

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



**PROYECTO MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA  
CARRETERA COCACHACRA-MATUCANA  
DEL Km. 57+000 AL Km. 60+000  
DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**ADRIAN RAMON MAMANI MAMANI**

**Lima- Perú  
2006**

CREDITOS :

© 2006, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA. Todos los derechos reservados

*El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos*

*Dedicatoria:*

*A mis padres y hermanos por su invaluable apoyo, comprensión y esfuerzo en el proceso formativo que demanda la carrera profesional*



## INDICE

*Pág.*

<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>8</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>8</b>
1.1 ASPECTOS GENERALES .....	8
1.1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL TRAMO.....	8
1.1.2 OBJETIVOS.....	9
1.1.3 DESCRIPCION DEL PROYECTO .....	9
1.1.4 INFORMACION DISPONIBLE .....	10
1.2 ESTUDIO DE TRÁFICO .....	11
1.2.1 VOLUMEN VEHICULAR DEL PROYECTO .....	11
1.2.2 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN VEHICULAR.....	12
1.2.3 PROYECCION DEL TRÁFICO AL AÑO 2026.....	13
1.2.4 EJES EQUIVALENTES (W18).....	14
1.3 ANALISIS DEL TRAZO VIAL.....	15
1.3.1 TOPOGRAFIA DE LA RUTA .....	15
1.3.2 DISEÑO GEOMETRICO .....	15
1.4 EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTECNIA.....	17
1.4.1 CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA.....	17
1.4.2 GEOTECNIA.....	19
1.5 ANALISIS DE LAS CONDICIONES HIDROLOGICAS Y DE DRENAJE .....	20
1.5.1 DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES HIDROLOGICAS EXISTENTES.....	20
1.5.2 ANALISIS DE LA INFORMACION PLUVIOMÉTRICA .....	20
1.5.3 ANALISIS DE CUENCAS .....	21
1.5.4 OBRAS DE ARTE .....	21
1.6 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.....	23
1.6.1 DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS .....	23
1.7 DISEÑO DEL PAVIMENTO .....	25
1.7.1 CRITERIO DE DISEÑO.....	26
1.8 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SEÑALIZACION VIAL.....	27
1.8.1 CARACTERISTICAS ACTUALES DE LA VIA Y PROYECCION DE SEÑALES.....	27
1.8.2 RESTRICCIÓN PARA EL TRÁNSITO .....	28
1.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA .....	29
1.10 IMPACTO AMBIENTAL.....	31
1.11 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE OBRA.....	33

<b>Capítulo II</b> .....	<b>34</b>
<b>COMPONENTES ESTRUCTURALES</b> .....	<b>34</b>
2.1 SUBRASANTE.....	34
2.2 CAPA DE SUBBASE.....	35
2.3 CAPA DE BASE.....	36
2.4 CAPA DE RODADURA .....	36
2.4.1 CARPETA DE DESGASTE O SELLO.....	37
<b>Capítulo III</b> .....	<b>38</b>
<b>CONSIDERACIONES DE DISEÑO</b> .....	<b>38</b>
3.1 ECONOMÍA.....	38
3.2 CLASIFICACIÓN DE CARRETERA.....	39
3.3 ESTUDIO DE TRANSITO.....	41
3.3.1 DATOS DEL ESTUDIO DE TRANSITO .....	41
3.3.2 EJES EQUIVALENTES .....	42
3.4 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES .....	46
3.4.1 SUELOS DE GRANO FINO.....	48
3.4.1.1 EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE.....	48
3.4.1.2 CALIDAD DE LOS MATERIALES.....	49
3.4.2 CLASIFICACION DE SUELOS.....	49
3.4.3 SUELOS GRANULARES.....	52
3.4.3.1 CALIDAD DE LOS MATERIALES.....	53
3.4.4 INFLUENCIA DE LAS CARGAS DE TRÁNSITO.....	56
3.4.5 MODULO RESILENTE .....	57
3.5 DRENAJE .....	58
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>60</b>
<b>DISEÑO DE ESPESORES POR EL METODO AASHTO</b> .....	<b>60</b>
4.1 PRINCIPIO DE DISEÑO.....	60
4.2 VARIABLES PARA EL DISEÑO .....	61
4.2.1 RESTRICCIONES EN EL TIEMPO.....	61
4.2.2 TRÁNSITO.....	62
4.2.3 CONFIABILIDAD R .....	65
4.2.4 DESVIACION ESTANDAR GLOBAL $S_o$ .....	66
4.2.5 CARACTERIZACION DE LA SUBRASANTE Y CAPAS GRANULARES.....	66
4.2.6 COMPORTAMIENTO FUNCIONAL.....	73
4.2.6.1 SERVICIABILIDAD.....	73
4.2.7 EFECTO DEL DRENAJE EN LA BASE Y SUBBASE.....	74
4.3 DETERMINACION DE ESPESORES .....	75
4.3.1 ANALISIS DE DISEÑO POR CAPAS.....	76

4.4	APLICACIÓN DEL METODO.....	78
4.5	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	84
<b>Capítulo V .....</b>		<b>85</b>
<b>CONSERVACIÓN DEL PAVIMENTO .....</b>		<b>85</b>
5.1	CONSERVACIÓN .....	85
5.1.1	FALLA EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	86
5.1.2	PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO .....	89
5.1.2.1	MANTENIMIENTO RUTINARIO .....	89
5.1.2.2	MANTENIMIENTO PERIODICO.....	90
5.1.3	REHABILITACIÓN Y REFUERZO ESTRUCTURAL.....	91
5.2	APLICACIÓN PARA REFUERZO ESTRUCTURAL .....	95
<b>Capítulo VI .....</b>		<b>102</b>
<b>TENDENCIAS MODERNAS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS.....</b>		<b>102</b>
6.1	MÉTODO MECANICISTA.....	102
6.1.1	PRINCIPIO DEL DISEÑO.....	103
6.1.2	MODELACIÓN .....	104
6.1.3	METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	105
6.1.4	MODELOS DE DETERIORO.....	106
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>108</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>111</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>112</b>

## RESUMEN

El presente informe, está orientado a mostrar el desarrollo del proyecto de mejoramiento y rehabilitación de la carretera Cocachacra - Matucana del km. 57+000 al Km. 60+000, haciendo una mayor incidencia en el área del estudio de pavimento, que comprende el diseño de espesores del pavimento flexible, siendo las demás áreas presentados de manera referencial.

El proyecto completo en mención, se elaboró como parte del Curso de Titulación 2005, reforzada con la salida de campo y los talleres grupales. El problema central fue corregir el alineamiento horizontal de la vía, el cual se hace muy sinuoso en ciertos sectores, lo cual deviene en reducción de la velocidad del usuario por ende aumento de los costos de operación vehicular; se propuso la corrección del alineamiento con el aumento de radios horizontales el cual genero sobre anchos en el lado izquierdo, debiendo construirse muros de contención de tres metros y medio de alto en promedio, en estos sectores. Además se hizo el diseño del pavimento con un enfoque técnico-económico para la optimización del diseño de espesor del pavimento que es donde se dará mayor énfasis en el presente informe, que forma parte del estudio de ingeniería del proyecto

Para el diseño del pavimento flexible se propuso la construcción por etapas para un horizonte de veinte años, con rehabilitación en el décimo año que consistió en el refuerzo estructural de la carpeta asfáltica, habiéndose previsto en el diseño evitar el daño estructural, con los trabajos de mantenimiento en la etapa de operación quedando así ininterrumpida la vía de gran importancia de traslado de mercancías y pasajeros del interior hacia la capital y viceversa.

Para una optimización del diseño de espesores del pavimento son considerados la funcionalidad, la resistencia, la durabilidad, la economía, la importancia de la vía; para que garantice el capital invertido y el servicio ininterrumpido durante el periodo de diseño.

El tramo de estudio presenta una aceptable calidad del material in situ de la subrasante cuya clasificación correspondió al tipo GP-GC, esto dio un aporte positivo al diseño, en vista de que el flujo vehicular es elevado, con vehículos de gran tonelaje. El diseño final del pavimento fue, subbase de 30 cm., base de 25 cm. y carpeta asfáltica de 11 cm. en la primera etapa; y para la segunda etapa el refuerzo es solo a nivel de carpeta asfáltica con un espesor mínimo de 5 cm.

## INTRODUCCIÓN

Dado la creciente demanda del transporte y a la necesidad de los poblados del territorio nacional de salir del subdesarrollo, urge la toma de conciencia de atender estos asuntos con participación del gobierno; la carretera de estudio forma parte de la red vial departamental, atravesando distintos centros poblados con características físico ambientales variada (costa sierra, selva); estas condiciones iniciales físico (topografía agreste, escarpada, etc.) ambientales (Intensa precipitación, fenómenos del niño, cambios bruscos de temperatura, etc.) le dan cierta particularidad para la concepción para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de la carretera. Dada la gran inversión que se requiere la puesta en servicio de un proyecto de infraestructura del transporte, donde hoy en día los recursos son escasos y la priorización para atender a los poblados afectados, se necesita tomar la decisión urgente, esta decisión esta avalada según los estudios de ingeniería y otras ramas como económicos, ambientales, etc.; esto debe garantizar la recuperación del capital, prestar los servicios de seguridad, confort, comodidad al usuario, conservación de la vía, minimizar los impacto socio ambientales negativos, etc.

Una parte muy importante en el estudio para el proyecto de una carretera es el diseño del pavimento, donde se analiza los aspectos técnicos económicos acorde a la realidad y las condiciones impuestas de servicio. El pavimento funciona como una estructura donde debe soportar las cargas de trafico que son disipadas hacia las capas inferiores constituyentes y los factores medio ambientales que se contrarresta con la calidad de los materiales para que no pierda su resistencia, no debemos olvidar también la aplicación en los trabajos de las correcta practicas ingenieriles para la construcción, todo esto influirá en la vida útil del pavimento.

Para el presente informe el diseño del pavimento esta basado en la metodología AASHTO '93, donde considera los aspectos funcionales, estructurales y económicos para el diseño. Por eso se opto por un diseño considerando un rehabilitado al décimo año con el debido mantenimiento rutinario anual y periódico quinquenal, para que sólo el daño producido durante el periodo de diseño sea a nivel superficial y así el rehabilitado en el décimo año sea menos costoso.



Para la elaboración del presente informe se dividió en seis capítulos:

Capítulo I: se expone el resumen ejecutivo que comprende los estudios de ingeniería, los estudios económicos, los estudios de impacto ambiental y el presupuesto de ejecución de obra

Capítulo II: Se describe la importancia que cada componente estructural de las capas del pavimento, su función y criterio para adecuar el espesor final en una primera instancia de acuerdo al terreno de fundación

Capítulo III: trata de las consideraciones iniciales para el diseño de espesores del pavimento como son los económicos, técnicos (tránsito, geotécnicos, hidráulicos, etc.), funcionales, medio ambientales, y confiabilidad para establecer los parámetros de entrada para el diseño de espesores.

