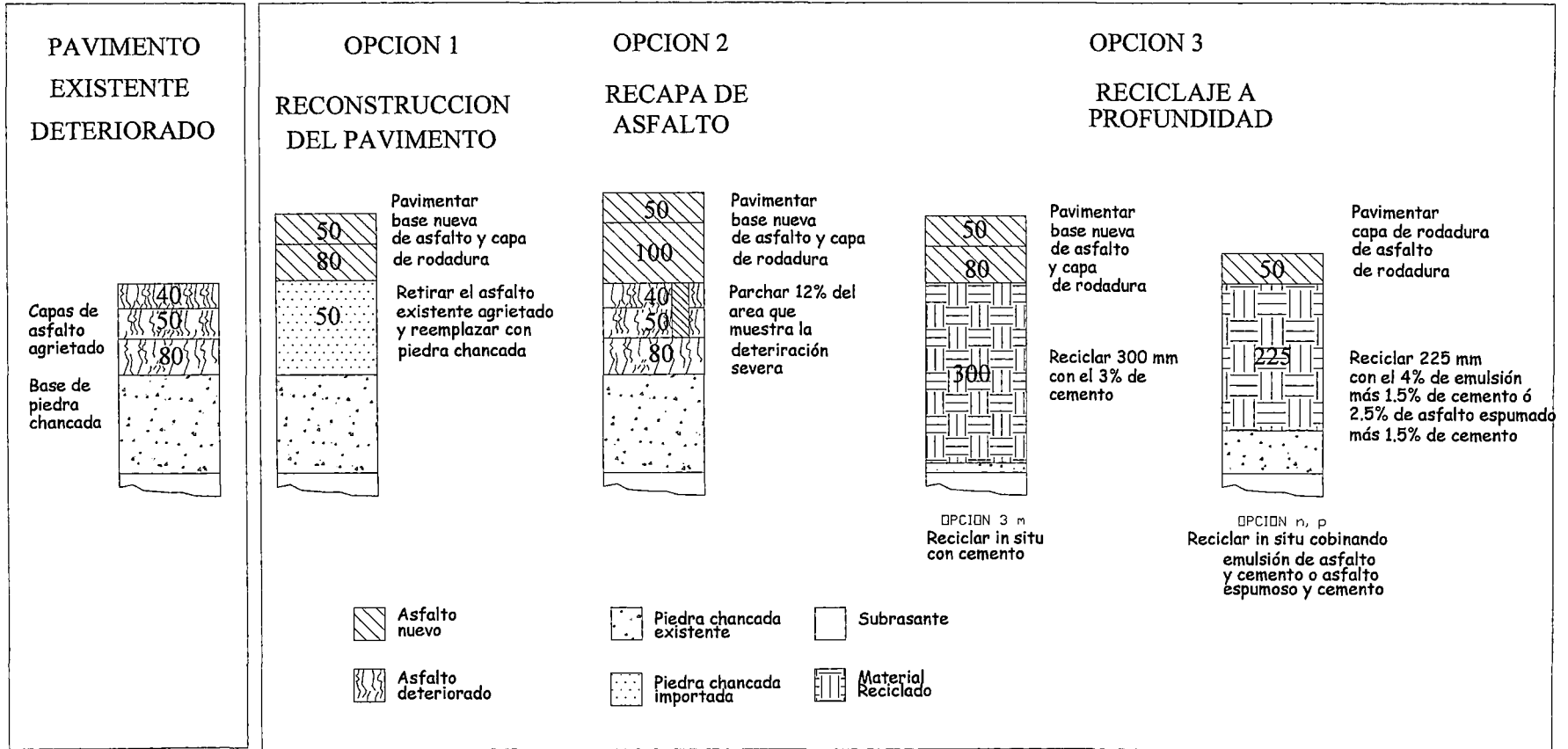
presentamos el Cuadro N° A6.10, “Ventajas y Desventajas de los agentes estabilizadores cementosos y bituminosos mas usados”, en el cual se dan comparativos de uso de estos estabilizadores.