Capítulo IV: se aplica el método AASHTO de diseño de espesores de pavimento, previamente conociendo los estudios de ingeniería como los geotécnicos y los estudios de tráfico y las consideraciones de diseño según lo amerite la vía. Para asignar la combinación de espesores y la calidad de los materiales requeridos para las capas estructurales del pavimento, que cumplan con prestar servicio en condiciones de confort, seguridad; con resistencia ante las cargas del tránsito y los daños por efecto medio ambientales en el periodo de diseño.

Capítulo V: trata de la conservación del pavimento, aquí se hace ver la importancia de realizar el mantenimiento en la etapa de operación a fin de no efectuar intervenciones tempranamente a causa de descuido en la conservación de la vía y también para efectuar rehabilitaciones económicas y planificadas.

Capítulo VI: trata de las tendencias modernas para el diseño de pavimentos donde el diseño del pavimento, es enfocado de acuerdo a la respuesta de su estructura como son sus esfuerzos y deformaciones que causan daño al pavimento, proponiendo límites admisibles de ejes equivalentes que no dañaran el pavimento.

Con el desarrollo de los capítulos, de lo aprendido en clase, fortalecidos con la salida de campo y la experiencia adquirida se plasmara el diseño de espesores del pavimento.

Finalmente quiero agradecer a los profesores de curso de titulación por su valiosa enseñanza, a mis compañeros del G-3 de cuya sinergia formada, se logro encaminar los esfuerzos para la realización de los objetivos planteados.

# Capítulo I

## ANTECEDENTES

El capítulo a desarrollar, hace referencia al estudio del proyecto, que comprende los estudios de ingeniería, los de impactos ambientales, los económicos y el presupuesto de ejecución de obra.

### 1.1 ASPECTOS GENERALES

#### 1.1.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

La Carretera Héroes de la Breña, debido a su ubicación geográfica es continuamente afectado por las lluvias y deslizamientos, y debido a su importancia para el desarrollo del país, vehículos de gran tonelaje transportan mercancía y pasajeros; estos dos factores principales con el pasar del tiempo hacen que el deterioro de la vía se acreciente, razón por lo cual es permanentemente rehabilitada para devolverle las condiciones de serviciabilidad inicial. En septiembre del 2002, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones culminó la rehabilitación de la presente carretera, con recursos directamente recaudados por el SINMAC y con recursos del Japan Bank for International Cooperation (JBIC), antes Fondo de Cooperación Económica a Ultramar del Japón (OECF), a través del convenio de Préstamo PE-P22. La obra la ejecutó el consorcio PCI – CESEL, al que se adjudicó la Buena Pro mediante Resolución Directoral N° 409-99-MTC/15.02 SINMAC el 25 de octubre de 1999.

El Estado peruano, a través del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y el Ministerio de Relaciones Exteriores viene desarrollando el Plan de Acción para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana (IIRSA). Formando parte de este Plan se encuentra el Corredor Vial Amazonas Centro, que comprende los tramos de carretera Lima - La Oroya - Pucallpa y La Oroya – Huancayo y que permitirá el intercambio social y comercial en adelante con Brasil, a través de la ruta Iquitos – Manaus – Macapa.

En la actualidad este corredor vial presenta características técnicas y físicas que hace que las condiciones de funcionalidad y serviciabilidad no sean las más adecuadas, situación que definitivamente influye en la óptima operación del

mismo; tal es el caso de la vía Lima – La Oroya, tramo II: Cocachacra – Matucana, cuya sinuosidad restringe la velocidad, en ciertos sectores donde se han propuesto corregir la sinuosidad.

El presente proyecto plantea el mejoramiento del alineamiento geométrico horizontal actual, a fin de mejorar la transitabilidad en algunos sectores que presentan problemas de visibilidad por ende disminución de la velocidad.

### **1.1.2 OBJETIVOS**

El proyecto propuesto para el mejoramiento del Tramo II: Cocachacra-Matucana, sector Km. 57+000 al Km. 60+000, tiene por objetivo mejorar las condiciones existentes de funcionalidad que ofrece la vía para un horizonte de 20 años (al 2026), y verificar el diseño del pavimento flexible

### **1.1.3 DESCRIPCION DEL PROYECTO**

#### **Ubicación Geográfica**

El tramo II: Cocachacra – Matucana, se encuentra ubicado en la región de Lima, provincia de Huarochiri, distritos de Santa Cruz de Cocachacra, San Bartolomé, Surco y Matucana, desde una altitud que varía de 1600 m.s.n.m a 2400 m.s.n.m. El sector en estudio esta comprendido entre las progresivas: Km. 57+000 al Km. 60+000, se ubica íntegramente en el distrito de San Bartolomé a una altitud de 1600 m.s.n.m.

Las obras que contempla la alternativa escogida desde el punto de vista técnico-económico fueron:

#### **Muro de Contención**

- Primer sector (Km. 57+970 al Km. 58+219): 70 m. de longitud, 3.50 m. de altura y un espesor en la corona de 0.20 m. La cimentación es de 2.80 m. x 0.45 m.
- Segundo sector (Km. 59+377 al Km. 59+823): dos muros de 60 m. de longitud cada uno, 3.50 m. de altura y un espesor en la corona de 0.20 m. La cimentación es de 2.80 m. x 0.45 m.

## **Pavimentos**

- Subbase: será de material granular y tendrá un espesor de 0.30 m.
- Base: será de material granular y tendrá un espesor de 0.25 m.
- Carpeta de rodadura: será de mezcla asfáltica en caliente y tendrá un espesor de 0.10 m. en los primeros diez años y en los próximos diez años se efectuará la rehabilitación del tramo que consistirá en un fresado y un recapeo llegando a tener la carpeta asfáltica un espesor total de 0.15m.

## **Obras complementarias**

- Se tiene previsto realizar trabajos para mejorar el funcionamiento de las obras de drenaje
- Dentro del marco del proyecto se han propuesto la reubicación y proyección de nuevas señales informativas acorde al nuevo alineamiento

### **1.1.4 INFORMACION DISPONIBLE**

La información que se utilizó para el desarrollo del presente estudio se obtuvo de las siguientes instituciones: SENAMHI, INRENA, INEI, INGEMMET, IGN, archivos de INTERNET de empresas privadas, MTC y MEF, principalmente.

## 1.2 ESTUDIO DE TRÁFICO

En el presente estudio se establecieron los parámetros de tránsito requeridos como el Índice medio diario, repeticiones de ejes equivalentes para la evaluación del análisis económico y del diseño del pavimento; para lo cual se realizaron trabajos de campo y gabinete de la vía que une Cocachacra con Matucana, parte de la Carretera Central.

### 1.2.1 VOLUMEN VEHICULAR DEL PROYECTO

#### ***Datos de conteo vehicular recopilados***

Se obtuvieron los datos de conteo vehicular de las siguientes fuentes:

- Conteo vehicular para los días jueves 28/04/1996, viernes 29/04/1996, y sábado 30/04/1996, en la estación E-1 (Km. 54).
- Promedios diarios de tráfico – Peaje de Corcona, mes de Mayo del 2000, resultado del conteo vehicular entre los días Jueves 04/05/2000 al Miércoles 10/05/2000
- IMDA año base 2000, por tipo de vehículo.
- Totales mensuales de vehículos según clase, de la unidad de peaje Corcona, para los años 2003, 2004 y 2005.

#### ***Consideraciones del cálculo***

Se considerado el Reglamento Nacional de Vehículos, promulgado mediante D.S. N° 058-2003-MTC del 12 de octubre del 2003. Asimismo, se ha considerado una presión de contacto igual al 90% de la presión de inflado de las llantas (factor de ajuste (FA) de 1,05), de acuerdo al gráfico elaborado por H.F. Southgate y R.C. Deen en el Kentucky Transportation Research Program (1985).

#### ***Tránsito para el año inicial, período de diseño y tasa de crecimiento***

Para el cálculo del Tránsito para el año inicial, 2006, se tomaron como referencia base los resultados del conteo vehicular del año 1996, y los IMD proporcionados de los años 2000, 2003, 2004 y 2005. Se considera para el diseño un período de 20 años, a partir del 2007.

Para la tasa de crecimiento, se considera dividir el tráfico en liviano y pesado. En el cálculo empleado en el presente informe se utilizaron como tasas de crecimiento los máximos incrementos porcentuales del comportamiento vehicular histórico entre los años 2003 y 2005 (esto es, 5,58% para vehículos livianos y 3,90% para vehículos pesados).

**Tabla 1.1: Variación anual del IMD, estación de peaje Corcona**

VEHICULOS	1996	2000	2003	2004	2005
Veh. Ligeros	985	1188	1202	1257	1246
Veh. Pesados	1385	2317	2053	1973	2027
Total	2370	3505	3255	3230	3273

*Fuente: Elaboración propia*

## 1.2.2 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN VEHICULAR

El índice medio diario anual proyectado y la composición vehicular para el año 2006 fue el siguiente (ver tabla 1.2, pagina siguiente):

Tabla 1.2: Índice medio diario anual (IMDA) para el año 2006

Clasificación Vehicular	Tipo	1996	2000	2006
LIVIANOS	ACÉMILAS			
	MOTOS			
	AU	318	630	735
	CAMT	394	319	137
	COMBI	166	134	58
	MICRO	91	133	133
OMNIBUS	B2	257	293	232
	B3	110	126	100
	B4			
CAMIÓN	C2-Ch	260	497	570
	C2	220	420	482
	C3	305	358	292
	C4		32	54
SEMITRAYLER	2S1			
	2S2	79	40	2
	2S3	97	133	125
	3S1			
	3S2	51	70	67
	3S3	10	267	436
TRAYLER	2T2	1	3	6
	2T3	1	1	1
	3T2	2	23	35
	4T2			
	3T3	8	26	37
	3T4			
	4T3			
TOTAL		2,370	3,505	<b>3,502</b>

Fuente: Elaboración propia

### 1.2.3 PROYECCION DEL TRÁFICO AL AÑO 2026

Se proyectó el tráfico para el período de diseño de 20 años tabla 1.3. Para el cálculo se siguió el siguiente criterio: se halló el porcentaje de vehículos livianos y pesados que recorrían la vía en las diferentes horas a partir del detalle del conteo vehicular durante una semana realizado en 1996. A partir de este comportamiento, y aplicando la tasa de crecimiento vehicular hallada de los datos del 2003 al 2005, se proyectaron los IMDA para el horizonte del proyecto.

**Tabla 1.3: Proyección del tráfico para el período de diseño 2006-2026**

Tipo de Vehículo	2006	2011	2016	2021	2026
Vehículo Liviano	1300	1443	1586	1729	1871
Vehículo Pesado	2202	2487	2773	3058	3344
<b>TOTAL</b>	<b>3502</b>	<b>3930</b>	<b>4359</b>	<b>4787</b>	<b>5215</b>

Fuente: Elaboración propia

### 1.2.4 EJES EQUIVALENTES ( $W_{18}$ )

Para el cálculo de ejes equivalentes simples EAL ( $W_{18}$ ) se considero los ejes o conjunto de ejes de los vehículos pesados cargados a su máxima capacidad según el cuadro, además de considerar los factores de distribución por carril y por factor direccional. La tabla 1.4 muestra los ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño; para detalles ver anexo cálculo de ejes equivalentes.

**Tabla 1.4: Ejes equivalentes para el periodo de diseño**

Ejes equivalentes simples acumulados de 8.2 tn.	2011	2016	2021	2026
EAL ( $W_{18}$ )	1.035 E+07	2.288 E+07	3.805 E+07	5.641 E+07

Fuente: Elaboración propia, para más detalle de cálculo ver anexos.

No se incluyó el efecto dañino de vehículos livianos, el resto fueron considerados, con un promedio de presión de inflado de llantas de 90 psi

Se utilizó la data histórica del crecimiento vehicular siendo la tasa de crecimiento para vehículos livianos de 5.58% y para vehículos pesados de 3.90%



### **1.3 ANALISIS DEL TRAZO VIAL**

#### **1.3.1 TOPOGRAFIA DE LA RUTA**

##### ***Reconocimiento General de la Ruta***

El sub-tramo en estudio tiene una longitud de 3 Km., se inicia en el Km. 57+000 hasta el Km. 60+000, forma parte de la Carretera Héroes de la Breña, Tramo II Cocachacra – Matucana, ubicada en la provincia de Huarochirí, región Lima.

Durante el recorrido se observó que la carretera presenta bastante sinuosidad, por lo que la misma se ha considerado como muy accidentada, de categoría tipo 4. La ruta presenta curvas horizontales alternadas en el mismo sentido y otras en sentido contrario; con tramos en tangente cortos, donde la velocidad del usuario se restringe.

#### **1.3.2 DISEÑO GEOMETRICO**

El tramo comprende desde el Km. 57+000 hasta el Km. 60+000, el eje propuesto se desarrolla casi en su totalidad por el eje de la vía actual, de tal manera que los cambios efectuados no afecten la propiedad privada y no se vea afectado el costo de la obra. Para el presente proyecto, se esta considerando la velocidad directriz de 55 Km./h.

La zona presenta una orografía accidentada, durante el trayecto se encontraron 15 curvas horizontales, algunas con problemas de visibilidad y otras con problemas con las longitudes de los tamos en tangentes entre curvas del mismo sentido y sentido opuesto.

Los radios que presenta la vía en las curvas horizontales son amplios, los mismos que varían entre 93 m y 225 m cumpliendo casi la totalidad con la norma EG-2001 Salvo excepción los radios para tener en cuenta son los que se encuentran en las curvas C-27, C-30, C-31 y C-34.

En el presente proyecto se realizaron 02 variantes en el trazo. Básicamente, se modificó los sectores ubicados entre las progresivas 57+970 al 58+219 y 59+377 al 59+823. Por lo que se hicieron modificaciones en los radios y longitudes en dichos sectores, en donde se trato de suavizar el trazo sinuoso. Los cambios se efectúan en una zona donde no cumplen las longitudes de espirales, por lo que prescindíó de las mismas.

Dichas modificaciones generaron la proyección de muros de contención en los tres sectores, uno en el 1er tramo y 02 en el tramos siguiente, por lo que, se tendrá que realizar un relleno en las laderas de la vía existente. Cabe mencionar, que estas modificaciones generarán que el tráfico sea más fluido a lo largo del tramo en cuestión. Dado que la pendiente se encuentra en el rango aceptable, se considerará la misma pendiente que tenía en los tramos anteriores. Los muros propuestos por la modificación del trazo son:

**Tabla 1.5: Ubicación de muros de contención**

DESCRIPCION	DETALLE	
	PROGRESIVA	LONGITUD
MURO 1	58+000 – 58+070	70
MURO 2	59+420 – 59+480	60
MURO 3	59+600 – 59+660	60

*Fuente: Elaboración propia*

Las pendientes varían entre un mínimo de 0.77% en una longitud de 319.00 m hasta una máxima de 6.83% en una longitud de 220.50. Observándose que los tramos carecen de pendientes pronunciadas, las mismas que están acorde a lo establecido en las normas que regula la geometría del trazo.

## 1.4 EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTECNIA

Lo indicado, corresponde a la evaluación geológica y de geotecnia del sector comprendido entre las progresivas Km. 57+000 y Km. 60+000, del tramo II: Cocachacra – Matucana, carretera Héroes de La Breña.

Para la formulación del presente informe se ha seguido los siguientes pasos:

- Revisión del Mapa Geológico de los Cuadrantes de Chosica y Matucana (hojas 24j y 24k). (INGEMMET), a escala 1/100 000.
- Revisión y análisis de los estudios geotécnicos-geológicos de la carretera en estudio, anteriormente efectuados.
- Inspección in situ, lo cual permitió determinar las estructuras geológicas, la geomorfología, la estratigrafía y los sectores críticos que presentan problemas de geodinámica externa.

### 1.4.1 CARACTERIZACION GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA

Se encontró las siguientes unidades litológicas en el sector de estudio:

#### **Depósitos Cuaternarios**

Esta unidad se encuentra aflorando en el lado derecho de la carretera, desde la progresiva Km. 60+000 al Km. 58+800 y desde el Km. 58+000 al Km. 57+760. Son de dos tipos depósitos aluviales (Q-al) y depósitos Coluviales (Q-co).

#### **Intrusivas**

Entre las progresivas Km. 58+800 al 58+000 y del Km. 57+640 al Km. 57+000, afloran rocas del tipo andesita.

**Tabla 1.6: Principales unidades litológicas**

Sector	Mar - gen	Formación	Símbolo	Tipo de roca	Falla Geológica	Orientación	Fracturas	Inclinación del talud
57+000-57+640	D	Intrusivo	Ks-a	Andesita	No	NW-SE	Si	70-80
57+640-58+000	D	Aluvio - coluvial	Qr-co/al	Tonalita/ granodiorita	No	NW-SE	No	60-80
58+000-58+800	D	Intrusivo	Ks	Andesita	No	-	Si	80-90
58+800-60+000	D	Aluvio - coluvial	Qr-co/al	Tonalita/granodiorita	No	-	No	60-80

*Fuente: Elaboración propia*

En este sector de carretera, los procesos de geodinámica que tienen mayor incidencia son:

- Desprendimiento de rocas, bolonería y bloques rocosos
- Erosión en cárcavas
- Los Huaycos

### ***Inventario de taludes inestables.***

De acuerdo al reconocimiento de campo se ha identificado e inventariado los sitios que presentan problemas de inestabilidad de taludes, los mismos que se presentan en el cuadro siguiente.

**Tabla 1.7: Inventario de Taludes Inestables**

Progresiva	Descripción general	Recomendación
59+850	Debido a la alta pendiente del talud y las lluvias se presenta formación de cárcavas; existen bolonería en los taludes de corte de hasta 3.0 m. de diámetro que en presencia de lluvias hace inminente su caída	Realizar actividades de desquinche del talud para el retiro de bolonería inminente a desprenderse; efectuar obras de encauzamiento y obras que contrarresten la velocidad del flujo en los taludes para evitar la formación de cárcavas; monitoreo antes y después de las lluvias.
58+760	Este talud rocoso se encuentra debilitado estructuralmente y esto es debido a su sistema de fracturamiento que muestra espaciamiento cortos entre fracturas. Esta disposición puede generar el desprendimiento violento de las rocas.	Realizar trabajos de desquinche del talud, para el retiro de bolonería propensa a desprenderse; realizar trabajos de anclajes de talud; monitoreo permanente
58+400	Presenta dos sistemas de fracturamiento, el sector puede desprenderse en cualquier momento, causando obstrucción en las cunetas adyacentes al talud	Realizar trabajos de desquinche, para retirar los bloques de roca propensos a desprenderse Monitoreo periódicamente
58+200	La roca que caracteriza este sector es la andesita. Presenta dos sistemas de fracturamiento. El corte de talud sigue la misma inclinación del talud del sistema de fracturamiento	Realizar periódicamente trabajos de desquinche, para el retiro de bloques propensos a caer Trabajos de anclajes para estabilizar el talud Monitoreo permanente

Fuente: Elaboración propia

## 1.4.2 GEOTECNIA

Se caracterizó la subrasante y se obtuvieron muestras de calicatas para ser ensayadas, en la cantera la esperanza y en el sector de nuestro tramo al lado izquierdo de la vía

### **Subrasante**

Estudios anteriores muestran a nivel de subrasante los resultados de las 7 calicatas muestreadas en los lados derecho e izquierdo de la vía, pudiéndose observar según la clasificación SUCS demarca un suelo gravoso arcilloso, la clasificación AASHTO un suelo tipo A-1-a (0) y obteniéndose un CBR AL 95% comprendido entre 12 y 59 % de la máxima densidad seca, con estos valores se obtiene un modulo resiliente de 11,777.35 para un percentil al de la muestra del valor de soporte CBR.

### **Cantera**

La cantera Esperanza se encuentra ubicada en el Km. 58+500 a 0.70 Km. del eje de la vía, en el cauce del río Rímac. El acceso a la cantera Esperanza contempla una trocha de penetración de gran pendiente y angosta, cuyo ingreso es por el Km. 57+500 (cerca al puente Esperanza). Del estudio de cantera se concluyo que los materiales naturales necesitan ser tratados mediante zarandeo y trituración, a fin de alcanzar los requerimientos granulométricos y de resistencia deseados para los usos proyectados en el presente estudio.

### **Fuentes de agua**

La fuente de agua a emplear es la quebrada surco, ubicada en el Km. 66+000, de la carretera en estudio. De los ensayos de laboratorio se determinó que el agua de la quebrada Surco es apta para el uso propuesto, por su bajo contenido de sales y sulfatos.

### **Perfil estratigráfico**

Dada la información del estudio de suelos se elaboro el perfil estratigráfico en el tramo en estudio. De ello se observa el perfil estratigráfico a nivel de subrasante, predominando las gravas provistas con una menor cantidad de limos y arcillas.

### **Homogenización de la subrasante**

Para la homogenización de zonas se opto por simple inspección según el perfil estratigráfico proporcionado; optándose por asumir un suelo tipo GP-GC que corresponde a una grava pobremente graduada con composición de arcillas

## **1.5 ANALISIS DE LAS CONDICIONES HIDROLOGICAS Y DE DRENAJE**

### **1.5.1 DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES HIDROLOGICAS EXISTENTES**

La zona del proyecto se encuentra emplazada dentro de la cuenca del río Rímac. Ésta asciende a los 3 583 Km<sup>2</sup>, de los cuales el 61,7% (2 211 Km<sup>2</sup>) corresponden a la cuenca húmeda sobre los 2 500 msnm. La orografía característica de la cuenca es alargada, de fondo profundo y fuerte pendiente.

Dentro de la zona se puede ubicar una quebrada mayor, la Quebrada Esperanza, que es la única quebrada de significancia que se puede apreciar según la cartografía. Existe otra quebrada de regular importancia hacia la progresiva 59+180, aunque de poco ancho.