#### **A6.5 Obra Cusco Combapata**

El presente presupuesto corresponde a los precios contractuales de la obra, año 2001, la descripción de las partidas con sus respectivas bases de pago las presentamos al final del presente anexo.

Físicamente la constituye una capa de sub base de 20 cm con material recuperado del fresado de la carpeta asfáltica antigua de 5 cm y 15 cm de base antigua, una capa de base granular de 15 cm y una carpeta asfáltica de 7.5 cm de carpeta asfáltica. Cuadro N° A6.11, “Obra Cusco Combapata, recuperación a nivel de subbase”, del cual tenemos un costo de U\$ 12.19 /m2.

OPCIONES DE REHABILITACION PARA EL RECICLAJE A PROFUNDIDAD DE LA CAPA



CUADRO N° A6.1

**COSTO DE FRESADO DE MEDIO CARRIL  
A PRINCIPIOS DE LA DECADA DE LOS 70**

25.4 mm	COSTO/HORA	US\$ 315.00
	PRODUCCIÓN (m <sup>2</sup> /h)	1045
	PRODUCCIÓN (t/h)	63.5
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0.30
	COSTO/t	US\$ 5.03
50.8 mm	COSTO/HORA	US\$ 320.00
	PRODUCCIÓN (m <sup>2</sup> /h)	727
	PRODUCCIÓN (t/h)	99.20
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0.44
	COSTO/t	US\$ 3.92
76.2 mm	COSTO/HORA	US\$ 345.00
	PRODUCCIÓN (m <sup>2</sup> /h)	585
	PRODUCCIÓN (t/h)	100
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0.59
	COSTO/t	US\$ 3.45
101.6	COSTO/HORA	US\$ 390.00
	PRODUCCIÓN (m <sup>2</sup> /h)	502
	PRODUCCIÓN (t/h)	113
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0.78
	COSTO/t	US\$ 3.45
<p>Basado en el uso de una maquina fresadora de medio carril BG RX-40 6 CMIPR 450( modelo de los años 70 funcionando 750 horas/año</p>		

CUADRO N° A6.2

**COSTO DE FRESADO DE MEDIO CARRIL  
ACTUALMENTE**

	ALTO	BAJO	
25.4 mm	COSTO/HORA	US\$ 244,00	US\$ 182,00
	PRODUCCIÓN (m <sup>2</sup> /h)	1566	2090
	PRODUCCIÓN (t/h)	90,7	118
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0,16	US\$ 0,09
	COSTO/t	US\$ 2,69	US\$ 1,54
50.8mm	COSTO/HORA	US\$ 250.00	US\$ 195,00
	PRODUCCIÓN (m <sup>2</sup> /h)	1129	1421
	PRODUCCIÓN (t/h)	127	163
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0.22	US\$ 0.14
	COSTO/t	US\$ 1,97	US\$ 1,20
76.2mm	COSTO/HORA	US\$ 260.00	US\$ 225,00
	PRODUCCIÓN (m <sup>2</sup> /h)	1066	1338
	PRODUCCIÓN (t/h)	181	227
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0.24	US\$ 0.17
	COSTO/t	US\$ 1,44	US\$ 0,99
101.6	COSTO/HORA	US\$ 300.00	US\$ 250,00
	PRODUCCIÓN (m <sup>2</sup> /h)	1087	1296
	PRODUCCIÓN (t/h)	254	295
	COSTO/m <sup>2</sup>	US\$ 0.28	US\$ 0.19
	COSTO/t	US\$ 1,18	US\$ 0,85

Basado en el uso de una maquina fresadora de medio carril Roadtec RX-60 funcionando 750 horas/año.