### **1.5.2 ANALISIS DE LA INFORMACION PLUVIOMÉTRICA**

De las tres estaciones principales para el presente análisis, esto es, Santa Eulalia, Matucana y Chalilla, se procedió a uniformizar las series para darle consistencia al análisis. Como tanto las estaciones Santa Eulalia como Matucana tienen 35 datos, con apenas un año de diferencia, se generaron datos para la estación Chalilla.

Seguidamente, se analizaron las distribuciones de frecuencia para las nuevas series de datos consideradas, utilizando las distribuciones de frecuencia Normal, Log-Normal, Gumbel y Log-Gumbel.

Y aplicando las pruebas de bondad de ajustes Chi cuadrado ( $\chi^2$ ) y Kolmogorov-Smirnov, se concluye que para las estaciones Santa Eulalia y Matucana se empleará la distribución Gumbel, mientras que para Chalilla se empleará la distribución Log-Normal.

#### **Determinación de las precipitaciones de diseño**

Empleando las mencionadas distribuciones de frecuencia para las estaciones, se calcularon las precipitaciones de diseño para períodos de retorno de 10, 25 y 100 años, las que se emplearán en el análisis de cunetas, alcantarillas y puentes, respectivamente.

**Tabla 1.8: Precipitación de diseño para distintos periodos de retorno (mm)**

Estación	P10	P25	P100
Santa Eulalia	21.7	33.1	44.8
Matucana	26.7	35.8	45.1
Chalilla	55.7	67.6	81.8

*Fuente: Elaboración propia*

### 1.5.3 ANALISIS DE CUENCAS

Para realizar el análisis de cuencas se determinó previamente los parámetros hidrológicos como el Tiempo de concentración (Tc), Intensidad (I) y caudal (Q). Conocidos estos parámetros se estimaron los caudales máximos.

**Tabla 1.9: Precipitaciones de diseño calculaos a partir de los planos de isoyetas**

Tipo de estructura	Periodo de retorno (T años)	Precitación (mm.)
Cunetas	10	32.5
Alcantarillas	25	42.5
Puentes	100	55.5

*Fuente: Elaboración propia*

### 1.5.4 OBRAS DE ARTE

Se ha efectuado una inspección ocular y se conformó el inventario de la totalidad de las alcantarillas existentes en la zona en estudio, así como de las cunetas y demás obras de arte.

#### Verificación hidráulica de las estructuras existentes

La verificación de las estructuras existentes se realizó calculando los caudales que debían discurrir a través de los mismos (producto de las precipitaciones y escorrentía de la zona), por medio del Método Racional, y comparándolos con la capacidad hidráulica de las estructuras.

#### Puentes

El puente La Esperanza tiene una luz de 51 m, en una quebrada de poco más de 4 Km<sup>2</sup> de área. El puente Cascada tiene una luz de 52 m, ubicado en una quebrada de poco ancho (que incluso apenas figura en las cartas geográficas a

escala 1:25 000). Al estar los estribos alejados del cauce, la capacidad hidráulica del mismo resulta más que suficiente para la demanda.

### Alcantarillas

Las alcantarillas ubicadas en este sector tienen una capacidad, en las condiciones más favorables, de 1,130 m<sup>3</sup>/s, y en las más desfavorables de 0,340 m<sup>3</sup>/s. Analizándose las alcantarillas inventariadas, se hallaron que todas las alcantarillas tienen la sección suficiente para el requerimiento hidráulico existente.

### Cunetas

Las cunetas a sección totalmente llena discurre un caudal de 0,477 m<sup>3</sup>/s; y a sección al 75% del tirante, 0,034 m<sup>3</sup>/s (1,678 m/s). Analizándose las cunetas inventariadas, se hallaron que la sección típica de la cuneta (0.60 m de ancho por 0.40 m de alto) es suficiente para discurrir el flujo al 100% del tirante.

### Obras proyectadas y trabajos por realizar

Dado que las estructuras tienen una sección suficiente para los requerimientos de flujo, no será necesario proyectar ninguna estructura. Sin embargo, considerando los requerimientos del proyecto, se alargarán dos (02) alcantarillas, ubicadas en las progresivas 59+440 y 59+620 y se ha creído conveniente reconstruir algunos emboquillados, tal como se muestra en el cuadro.

**Tabla 1.10: Proyección de obras de drenaje para ejecución**

Progresiva	Actividad
57+039	Construcción emboquillado salida de alcantarilla
57+280	Construcción emboquillado salida de alcantarilla
58+151	Construcción de dissipador de energía salida de alcantarilla
59+100	Reparación de emboquillado entrada de alcantarilla
59+440	Prolongación de alcantarilla y reparación de emboquillado a la entrada
59+620	Prolongación de alcantarilla y reparación de emboquillado a la entrada
59+695	Reparación de emboquillado a la entrada de alcantarilla y construcción de emboquillado a la salida
59+810	Prolongación de la estructura de emboquillado a la salida de alcantarilla

Fuente: Elaboración propia



## 1.6 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Comprende principalmente la inspección y evaluación del puente Collana además del inventariado de los túneles y puentes encontrado en nuestro tramo de estudio asignado (Km 57+000 – Km 60+000), que son el Puente La Esperanza y el Puente La Cascada.

### 1.6.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS

#### **Puente Collana**

El puente Collana Se encuentra ubicado en la progresiva 71+520 pertenece a la carretera “Héroes de La Breña” tramo II Cocachacra - Matucana

Es un puente curvo de 150 m, de longitud de tres tramos, constituido por dos estribos y dos pilares, la longitud entre pilares es de 90 m. y de entre pilar y estribo es de 30 m.

Los estribos son de concreto armado a la vez sirven como muro para el relleno del acceso al puente, tiene ventanas de inspección. La superestructura esta constituida por una viga tipo cajón post-tensada de altura variable, encima de esta viga tipo cajón se encuentra el tablero conformado por la losa de concreto armado.

#### **Puente La Cascada**

Se encuentra ubicada en la progresiva 59+180 de la carretera “Héroes de La Breña” en el tramo Cocachacra – Matucana. Es un puente recto de 52 m, de luz, de losa de concreto reforzado y vigas longitudinales de peralte 2.3m, de concreto preesforzado y vigas transversales, además posee 2 estribos de concreto reforzado. Posee veredas ancho 70cm. y barandas metálicas de alto 1.20 m, a ambos lados de la vía

Tiene suficiente capacidad hidráulica, su quebrada es profunda, los estribos están alejados del cauce.

Esta ubicado cerca de la curva 30 (Km 59+220) por lo que lo que presenta regular problema de visibilidad

Sus estribos están fisurados, a causa del deterioro de los materiales de apoyo, que requiere pronto cambio

## **Puente La Esperanza**

El puente La Esperanza se encuentra ubicado en la progresiva 57+576, pertenece a la carretera “Héroes de La Breña” tramo Cocachacra – Matucana. Es un puente recto de 51 m, de luz, de losa de concreto reforzado y vigas longitudinales de peralte 2.20 m, de concreto pre-esforzado y vigas transversales, además posee 2 estribos de concreto reforzado. Posee veredas ancho 70cm. y barandas metálicas de alto 1.20 m, a ambos lados de la vía. Este puente tiene suficiente capacidad hidráulica, su quebrada es profunda y, los estribos están alejados del cauce. Sus estribos presentan fisuramiento, debido al mal estado de los materiales de apoyo y a la filtración de una tubería de agua que pasa cerca de la zona de apoyo.

Se necesita hacer la limpieza de la vegetación cerca de los estribos y el cambio de los aparatos de apoyo.

## **Túneles**

A lo largo de la vía en nuestro tramo asignado, se encuentran dos estructuras de especial importancia que son los falsos túneles; estas estructuras cumplen la función de drenar los flujos de huaycos que es constante en épocas de lluvia. Estas estructuras están hechas de concreto armado, de una sección tipo abovedada, de concreto armado, de longitudes cortas de 30 a 40 m, la altura interior está entre 6.5 m; sobre la parte superior del túnel se le ha dado la forma de un canal con terminación tipo cabezal de una alcantarilla, para conducir los escombros y evitar desbordes sobre la carretera. En las paredes del túnel llevan lloraderos para evitar la sobrecarga debido a la saturación, cuando hay lluvias, estos lloraderos drenan hacia la cuneta tipo sección rectangular a ambos lados del túnel. A estos túneles les falta una adecuada señalización, ya que incluso el túnel 01 es parte de una curva, además se debería darle el mantenimiento adecuado ya que se observa con pintas que pueden perturbar en el manejo vehicular; además hay tuberías de agua en mal estado que pasan por el túnel que inundan el techo de este todo el tiempo.

## 1.7 DISEÑO DEL PAVIMENTO

Se efectuó el diseño del pavimento tomando como datos de partida los estudios de geotecnia para la obtención del modulo resiliente mediante ecuaciones de correlación a partir del valor de soporte CBR y el estudio de tráfico expresado en ejes equivalente, proyectándolo para el periodo de diseño de 20 años y las condiciones de serviciabilidad que presta la vía al usuario

El pavimento actual se encuentra en buenas condiciones razón por lo cual se verifico en base a los datos del estudio anterior sus espesores, estando cercanamente los valores calculados teóricamente a los espesores existentes.

Según el perfil estratigráfico el tramo comprende a una misma sectorización por tener el mismo tipo de suelo predominante (GP-GC) a una profundidad de 0.40 m.; en lo que corresponde a la evaluación superficial se hizo la inspección ocular recorriendo a pie los 3 Km. y luego con camioneta, no presentándose fallas relevantes que se distinguan para sectorizar en subtramos que puedan tener propiedades de suelos diferentes.

El método que se empleo fue el de diseño de espesores de pavimentos según la guía AASHTO. Donde el pavimento diseñado adopta un **Número Estructural** Para el cálculo del número estructural, un parámetro importante es el calculo del módulo resiliente de la subrasante, dado que no se contó con instrumentos de medición sofisticados para la obtención del módulo resiliente se uso la fórmula de correlación con el valor de soporte CBR recomendado por la guía de diseño de espesores de pavimentos de la AASHTO, el **Módulo resiliente** obtenido al 95% fue de **11775.35**

**Tabla 1.11: Valores de soporte (CBR) de la subrasante del tramo y Modulo resiliente**

CBR 95% Ordenado	Mr = $4326 \cdot \ln(\text{CBR}) + 241$	Valores Mayores a Mr	Percentil %
59	17880.43	1	14.3
55	17576.72	2	28.6
37	15861.83	3	42.9
27	14498.79	4	57.1
23	13805.15	5	71.4
22	13612.85	6	85.7
12	10990.71	7	100.0

Fuente: Elaboración propia

### 1.7.1 CRITERIO DE DISEÑO

Para la decisión del diseño óptimo del pavimento se consideró los aspectos técnicos- económicos, en la parte técnica se previó la durabilidad del pavimento donde la serviciabilidad final mínima adoptada fue de 2.0 (para que no llegue al colapso), y en lo referente a lo económico prima la recuperación de la inversión donde los recursos al inicio son escasos, en ese sentido se planteo el diseño para un periodo de 20 años, y luego el otro diseño considerando rehabilitación en el décimo año. Los resultados fueron:

**Tabla 1.12: Comparación del diseño del pavimento para un solo periodo de 20 años y para diseño por etapas con refuerzo**

ESPESORES	CONSTRUCCION NUEVA	CONSTRUCCION POR ETAPAS	
	20 Años	10 años	10 -20 años (*)
Carpeta Asfáltica	14.5	10	5
Base	25	25	-
Subbase	30	30	-
<b>NUMERO ESTRUCTURAL</b>	5.68	4.86	0.81

(\*)Rehabilitación con refuerzo estructural a nivel de carpeta asfáltica  
Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de la tabla 1.12, la carpeta asfáltica para el diseño a un solo periodo de 20 años, es mayor que la carpeta asfáltica para un periodo de diseño por etapas de 10 años, en el primer caso la inversión inicial será mayor y debido al largo periodo que prestara servicio se tendrá que conservarla permanentemente para llegar con una serviciabilidad final de 2.0.