\* Mano de Obra de alto costo y agregado abrasivo (granito)

\*\* Mano de obra de bajo costo y agregado suave(piedra caliza)



CUADRO N° A6.4  
**PRECIOS BASICOS**

ITEM	Precio (US\$) SUDAFRICA	Unidad
Maquina recicladora y equipo auxiliar *	2	m2
Corte y disposición del RAP	15	t
Asfalto de mezcla en caliente (abastecimiento y pav.)	50	t
Asfalto: Grado de penetración	200	t
Emulsión de asfalto	200	t
Abastecimiento de piedra chancada	20	t
Abastecimiento de polvo de trituración	10	t
Cemento	70	t
Abastecimiento de grava	12	t
Procesamiento de capas nuevas	1,5	m2
Parcheo de areas pequeñas	20	m2
Revestimiento de sello de piedritas	2	m2

Fuente (1)

CUADRO N° A6.5

**ESTIMADO DE LA OPCION RECONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS**

<b>OPCION N° 1</b>		
<b>1) Retiro de Asfalto</b>		
1 Espesor del asfalto	170,00	mm
2 Densidad del asfalto	2,40	t/m3
3 Corte & eliminación del RAP	15,00	US\$ /t
4 Costo y retiro del RAP	6,12	US\$ /m2
<b>2) Abastecimiento de piedra chancada</b>		
1 Espesor de piedra chancada	150,00	mm
2 Densidad de la piedra	2,30	t/m3
3) Abastecimiento de Piedra chancada	20,00	US\$ /t
4) Costo de Piedra chancada	6,90	US\$ /m2
<b>3) Procesamiento de piedra chancada</b>		
1 Construcción de la capa	1,50	US\$ /m2
<b>4) Asfalto</b>		
1 Espesor de Asfalto	130,00	mm
2 Densidad del asfalto	2,40	t/m3
3) Abastecimiento de Asfalto	50,00	US\$ /t
4) Costo del asfalto	15,60	US\$ /m2
<b>Resumen de costos</b>		
Retiro de 170 mm de asfalto	6,12	US\$ /m2
Importación de 150 mm de piedra chancada	6,90	US\$ /m2
Construcción de la capa	1,50	US\$ /m2
130 mm de espesor de asfalto	15,60	US\$ /m2
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>30,12</b>	<b>US\$ /m2</b>

Fuente (1)

CUADRO N° A6.6

## ESTIMADO DE LA OPCION RECAPA DE ASFALTO

OPCION N° 2		
<b>1) Parchado de la superficie existente</b>		
1 Area parchada	12,00	%
2 Parchado de áreas pequeñas	20,00	US\$ /m2
3 Costo de parchado	2,40	US\$ /m2
<b>2) Asfalto</b>		
1 Espesor de Asfalto	150,00	mm
2 Densidad del asfalto	2,40	t/m3
3) Abastecimiento de Asfalto	50,00	US\$ /t
4) Costo del asfalto	18,00	US\$ /m2
<b>Resumen de costos</b>		
Parchado de 12% de la superficie	2,40	US\$ /m2
150 mm de espesor de asfalto	18,00	US\$ /m2
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>20,40</b>	<b>US\$ /m2</b>

Fuente (1)

CUADRO N° A6.7

## ESTIMADO DE LA OPCION RECICLAR IN SITU 300 mm CON CEMENTO

OPCION N° 3 m		
<b>1) Recicladora</b>		
1 Máquina recicladora y/o equipo auxiliar	2,00	US\$ /m2
<b>2) Adición de cemento</b>		
1 Espesor de la capa reciclada	300,00	mm
2 Densidad del material reciclado	2,00	t/m3
3 Cemento a ser añadido	3,00	%
4 130 mm de espesor de asfalto	70,00	US\$ /t
5 Costo del cemento	1,26	US\$ /m2
<b>4) Asfalto</b>		
1 Espesor de Asfalto	130,00	mm
2 Densidad del asfalto	2,40	t/m3
3 Abastecimiento y pavimentación con Asfalto	50,00	US\$ /t
4 Costo del asfalto	15,60	US\$ /m2
<b>Resumen de costos</b>		
Recicladora	2,00	US\$ /m2
3% de cemento	1,26	US\$ /m2
130 mm de espesor de asfalto	15,60	US\$ /m2
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>18,86</b>	<b>US\$ /m2</b>

Fuente (1)