Se eligió la segunda alternativa por ser de menor inversión inicial sin descuidar la calidad, donde se aplicara al décimo año la rehabilitación del pavimento con un refuerzo de carpeta asfáltica de espesor de 5 cm. Para esto se hará el fresado y el sello de fisuras antes de colocar la capa de refuerzo.

Para la conservación del pavimento se prevé realizar las actividades de mantenimiento rutinario anual y mantenimiento periódico cada cinco años y la rehabilitación se hará al décimo año

## **1.8 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SEÑALIZACIÓN VIAL**

Los cambios propuestos en el alineamiento del trazo existente, han propiciado la reubicación de señales verticales preventivas y reglamentarias, marcas en el pavimento. En el diseño se ha adoptado la normatividad vigente y las indicadas en el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, aprobado por el Ministerio de Transportes, y Comunicaciones según Resolución Ministerial N° 210-2000-MTC-15-02 del 03 de Mayo del 2000. Las señales y elementos de seguridad vial que se proyectan implementar, corresponden al cambio del alineamiento del trazo existente.

### **1.8.1 CARACTERÍSTICAS ACTUALES DE LA VIA Y PROYECCION DE SEÑALES**

- En este sector de carretera se han identificado señales verticales reglamentarias del tipo prohibitivas (R-30 y R-15); preventivas correspondientes a advertir la presencia de curvas, curvas y contracurvas, así como camino sinuoso y la presencia de túneles; informativas que corresponden a los paneles informativos que nos indican los nombres y características principales de los puentes (I-18). Las señales que se encuentren en el sector a modificar, serán reubicadas.
- En cuanto a la señalización horizontal, está referido a las marcas sobre el pavimento como línea central y línea de borde de pavimento.
- Existen hitos kilométricos cada Kilómetro. Con el cambio de trazo se requiere la reubicación de los hitos existentes.
- Dentro de las señales también se ha incluido la ubicación de tachas, las mismas que irán distanciadas de acuerdo al reglamento de tránsito. Este tipo de elementos se ha previsto en las curvas de volteo y en el eje de la vía.
- Existen postes delineadores a lo largo del sector. Se ha propuesto colocar delineadores en las curvas que han sido modificadas

## 1.8.2 RESTRICCIÓN PARA EL TRÁNSITO

Durante los trabajos de construcción se colocará señales preventivas, reglamentarias y de información, pueden instalarse sobre las barreras, pero no debe permitirse que interfieran con la efectividad de éstas o de otras señales o dispositivos de control de tránsito.

Las señales preventivas deberán aplicarse con suficiente anticipación, cuando se cierre u obstruya el carril a intervenir, a fin de advertir al conductor de la restricción y riesgo existente en la zona.

Las señales de prevención deberán tener forma de diamante, es decir, un cuadrado colocado con una diagonal vertical, con símbolo o mensaje en negro y fondo anaranjado reflectante, además tendrá una orla negra fija.

Además, de las señales verticales de deben colocar otros elementos como barricadas, conos, tranqueras, etc. La función de las barricadas y elementos para canalizar el tránsito es la de advertir y alertar a los conductores de los peligros causados por las actividades de construcción dentro de la calzada o cerca de ella, con el objeto de dirigirlos a través de la zona de peligro.

## **1.9 EVALUACIÓN ECONÓMICA**

El costo del proyecto para la evaluación económica se está tomando para los 21 km. suponiendo que de forma casi similar será la envergadura de la intervención para cada 3 Km. La alternativa a evaluar fue el reducir la sinuosidad del alineamiento haciendo sobreechamientos hacia el talud inferior izquierdo, que conlleva a la construcción de muros de contención; esta alternativa es también poner nuevo pavimento a estos sectores y en el resto como en estos sectores de la vía hacer un mantenimiento rutinario perenne y periódico cada cinco años a los 21 Km.

Se evaluó desde el punto de vista privado y socioeconómico, fueron comparados los flujos de costo de a situación con proyecto y sin proyecto, y para medir sus bondades se hizo mediante los indicadores de rentabilidad como el VAN y la TIR.

### **PRESERVACIÓN DEL CAPITAL**

#### ***MANTENIMIENTO RUTINARIO Y PERIODICO***

El mantenimiento de la vía está referido al mantenimiento rutinario a lo largo de todo el año y en especial en épocas de lluvia, que abarca la calzada, las bermas limpieza de los conductos de drenaje superficial, señalización y conservación de las estructuras mayores como puentes y túneles. Para el mantenimiento periódico se hará cada cinco años que consistirá en el sellado de fisuras o posibles fallas superficiales aparecidas por el continuo tránsito y efecto medio ambientales, también se hará el acondicionamiento para estabilizar los taludes inestables.

### **BENEFICIOS Y COSTOS**

Para la evaluación socioeconómica los beneficios netos a ingresar son los ahorros en los costos de operación vehicular y del tiempo incluidos estos comparados de la situación con proyecto y sin proyecto mediante unos factores del resultado del HDM III el beneficio anual resulta de multiplicar la diferencia de estos factores por los 21 Km. por el número de vehículos de cada tipo diario y por 365, los costos son los referidos a la construcción supervisión y diseño y el mantenimiento periódico y rutinario

**Tabla 1.13: Costo de alternativas del proyecto a precios sociales**

DESCRIPCION	MONTOS (S/.)
COSTO SIN PROYECTO	96,390
Mantenimiento Rutinario	96,390
COSTO CON PROYECTO	8'487,402.41
<b><u>Costo fijo:</u></b>	
Construcción	6'288,632.05
<b><u>Costo Intangible:</u></b>	
Supervisión	314,431.60
Diseño	276,500
Mantenimiento Rutinario Anual	101,745
Mantenimiento Periódico Quinquenal	1'506,093.75

*Fuente: Elaboración propia*

Para la evaluación privada los beneficios a ingresar son los cobrados por el costo de peaje de acuerdo al tipo de vehiculo y los costos son los referidos a los costos de concesión (Construcción en otros tramos) y al mantenimiento periódico y rutinario. Los resultados de los indicadores de rentabilidad para un horizonte de 20 años fueron según tabla 1.14, lo cual nos indica que es rentable.

**Tabla 1.14: Indicadores económicos de la evaluación económica del proyecto**

EVALUACION	VAN (S/.)	TIR (%)
Social	13'845,414.69	32.88
Privada	543,743.58	14.63

*Fuente: elaboración propia*

### **AÑO ÓPTIMO DE LA INTERVENCIÓN**

El año optimo será aquel donde las condiciones de estabilidad económicas sean las adecuadas y las políticas de estado sean firmes para la inversión en la infraestructuras vial para garantizar la inversión y que sea recuperable, además cuando las condiciones climáticas sean favorables como son los meses de menos transito vehicular y menos lluvia para no interrumpir el flujo importante de mercancías y pasajeros.



## **1.10 IMPACTO AMBIENTAL**

El propósito del estudio de impacto ambiental es tomar las medidas de identificación, prevención, correctivas y de mitigación ante cualquier distorsión y afectación que pueda ocasionar durante el diseño, ejecución, abandono y operación del proyecto con el entorno Socio Ambiental que comprende el ambiente físico, biológico y socioeconómico.

Para la elaboración del presente estudio se ha seguido los lineamientos de los marcos jurídicos e institucionales que rigen en el Perú, como por ejemplo el Manual Ambiental para el diseño y construcción de vías, Guía de supervisión ambiental de carreteras publicadas por el ministerio de transportes y comunicaciones.

### **IMPACTO AMBIENTAL EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION**

- Posible contaminación de los suelos
- Posible contaminación de las aguas
- Destrucción directa de la flora y fauna
- Alteración de la calidad del aire
- Posible afectación a la salud e integridad física de los trabajadores
- Posible afectación a la salud e integridad física de los pobladores y usuarios de la vía
- Alteración de la calidad visual
- Mejoras económicas de la población contratada y local, cambios en los procesos migratorios, alteración del sistema de vida tradicional de las comunidades.

### **IMPACTO AMBIENTAL EN LA ETAPA DE OPERACIÓN**

- Mayor comodidad economía y seguridad para el usuario
- Aumento de la vida de los vehículos
- Revaloración de los predios aledaños a la carretera
- Aumento de la calidad del vida y el flujo de turismo

### **MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

- Se prohíbe a los operarios hacer el mantenimiento y lavado de sus unidades en los cursos de agua

- Protección de taludes
- Los espacios destinados para campamentos y obras provisionales se deben racionalizar
- Programa de reforestación
- Reducir la emisión de partículas y gases en las plantas de asfalto y en los accesos de las canteras, se hará el regado al suelo natural donde transitan constantemente los vehículos de transporte de materiales
- Uso de la mano de obra local
- Se hará el control de ruidos

### MITIGACIÓN EN LA ETAPA DE OPERACIÓN

- Se realizara el mantenimiento rutinario y excepcionalmente de emergencia haciendo el acondicionamiento de botaderos para depositar el excedente de la limpieza, protegiendo la flora y fauna
- El ministerio de transportes y en coordinación con la policía de control de carreteras realizaran campañas de educación vial a los usuarios. Así mismo control estricto de las velocidades y pesaje de los vehículos, la debida seguridad para el transporte de sustancias nocivas al medio ambiente, la circulación de vehículos autorizados.

**Tabla 1.15: Resumen del presupuesto ambiental**

DESCRIPCION	Costo (S/.)	
	ETAPA DE CONSTRUCCION	ETAPA DE OPERACIÓN(*)
Programa de medidas preventivas, correctivas y/o de mitigacion preventivas	29,692.5	-
Programa de monitoreo ambiental	15,100.0	4,388.0
Programa de contingencias	2,550.0	-
<b>Subtotales</b>	<b>47,342.5</b>	<b>4,388.0</b>

(\*) Costos calculados para un año de operación

Fuente: *Elaboración Propia*

## 1.11 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE OBRA

El presupuesto de la alternativa del proyecto del mejoramiento, que es la corrección del alineamiento del trazo de la vía y que contempla la construcción de muros de contención y hacer el pavimento solo en estas zonas de corrección se muestra en el resumen siguiente donde los precios están referidos al 2005 y el costo total es por los tres kilómetros del tramo en estudio, estos precios son tomados para la evaluación económica para los 21 kilómetros facturándolo por siete.