CUADRO N° A6.8

**ESTIMADO DE LA OPCION RECICLAR IN SITU CON  
EMULSIÓN DE ASFALTO & CEMENTO**

<b>OPCION N° 3 n</b>		
<b>1) Recicladora</b>		
1 Máquina recicladora y/o equipo auxiliar	2,00	US\$ /m2
<b>2) Adición de cemento</b>		
1 Espesor de la capa reciclada	225,00	mm
2 Densidad del material reciclado	2,00	t/m3
3 Cemento a ser añadido	1,50	%
4 130 mm de espesor de asfalto	70,00	US\$ /t
5 Costo del cemento	0,47	US\$ /m2
<b>3) Adición de Emulsión de Asfalto</b>		
1 Espesor de la capa reciclada	225,00	mm
2 Densidad del material reciclado	2,00	t/m3
3 Emulsión de asfalto a ser añadida	4,00	%
4 Precio de la emulsión de asfalto	200,00	US\$ /t
5 Costo de la emulsión de asfalto	3,60	US\$ /m2
<b>4) Asfalto</b>		
1 Espesor de Asfalto	50,00	mm
2 Densidad del asfalto	2,40	t/m3
3 Abastecimiento y pavimentación con Asfalto	50,00	US\$ /t
4 Costo del asfalto	6,00	US\$ /m2
<b>Resumen de costos</b>		
Recicladora	2,00	US\$ /m2
1,5% de cemento	0,47	US\$ /m2
4% de emulsión de asfalto	3,60	US\$ /m2
50 mm de espesor de asfalto	6,00	US\$ /m2
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>12,07</b>	<b>US\$ /m2</b>

Fuente (1)

CUADRO N° A6.9

**ESTIMADO DE LA OPCION RECICLAR IN SITU CON  
ASFALTO ESPUMOSO & CEMENTO**

<b>OPCION N° 3 p</b>		
<b>1) Recicladora</b>		
1 Máquina recicladora y/o equipo auxiliar	2,00	US\$ /m2
<b>2) Adición de cemento</b>		
1 Espesor de la capa reciclada	225,00	mm
2 Densidad del material reciclado	2,00	t/m3
3 Cemento a ser añadido	1,50	%
4 130 mm de espesor de asfalto	70,00	US\$ /t
5 Costo del cemento	0,47	US\$ /m2
<b>3) Adición de Asfalto Espumoso</b>		
1 Espesor de la capa reciclada	225,00	mm
2 Densidad del material reciclado	2,00	t/m3
3 Emulsión de asfalto a ser añadida	2,50	%
4 Precio del asfalto espumoso	200,00	US\$ /t
5 Costo de la emulsión de asfalto	2,25	US\$ /m2
<b>4) Asfalto</b>		
1 Espesor de Asfalto	50,00	mm
2 Densidad del asfalto	2,40	t/m3
3 Abastecimiento y pavimentación con Asfalto	50,00	US\$ /t
4 Costo del asfalto	6,00	US\$ /m2
<b>Resumen de costos</b>		
Recicladora	2,00	US\$ /m2
1,5% de cemento	0,47	US\$ /m2
4% de emulsión de asfalto	2,25	US\$ /m2
50 mm de espesor de asfalto	6,00	US\$ /m2
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>10,72</b>	<b>US\$ /m2</b>

Fuente (1)

CUADRO N° A6.10

**VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS AGENTES ESTABILIZADORES  
CEMENTOSOS Y BITUMINOSOS MAS USADOS**

<b>CEMENTO</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<p>Disponibilidad: El cemento puede obtenerse en todo lugar ya sea suelto o embolsado, y su proporción es mínima.</p> <p>Costo: Con relación al asfalto, normalmente, El cemento es barato.</p> <p>Fácil aplicación : El cemento puede ser esparcido a mano siempre, en ausencia de esparcidoras y mezcladoras de slurry.</p> <p>Aceptación : El cemento es muy conocido en la industria de la construcción . Generalmente sus métodos de prueba y especificaciones estándar se encuentran disponible.</p> <p>Mejora la resistencia al agua de un material</p>	<p>La grieta de contracción es inevitable pero puede ser minimizada.</p> <p>Incrementa la rigidez que reduce las características de fatiga.</p> <p>Requiere curado apropiado</p>
<b>EMULSION ASFALTO</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<p>Pavimento flexible: La estabilización con asfalto crea un material viscoelástico con propiedades de fatiga superiores.</p> <p>Fácil aplicación: La recicladora esta acoplada a un camión de asfalto, para la aplicación a través de una barra rociadora.</p> <p>Aceptación: Las emulsiones de asfalto son conocidas, relativamente, en la industria de construcción. Ya han sido probados, métodos de prueba y especificaciones estándar se encuentran disponibles.</p>	<p>Costo: Las emulsiones de asfalto, normalmente, no se fabrican en el lugar de trabajo – el proceso requiere un control estricto de la calidad. Los agentes emulsificadores son caros. Y hace falta transportar agua, no solo asfalto.</p> <p>El contenido de humedad del material en el pavimento existente, algunas veces es demasiado alto y se satura cuando se añade emulsión.</p> <p>El curado puede tomar mucho tiempo. El desarrollo de la resistencia es determinada por la pérdida de humedad.</p> <p>Disponibilidad: La formulación requerida para el trabajo del reciclaje no puede ser asequible.</p>

## ASFALTO ESPUMOSO

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Fácil aplicación : Como sucede con la emulsión de asfalto, el asfalto espumoso se aplica con una barra rociadora especial, luego de acoplarla en un camión abastecedor de asfalto.</p> <p>Pavimento fuerte y flexible: El material tratado con asfalto espumoso tiene una mezcla flexible que une las partículas gruesas. Por lo tanto muestra resistencia superior tanto para la deformación y la fatiga.</p> <p>Costo: El asfalto espumoso utiliza un asfalto de grado de penetración estándar. No existen costos de fabricación.</p> <p>Porcentaje de Resistencia Obtenida: El material puede ser puesto al tráfico inmediatamente después de la colocación</p>	<p>La espuma demanda que el asfalto este caliente, típicamente 170 °C, que requiere medios especiales de calentamiento y precauciones de seguridad..</p> <p>Calidad del asfalto: La calidad del material estabilizado se determina por las características espumosas que dependen predominantemente de la calidad del asfalto.</p> <p>Tipo y condición del material: El material saturado y el material deficiente en finos no puede ser tratado con asfalto espumoso.</p>

CUADRO N° A6.11

**OBRA CUSCO COMBAPATA RECUPERACIÓN A NIVEL DE SUBBASE**

<b>PRESUPUESTO</b>		
<b>1) Sub base granular recuperada</b>		
1 Espesor de la capa reciclada	200,00	mm
5 Costo de la partida recup. de pavimento	7.42	US\$ /m3
	1.48	US\$ /m2
<b>2) Base Granular</b>		
1 Espesor de la capa de sub base	150,00	mm
5 Costo de la partida	19.21	US\$ /m3
	2.88	US\$ /m2
<b>3) Imprimación</b>		
Costo de la partida	0.19	US\$ /m2
Asfalto liquido de imprimación	0.64	US\$ /m2
	0.83	US\$ /m2
<b>4) Carpeta Asfáltica</b>		
1 Espesor de Asfalto	75,00	mm
2 Densidad del asfalto	2,350	t/m3
3 Abastecimiento y pavimentación con Asfalto	51.39	US\$ /m3
4 Asfalto solido pen 85/100 para carpeta asfaltica 7.1%	41.37	US\$ /m3
	7.00	US\$ /m2
<b>Resumen de costos</b>		
Sub base granular recuperada	1.48	US\$ /m2
Base Granular	2.88	US\$ /m2
Imprimación	0.83	US\$ /m2
Carpeta Asfáltica	7.00	US\$ /m2
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>12.19</b>	<b>US\$ /m2</b>

#### **A.6..6 PARTIDAS:**

##### **1.- RECUPERACION DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PARA CONFORMAR UNA NUEVA SUB BASE**

###### Descripción

Este trabajo consiste en reciclar la carpeta asfáltica y la base granular existentes mediante su recuperación en frío y adicionar material de sub base granular para conformar una nueva sub base granular.