### HOJA DE RESUMEN

**OBRA : MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HEROES DE LA BREÑA  
TRAMO II COCACHACRA -MATUCANA.  
KM 57+000.00 AL 60+000.00**

**LUGAR : MATUCANA - LIMA**

**COSTOS AL 2005**

ITEM	DESCRIPCION	PARCIAL S/.
01	PRELIMINARES	68,001.12
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS	4,197.70
03	SUBASES Y BASES	33,163.06
04	PAVIMENTO ASFALTICO	120,038.86
05	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE	526,261.58
06	TRANSPORTE	342,402.18
07	SEGURIDAD Y SEÑALIZACION VIAL	39,157.79
08	PROTECCION AMBIENTAL	3,962.53
<b>COSTO DIRECTO</b>		<b>1,137,184.82</b>
<b>GASTOS GENERALES Y UTILIDADES</b>		<b>190,231.79</b>
<b>SUBTOTAL</b>		<b>1,327,416.61</b>
<b>IGV</b>	19.00%	252,209.16
<b>MONTO TOTAL PRESUPUESTADO (S/.):</b>		<b>S/. 1,579,625.77</b>

## Capítulo II

# COMPONENTES ESTRUCTURALES

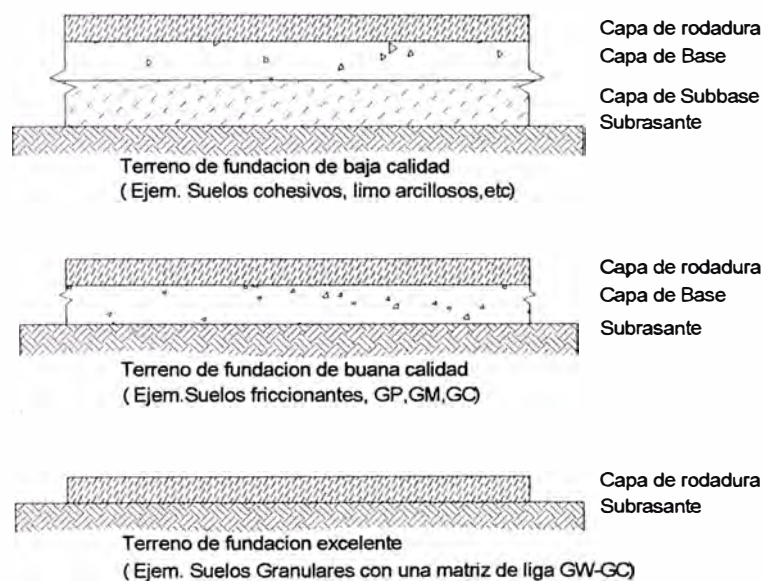
El pavimento flexible esta compuesto por capas superpuestas relativamente horizontales de espesores y calidades de materiales diferentes, debidamente compactados, estos espesores y calidades esta influenciado en gran medida los resultados que arrojan nuestro estudio de transito, hidráulico, medio ambiental, geotécnico, etc. para garantizar que cumpla las funciones de seguridad y confort durante el periodo de diseño al que fue concebido. El pavimento flexible comúnmente se compone de tres capas, que están sobre la subrasante; estas capas son la subbase, la base, y la carpeta de rodadura; los factores mas susceptibles a la hora de definir nuestras capas se prioriza según la calidad del terreno de fundación expresado en modulo resiliente y el transito expresado en ejes equivalentes según estas condiciones impuestas se puede prescindir de algunas capas que conforman el pavimento. Aparte de la calidad de material de los distintos espesores del pavimento para que cumpla su periodo de diseño es de tener especial cuidado en la etapa constructiva ya que las capas granulares deberán compactarse con la humedad optima, y la carpeta asfáltica con la temperatura de acuerdo al diseño de su mezcla. La figura 2.1 muestra la disposición de las capas del pavimento según la calidad del terreno de fundación

### 2.1 SUBRASANTE

Es la primera capa de contacto con el terreno de fundación donde va a ir colocada las capas superiores de mayor calidad, en muchos casos no se requiere esta capa lo cual la subrasante será la superficie del suelo natural perfilado y compactado y en otros casos debido al elevado nivel freático, el tener que hacer un terraplén para llegar a la cota de la subrasante, suelos altamente plásticos, el estar contaminado de materia orgánica, etc. se traerá material de préstamo; el traer material de préstamo también esta influenciado debido a que si el bulbo del esfuerzo de presiones debido a las cargas superficiales afectan y llegan con mucha intensidad en la profundidad del suelo natural, en este caso se extraerá el suelo para reponerlo con otro material que contrarreste estos efectos.

La subrasante por estar en la parte inferior y recibir las cargas superiores cumple la función de cimentación del pavimento.

Para conocer la calidad de la subrasante inicialmente se tomo como parámetro la capacidad de soporte (CBR), este parámetro compara el soporte del terreno en comparación a una muestra patrón que es sometida a una carga axial; la obtención de este parámetro ha servido para el diseño de pavimentos por el método empírico, una representación mas exacta del parámetro que gobierna la calidad de la subrasante es la obtención del modulo resiliente este modulo es sometido a un ensayo triaxial cíclico y en distintas condiciones de humedad, con este modulo es la base principal para modelar el diseño del pavimento por el método mecanístico basado en las propiedades físicos mecánicas; debido a que el equipo para obtener el modulo resiliente es costoso, se ha hecho estudios de correlación para obtenerlo a partir del CBR; con lo cual el método de diseño para el pavimento pasa ha ser el mecanístico empírico.



**Figura 2.1:** Composición de espesores de un pavimento flexible de acuerdo a la calidad del terreno de fundación

## 2.2 CAPA DE SUBBASE

Es la capa de mejor calidad que el suelo de fundación, se coloca sobre este suelo perfilado y compactado, los requisitos de esta calidad se especifican en términos de granulometría, índices de consistencia y resistencia; esta capa debe cumplir su función de soportar los esfuerzos tensionales y de compresión, debe

servir como capa de drenaje, debe contrarrestar los cambios de volumen por plasticidad de la subrasante, debe soportar el hinchamiento ante las heladas; etc. Se puede prescindir de esta capa cuando el material de subrasante cumple con los requisitos de material de subbase.

### **2.3 CAPA DE BASE**

Es la capa de material granular de mayor exigencia en las especificaciones de granulometría, plasticidad, textura y resistencia que la capa de subbase, esta es la que mas debe soportar los esfuerzos de aplicación de las cargas en la superficie del pavimento, además de cumplir las condiciones de material drenante y elástico, el termino elástico es relativo ya que la resistencia del material a la deformación es casi nula con lo cual la elasticidad existente para recuperarse a su estado normal es ínfima.

La capa de base en algunos casos están formados por mezcla estabilizada con cemento u otro material ligante, o mezcla bituminosa; dependiendo de la importancia de la vía, del tráfico, del periodo de diseño, etc. La capa base puede sufrir deformación permanente si es que la carpeta asfáltica de rodadura tiene espesores menores a los indicados en las especificaciones de su estudio.

### **2.4 CAPA DE RODADURA**

Es la capa superficial del pavimento que va colocada inmediatamente después de la base, puede ser un tratamiento superficial, un concreto asfáltico en caliente, etc.; la composición material común de esta capa es de agregados minerales y asfalto, para logra alta performance de la superficie hoy en día se le adiciona aditivos como polímeros a esta mezcla; su función principal de esta capa es impermeabilizar la superficie y evitar posibles infiltraciones del agua de las precipitaciones en las capas inferiores que podrían saturarlo y causar deformaciones , resistir la presión de los neumáticos y las fuerzas abrasivas del transito para evitar el derrape de lo vehículos. Dependiendo del espesor de esta capa se considerara como aporte estructural para el soporte del pavimento.

Las características de este material depende mucho de la temperatura, razón por lo cual cuando se trate de mezcla asfáltica en caliente la temperatura de colocación en la etapa de construcción es de vital importancia para la formación de una capa rígida y de alta resistencia. Es de suma importancia conocer la

reología del asfalto para evitar su fatiga temprana y/o deformación permanente; la reología nos permitirá saber también cuan visco-elástico es la mezcla de asfalto a emplear.

#### **2.4.1 CARPETA DE DESGASTE O SELLO**

Esta carpeta se realiza con el fin de aumentar la resistencia al deslizamiento y la durabilidad contrarrestando la desintegración y la permeabilidad de la superficie de rodadura, se tendrá que hacer el de llenado de vacíos y grietas, mediante la aplicación de un revestimiento con emulsiones asfálticas y agregado fino, dentro de estos sellos se encuentran la lechada asfáltica (slurry seal) y los microaglomerados (microsurfacing)

## **Capítulo III**

### **CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

Las consideraciones que se debe tomar para el diseño del pavimentos están relacionadas a conocer, evaluar los factores y parámetros técnicos económicos, que tenemos que tomar en el diseño estructural para predecir el comportamiento del pavimento en el tiempo, entre estas tenemos: economía, clasificación de la carretera, transito, característica de los materiales a utilizarse, evaluación de la subrasante, drenaje, efecto de la temperatura en el pavimento. En las consideraciones de diseño se busca evitar el colapso del pavimento antes de su periodo de diseño, cumpliendo las siguientes funciones:

- Proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes baja las cargas repetidas del tráfico a lo largo del periodo de diseño, con las consideraciones de conservación de la vía.
- Resistir las solicitaciones previstas del trafico pesado, transfiriendo las cargas de transito desde la superficie de rodamiento a los materiales subyacentes de soporte, a través del contacto de los agregados, el efecto friccionante de los materiales granulares y la cohesión de los materiales finos
- Proteger la explanada de la intemperie, y en particular de la acción del agua con su incidencia en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, las capas subyacentes deben ser capaces de drenar ante posibles infiltraciones.

#### **3.1 ECONOMÍA**

Las obras de infraestructura vial demandan miles de dólares por kilómetro de carretera, el diseño de la estructura juega en parte una opción económica frente a la disponibilidad escasa de recurso financiero; en la carretera en estudio de "Héroes de la Breña" de gran preponderancia en el desarrollo, se pudo haber elegido entre un pavimento rígido o flexible, se opto por un pavimento flexible por razones económicas, el pavimento rígido su inversión inicial resulta mayor al del



flexible. Ambos tienen comportamientos estructurales diferentes; mientras que el rígido por tener su capa de concreto hidráulico no requiere de una base rigurosa en materiales seleccionados y tratada, su carpeta de concreto hidráulico absorbe casi todo el esfuerzo de las cargas en su superficie y lo distribuye en este mismo material en una gran área, en cambio el flexible requiere de capas de suelos granulares selectos y de considerables espesores para poder transmitir en menor intensidad los esfuerzos de la superficie hacia las capas inferiores en menor intensidad conforme nos alejamos de la superficie. Es de vital importancia el tomar los espesores necesarios de acuerdo a la sollicitación de las cargas y el tipo de material y evitar altos costes por sobre diseño. El elegir el pavimento flexible también tiene que ver con la recuperación de la inversión y su beneficio en el tiempo, ya que se diseña considerando su posterior rehabilitación luego de un periodo de diseño, donde se intervendrá con trabajos a nivel de capa superficial, teniendo una tendencia de prolongar la vida útil con lo que la inversión se da en cada etapa de rehabilitación.