###### Método de medición

La unidad de medida será por m<sup>3</sup> compactados en su posición final, según lo indicado en los planos y aprobado por la Supervisión.

###### Base de pago

El volumen determinado en la medición final de la sección es pagado al precio unitario ofertado por el Contratista por metro cúbico (m<sup>3</sup>) en su posición final, en la partida 1 Recuperación de pavimento asfáltico para conforma una nueva sub base. Dicho precio será compensación completa por:

- Completar las bermas con material de sub base granular , sin compactar a nivel de carpeta asfáltica.
- Barrido y/o soplado de la superficie del pavimento que deberá encontrarse limpia.
- La recuperación o reciclado de la carpeta asfáltica y base granular existentes.
- Adición de material de sub base granular con el fin de alcanzar la sub base rasante proyectada.  
Esta involucra las actividades de extracción, zarandeo y extensión.
- Homogenización de toda la capa y compactación .

El transporte, carguío y descarga del material adicional es pagado en la partida de Transporte de material granular hasta 1 Km y Transporte de material granular para distancia mayor a 1 Km.

## 2.- BASE GRANULAR

### Descripción

Esta partida comprende los aspectos relativos a la construcción de una capa de fundación, compuesta de piedra fracturada por trituración en forma artificial, arena y finos, construida sobre una superficie debidamente preparada, perfilada y compactada y en conformidad con los alineamientos, rasantes y secciones transversales típicas, indicadas en los planos.

### Método de medición

El método de medición es por  $m^3$  compactados obtenidos del ancho de base por su espesor y por su longitud, según lo indicado en los planos y aceptado por el Supervisor.

### Bases de pago

La base granular ejecutada por el Contratista, y aprobadas por el Supervisor y medidas según se ha establecido, son pagadas con esta partida, al precio unitario del contrato por  $m^3$  compactado según lo indicado en los planos y dicho precio constituirá compensación completa por la extracción, chancado, zarandeado, lavado, colocación del mismo, riego, mano de obra, equipos, herramientas e imprevistos necesarios para completar la partida.

El carguío, transporte y descarga del material para la base granular esta considerado en este precio. Se deberán tener en cuenta los cambios volumétricos de los materiales (esponjamiento y contracciones), según sea el caso.

Asimismo el precio incluye el equipo, mano de obra (incluidas las leyes sociales), herramientas e imprevistos necesarios para la correcta ejecución de la partida.

### 3.- IMPRIMACIÓN

#### Descripción

Bajo este ítem "Imprimación", el Contratista debe suministrar y aplicar material bituminoso a una base o superficie del camino, preparada con anterioridad, de acuerdo con las Especificaciones y de conformidad con los planos, o como indique el Supervisor.

#### Método de medición

El método de medición es realizada en dos formas y por separado:

- a) Superficie imprimada y aceptada por el Supervisor en metros cuadrados, teniendo en cuenta los anchos indicados en los planos y la longitud realmente regada.
- b) Galones de asfalto empleado en la imprimación, el cual se pagará con la partida correspondiente.

Antes y después de efectuar la Imprimación se medirán los volúmenes inicial y final, utilizando la varilla graduada para este efecto. Como alternativa, si el Contratista lo desea y tiene elementos para hacerlo, puede pesarse el equipo antes y después, empleando para ello básculas de capacidad suficiente. En todos los casos se tomará la temperatura del asfalto antes y después de ser aplicado.

#### Bases de pago

- a) De acuerdo a lo indicado anteriormente, se pagará con la partida Imprimación los metros cuadrados de superficie imprimada y aceptada por el Supervisor. Este precio incluirá compensación total por todo el trabajo especificado en esta partida, mano de obra, herramientas, equipos, transporte e imprevistos necesarios para completar el trabajo.
- b) Los galones de asfalto líquido MC-30, empleados en la imprimación se pagarán de acuerdo con la partida Asfalto Líquido MC-30 para Imprimación.



### 3.1 ASFALTO LIQUIDO MC-30

#### Descripción

Con esta partida se pagará los galones de material asfáltico realmente empleados en la obra, que han sido verificados y aceptados por el Supervisor en la partida de imprimación.

#### Método de medición

Se medirá en galones, calculados de acuerdo a los niveles verificados en el camión distribuidor, antes y después de ejecutados los trabajos, luego de efectuadas las correcciones volumétricas por temperatura que resulten pertinentes. También debe verificarse que la cantidad por m<sup>2</sup> debe estar comprendido entre 0.2 y 0.6 gal, conforme se especifica en la partida de Imprimación.

#### Bases de pago

Se pagará con la Partida "Asfalto líquido MC-30" al precio unitario de contrato, constituyendo compensación total por el asfalto líquido empleado en la partida antes mencionada.

### 4.- CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE

#### Descripción

Este trabajo consistirá en una capa de mezcla asfáltica, construida sobre una superficie debidamente preparada, de acuerdo con las Especificaciones.

El Contratista, antes de la colocación de la mezcla asfáltica de rodadura, deberá proceder a una operación topográfica de nivelación longitudinal y transversal sobre la superficie de rodadura asfáltica o de base existente de modo de obtener una rasante adecuada, aprobada por la Supervisión.

### Método de medición

El método de medición se hará en cuatro formas y por separado:

- a) Superficie con carpeta asfáltica en caliente aceptada por el Supervisor, por el espesor correspondiente, a pagar en m<sup>3</sup>.
- b) Galones de cemento asfáltico, que se pagará con la partida correspondiente a Asfalto Sólido.

### Bases de pago

- a) Sólo recibirá pago aquel trabajo que cumpla con las especificaciones, cuyos controles de densidad y regularidad superficial hayan sido efectuados y sus resultados cumplan con lo estipulado.
- b) De acuerdo a lo indicado anteriormente, se pagará con la partida Carpeta Asfáltica en Caliente los metros cúbicos aceptados por el Supervisor, y este precio incluirá compensación total por todo el trabajo especificado en esta partida, mano de obra, herramientas, equipos, todos los materiales (excluyendo el Cemento Asfáltico).
- c) Los galones de cemento asfáltico verificados, aceptados por el Supervisor y empleados en la preparación de la mezcla asfáltica, se pagarán en la partida Asfalto Sólido, al precio contractual correspondiente.

Todos los transportes inherentes al proceso de fabricación y puesta en obra de la mezcla asfáltica se incluyen en el precio de la misma. Además, dicho precio y pago serán compensación íntegra y total por mano de obra (incluidas las Leyes Sociales), equipo, herramientas y demás imprevistos para completar la partida correspondiente. Asimismo, el Contratista deberá considerar dentro de su precio unitario, la diferencia volumétrica entre la mezcla asfáltica transportada y la finalmente instalada.

#### 4.1.- ASFALTO SÓLIDO PEN 85-100 PARA CARPETA ASFÁLTICA

##### Descripción

Con esta partida se pagará los galones de material asfáltico (cemento asfáltico PEN 85-100) empleado en la mezcla asfáltica en caliente que se utilizará en la construcción de la carpeta asfáltica, ensanches asfálticos, así como en las transiciones, variantes y accesos a centros poblados, que han sido verificados y aceptados por el Supervisor.

##### Método de medición

El asfalto consumido se medirá en galones. El volumen de asfalto AC 85-100, se determinará con base en los ensayos de extracción, los cuales servirán para medir el volumen de cemento asfáltico en función de la mezcla asfáltica puesta finalmente en plataforma, según indica el proyecto.

##### Bases de pago

Se pagará con la Partida 4, Asfalto Sólido PEN 85/100 para Carpeta Asfáltica y al precio unitario de contrato, constituyendo compensación total por el asfalto sólido puesto en obra.