### **3.2 CLASIFICACIÓN DE CARRETERA**

Las exigencias del diseño están influenciadas de acuerdo a la importancia de la vía, la clasificación nos ayudara a saber la importancia de la vía. Las diferentes características, topográficas, climáticas y de suelos originan variadas condiciones para la construcción; además la diferente importancia y servicio de las carreteras que demanda el país y la necesidad de adaptarse a las crecientes exigencias del tránsito en peso y demanda obliga a que la red vial adquiera nuevas características para su clasificación. En la actualidad las nuevas normas DG-2001, las carreteras se clasifican según tres criterios:

#### **Según su función:**

- Red vial nacional (Primaria)
- Red vial departamental (secundaria)
- Red vial vecinal (terciaria o local)

#### **Según la demanda:**

- Autopistas
- Carreteras Duales o Multicarril
- Carreteras de 1ra Clase
- Carreteras de 2 da Clase
- Carreteras de 3ra Clase
- Trochas Carrozables


### Según las condiciones orográficas:

- Carretera Tipo I
- Carretera Tipo II
- Carretera Tipo III
- Carretera Tipo IV

La clasificación según las condiciones orográficas contempla las condiciones relacionadas con la topografía y la orografía en la zona del proyecto que influye directamente con la velocidad de los vehículos, además determina la elección de las dimensiones de la sección transversal (ancho de calzada y bermas). La tabla 3.1 muestra la relación de la clasificación antes mencionada, la carretera en estudio "Héroes de la Breña" tiene una velocidad de diseño de 60 KPH, tiene un tráfico calculado según el IMD de enero del 2006 de 3502 y una orografía tipo 3; por lo tanto pertenece a la clasificación de carretera de 1 ra. clase

**Tabla 3.1 Clasificación de la red vial peruana y su relación con la velocidad de diseño**

CLASIFICACION	SUPERIOR				PRIMERA CLASE				SEGUNDA CLASE				TERCERA CLASE							
TRAFICO VEH/DIA (1)	> 4000								4000 - 2001				2000-400				< 400			
CARACTERÍSTICAS	AP (2)				MC				DC				DC				DC			
OROGRAFIA TIPO	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
VELOCIDAD DE DISEÑO:																				
30 KPH																				
40 KPH																				
50 KPH																				
60 KPH																				
70 KPH																				
80 KPH																				
90 KPH																				
100 KPH																				
110 KPH																				
120 KPH																				
130 KPH																				
140 KPH																				
150 KPH																				

- AP : utopista  
 MC : Carretera Multicarril o Dual (dos calzadas)  
 DC : Carretera De Dos Carriles  
 Rango de Selección de Velocidad

NOTA 1: En zona tipo 3 y/o 4, donde exista espacio suficiente y se justifique por demanda la construcción de una autopista, puede realizarse con calzadas a diferente nivel asegurándose que ambas calzadas tengan las características de dicha clasificación.

NOTA 2: En caso de que una vía clasifique como carretera de la 1ra. Clase y a pesar de ello se desee diseñar una vía multicarril, las características de ésta se deberán adecuar al orden superior inmediato. Igualmente si es una vía dual y se desea diseñar una autopista, se deberán utilizar los requerimientos mínimos del orden superior inmediato.

NOTA 3: Los casos no contemplados en la presente clasificación, serán justificados de acuerdo con lo que disponga el MTC y sus características serán definidas por dicha entidad.

Fuente : MTC Manual de Diseño geométrico de Carreteras DG-2001

### 3.3 ESTUDIO DE TRANSITO

EL estudio de transito para el diseño de espesores del pavimento, esta referido a principalmente a conocer el volumen, la composición y la carga de los vehículos. EL volumen se expresa en transito promedio anual (índice medio diario anual), el principio para el diseño es representar el efecto de daño que produce el paso de un eje cargado por medio de un numero de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 8.2 tn., esto es resistir un determinado numero de cargas aplicado durante su periodo de diseño; en las carreteras se tiene un transito mixto de diferente carga y numero de ejes, para efectos de calculo se le transforma en un numero de ejes equivalentes de 8.2 tn. que se le denomina carga de ejes equivalentes simples. Luego se transforma en efecto de daño que produce de luego estos volúmenes se transforma a cargas por eje dependiendo del tipo de vehiculo (C2, B2, T2S2, T3S3, etc.) luego su equivalente a ejes simples de 8.2 tn. expresado en numero de repeticiones de carga.

#### 3.3.1 DATOS DEL ESTUDIO DE TRANSITO

Para conocer el volumen real del transito se efectúan mediciones de la cantidad de vehículos que pasan por lugares estratégicos previamente seleccionados a lo largo de la vía, esto por razón de tener la representatividad en todo el tramo, ya que puede existir vías que alimentan o desvían el transito, comúnmente se les estaciones de aforo, la función de este estudio es:

- Determinar la composición y el volumen de vehículos
- Conocer las velocidades y servir de base para la clasificación de la carretera
- Determinar los pesos de vehículos de carga pesada y presiones de las llantas
- Planeamiento de rutas y diseños geométricos
- Ingreso promedio de personas que se trasladan
- Conocer los orígenes y destinos
- Proyectar estaciones de peaje y pesaje
- Determinar prioridades en las técnicas constructivas
- Proyectar el trafico según el periodo de diseño
- Proponer sistemas de trabajos para mantenimiento

Debido a la variabilidad del flujo en el día respecto a la semana, en la semana del mes, en el mes de cada año, en años de bonanza económica, además de épocas festivas o feriados; es necesario tener una estadística de periodos largo de conteo, que nos permita saber el comportamiento las características del tráfico en volumen, composición y saber la tasa de crecimiento para poder predecir correctamente la cargas equivalentes que se aplicaran al final del periodo de diseño. Las tasas de crecimiento cuando no se tiene la estadística suficiente se toma como un aproximado la tasa de crecimiento poblacional o la tasa del PBI.

### 3.3.2 EJES EQUIVALENTES

El uso de un eje de 8.2 tn se basa en los resultados de experimentos en EE.UU donde se cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño que produjeron; se demostró que el efecto de cualquier carga en la funcionalidad del pavimento se puede representar en función de la cantidad de aplicaciones únicas de este eje ,esta transformación se hace a través de factores de ejes equivalentes de carga según el tipo de eje de los vehículos ( simples, dobles, triples, etc.)

Para el cálculo de los factores equivalentes de carga de cada grupo de ejes, AASHTO establece las siguientes relaciones para un número estructural del pavimento (SN) de 3 y serviciabilidad final (PSI) de 2.5:

$$FEC = \left( \frac{\epsilon_x}{\epsilon_{18}} \right)^4$$

Donde:

FEC: Factor equivalente de carga

$\epsilon_x$  Deformación producida por un eje cualquiera

$\epsilon_{18}$  Deformación producida por un eje equivalente a 8.2 Tn.

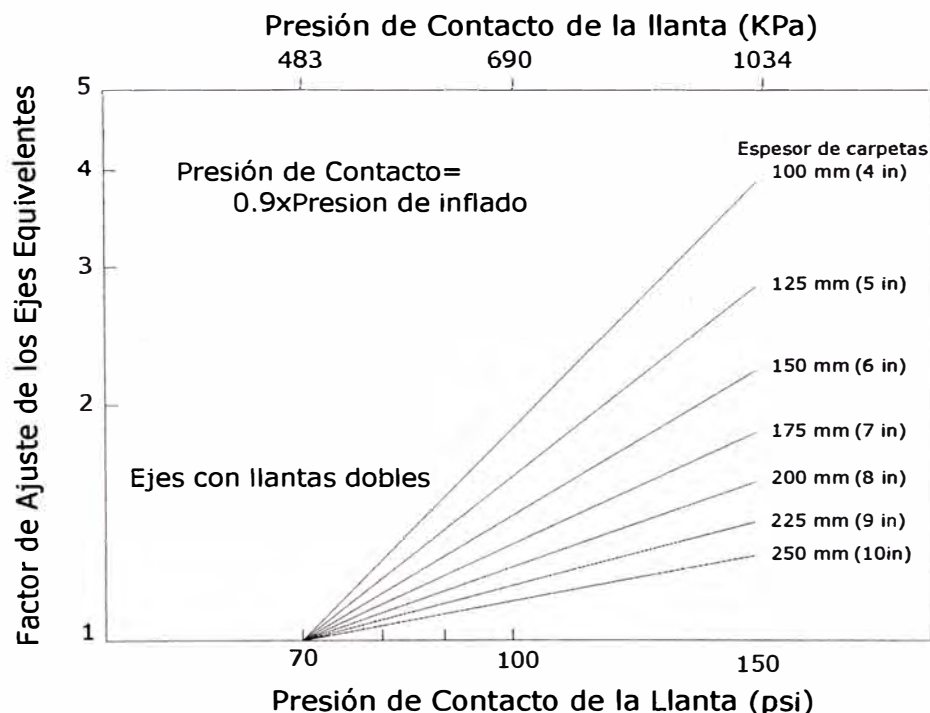
De donde se han obtenido las siguientes formulas para los ejes conocidos:

**Tabla 3.2 Factor equivalente de carga de acuerdo al tipo de eje**

EJES	SIMPLES	DOBLES	TRIPLES
FEC	$\left( \frac{P}{8200} \right)^{4.5}$	$\left( \frac{P}{15300} \right)^{4.5}$	$\left( \frac{P}{22950} \right)^{4.22}$

P: Peso en toneladas del conjunto de ejes considerado

El cálculo de los factores de equivalencia de carga por vehículo (FECV) para cada tipo de vehículo, se obtiene sumando los FEC de un mismo tipo de vehículo, y representa el efecto destructivo de ese vehículo expresado en un número equivalente de repeticiones de ejes simples estándar de 8.2 toneladas de peso. Otro factor aplicado al FECV que debería tenerse en consideración para la determinación del EAL de diseño es el efecto perjudicial de las presiones de contactos elevadas. Si las medidas actuales de la presión de inflado de los neumáticos indican valores significativamente por encima del valor de la condición de carga estándar (70 psi) entonces los factores de ajuste de la figura 3.1 deberían de emplearse para modificar el tráfico de diseño debido a este incremento adicional de los esfuerzos. Este ajuste se hace multiplicando el EAL inicial de diseño, por el factor de ajuste del EAL (con la línea elegida de los espesores de concreto asfáltico) para cada tipo de vehículo individual o para la condición del camión promedio. Normalmente la presión de contacto de los neumáticos es igual al 90 % de la presión de inflado.



**Figura 3.1:** Factor de ajuste del EAL por las presiones de llantas

El conjunto de ejes de los camiones y buses es variado en el Perú es variado, por lo cual su conjunto de ejes tomara cierta parte del peso bruto vehicular total,

el Reglamento de tránsito automotor tiene establecido la clasificación de estos tipos de camiones, semitrailer, trailer y buses, su peso por eje y conjunto y su peso bruto máximo. La tabla 3.3 muestra la variación de los distintos tipos de ejes y conjuntos que están permitidos circular con su respectivo peso máximo por eje o conjunto de ejes; el eje más simple es el 1RS que generalmente está en la parte delantera de todos los camiones o simplemente eje direccional, le corresponde un peso máximo por eje de 7 toneladas; el peso máximo permitido en conjunto lo tiene el eje tipo 3RD que es de 25 toneladas; este último conjunto de ejes es parte de los ejes de un camión tipo T3S3 donde su uso es restringido debido a que estos tres ejes en conjunto a distancia muy corta en las curvas traccionan excesivamente la carpeta superficial generando el deterioro acelerado de esta. Por ejemplo para calcular el FECV del T3S3 según la tabla de pesos y medidas tenemos en el tracto 1 eje simple tipo RS más un eje doble tipo 2RD y en el semiremolque tres ejes triples del tipo 3RD; con esta composición de tipo de eje y su peso máximo por eje o conjunto de ejes según la tabla 3.3 y las fórmulas de la tabla 3.2 obtenemos el factor equivalente de carga, luego lo ajustamos de acuerdo a la presión de contacto de llantas y el espesor de carpeta asfáltica según figura 3.1 calculamos el factor equivalente de carga (FECV) del tipo T3S3 ajustado. El peso bruto máximo de un vehículo de carga pesada a circular por la carretera es de 48 toneladas.

Teniendo el índice medio diario anual, la tasa de crecimiento vehicular, y los factores destructivos (FECV) corregidos por tipo de eje de camiones se calcula el EAL de diseño como:

$$EAL = 365 * \sum_{i=1}^n IMD_i * FECV_i * \left[ \frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:





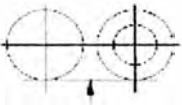
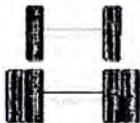










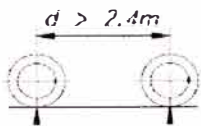

$IMD_i$  : índice medio diario del vehículo tipo  $i$

$FECV_i$  : Factor equivalente de carga vehicular del vehículo tipo  $i$

$n$  : Periodo de diseño

$r$  : tasa de crecimiento vehicular

Tabla 3.3 Peso máximo por eje o conjunto de eje

Conjunto de ejes	Nome n- clatura	Simbología	Nº de Neu- má tico	Gráfico	Peso máx. por ejes Tn.
Simple	1RS		02		7
Simple	1RD		04		11
Doble	1RS+ 1RD		06		16
Doble	2RS		04		12
Doble	2RD		08		18
Triple	3RS		06		16
Triple	1RS+ 2RD		10		23
Triple	3RD		12		25
Doble Sepa- rado	1RD+ 1RD		08		11+11

**Nota:** RS: Rodada Simple      RS: Rodada doble

**Fuente:** Reglamento del tránsito automotor 2003, Título V pesos y medidas vehiculares

Las carreteras son diseñadas para que cumplan las condiciones de transitabilidad en un tiempo dado según la importancia de la carretera y dependiendo del costo en el ciclo de vida, donde se considera las rehabilitaciones intermedias para prolongar el periodo de diseño, resultando ser menos costoso la inversión inicial.

Otro factor que hay que considerar para el calculo de ejes equivalentes es la distribución de la carga de los ejes de los vehículos en el pavimento estos factores son el factor de distribución por dirección y el factor de distribución por carril; la primera se refiere al porcentaje de vehículos que circulan en cada sentido de la vía, y el otro a la afectación del peso en el carril en un mismo sentido, donde sabemos que en una vía de varios carriles en un sentido los pesados van en carril externo.

### **3.4 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES**

Los materiales de la subrasante, las capas subbase y base como la carpeta de rodadura debido a la función estructural, de drenaje, de impermeabilizante, etc. que cumplen deben reunir las características y propiedades físicas en su granulometría, índices de consistencia, resistencia, etc. Para una mejor descripción de estas características aparte de clasificar los suelos, se subdividen estos materiales en dos grandes grupos suelos de grano grueso (arena, grava, fragmentos triturados de roca, etc.) y el otro grupo están los suelos de grano fino constituidos principalmente por las arcillas.

Los materiales componentes de las capas rara vez se encuentran con los requerimientos antes mencionado, para conseguir esto se hará la combinación de materiales de distinta formación, con la exploración del suelo que comprende los sondajes y muestreos para el laboratorio o en situ, se tendrá la información con que tipo de suelo se cuenta y la posibilidad para su empleo como material componente de alguna de las capas del pavimento; para una información de la subrasante siempre se hará el perfil estratigráfico proveniente de las calicatas cada 250 m.

Los suelos de grano grueso es la matriz principal de la constitución de las base y subbase, tienen un mejor comportamiento debido a su capacidad de absorción de esfuerzos y escasa variabilidad volumétrica ante posibles problemas de saturación; los suelos de grano fino por su variabilidad volumétrica en



condiciones húmedas ante la presencia de cargas es muy peligroso, trayendo consigo la deformación permanente, ocurre también aunque por mas que este material tenga un buen grado de compactación en contacto con la humedad provocara su expansión; por estas razones no se pondrá una capa de esta naturaleza en contacto directo con la carpeta de rodadura. Una medida de caracterizar los materiales para uso en pavimentos flexibles es a través del modulo resiliente que nos permite saber la capacidad de recuperación instantánea luego de cesar la aplicación de carga impuesta, y evitar poner materiales de baja calidad que acumulen deformación permanente perjudiciales que se manifestara en la carpeta de rodadura disminuyendo su calidad de servicio a niveles de rechazo. Como es sabido los materiales empleados para base y subbase son de origen pétreo de naturaleza inerte exento de materias orgánicas, de alta angulosidad y durables; esto se consigue con un proceso de trituración, en donde se conseguirá una granulometría continua, mezclando en distintas porcentajes según el tamiz requerido de acuerdo a la solicitud del diseño de mezcla.

Un parámetro para la caracterización de los materiales de las capas es mediante el **Modulo Resiliente** que se define como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable, siendo este equivalente al modulo de Young (Modulo de elasticidad); se representa como sigue:

$$Mr = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\epsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{axial}}$$

Donde:

Mr = Modulo de resiliencia

$\sigma_1$  = Esfuerzo principal mayor

$\sigma_2$  = Esfuerzo principal menor

$\sigma_d$  = Esfuerzo desviador

$\epsilon_{axial}$  = Deformación recuperable

Durante las pruebas de carga repetida en laboratorio se ha observado que después de cierto numero de ciclos de carga, el modulo llega aproximadamente constante y la respuesta del suelo puede asumirse como elástica; al modulo que

permanece constante se le llama modulo de resiliencia, este concepto se aplica tanto a suelos finos como granulares.

Las mezcla asfálticas se caracteriza por el modulo dinámico, que depende en gran parte de la **temperatura sobre el pavimento**, para la obtención se tiene que considerar los cambios climáticos que va soportar la vía, un mínimo de seis meses se considera para el fraguado del pavimento.

Hoy en día para garantizar la permanencia de las capas inferiores del pavimento (granulares) ante el aumento del tonelaje y las inclemencias del medio ambiente, se hace la estabilización que consiste en adicionar un material ligante o conglomerante que le de la cohesión, sin que se afecte ante la presencia de la humedad o los cambios bruscos de temperatura; estos principales tratamientos son el suelo cemento, la gravacemento, la gravaemulsión, etc.

En los suelos estabilizados las características mecánicas de los materiales cambian sustancialmente incrementándose el valor del modulo de resiliencia, es necesario hacer pruebas de laboratorio para saber hasta que porcentaje se puede aplicar estos productos estabilizadores sin afectar la estructura de las capas. Por todo esto cuando no se cuenta con suelos adecuados para la estructura del pavimento que cumplan con los requisitos de las normas, además teniendo en cuenta la economía se recurrirá al uso de estabilizadores, donde la homogenización de los materiales con las exigencias de impermeabilidad y resistencia garantizara la durabilidad de la estructura de las capas.

### 3.4.1 SUELOS DE GRANO FINO

#### 3.4.1.1 EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE

La subrasante generalmente con el terreno de fundación del suelo existente en el trazo de la vía que a la vez cumple la función primordial de servir de cimiento del pavimento, estos suelos están constituidos en gran parte por **suelo de grano fino** que requieren ensayos específicos para determinar sus propiedades físico mecánicas o clasificar el tipo de suelo, entre estos ensayos principales normados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la norma EM-2000 para carreteras tenemos:

- Granulometría
- Limite liquido
- Índice plástico
- Limite de contracción

- Gravedad específica
- Humedad

Adicionalmente cuando el material, para que sea apto para la subrasante deberá pasar por los siguientes ensayos para valorar su calidad:

- Los mencionados anteriormente
- Relación humedad – densidad compactada
- CBR
- Modulo Resiliente sobre muestras inalteradas

### 3.4.1.2 CALIDAD DE LOS MATERIALES

**Tabla 3.4 Franja granulométrica de material de préstamo para conformación de subrasante**

Tamiz	Porcentaje que pasa	
	A-1	A-2
50 mm. (2")	100	-
37.5 mm. (1½")	100	-
25 mm. (1")	90-100	100
19 mm. (¾")	65-100	80-100
9.5 mm. (3/8")	65-100	80-100
4.75 mm. (N° 4)	30-65	50-85
2.0 mm. (N° 10)	22-52	33-67
0.425 mm. (N° 40)	15-35	20-45
0.075 mm. (N° 200)	5-20	5-20

Fuente: AASHTO M-147

Requisitos de ensayos:

- Desgaste de los Ángeles : 50% máx.
- Limite Líquido : 35% máx.
- Índice de Plasticidad : 4 – 9 %
- CBR (al 100% de MDS y 0.1") : 40 % min.
- Equivalente de Arena : 20 % min.

### 3.4.2 CLASIFICACION DE SUELOS

La clasificación de suelos es un método mediante el cual, los suelos se clasifican sistemáticamente con características semejantes, sirven para la identificación de los materiales idóneos que servirán como materiales componentes de cada capa estructural del pavimento ó de la subrasante

**Tabla 3.5 Ensayos y frecuencias del material de préstamo para la conformación de la subrasante**

Material	Propiedades y Características	Método de Ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de muestreo
AFIRMADO	Granulometría	MTC E 204	D 422	T 27	1c/ 750 m <sup>3</sup>	Cantera
	Limites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T 89	1 c/ 750 m <sup>3</sup>	Cantera
	Equivalente de Arena	MTC E 114	D2419	T 176	1c/ 2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Abrasión de los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	1c/ 2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	1c/2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Densidad - humedad	MTC E 115	D 1557	T 180	1 c/750 m <sup>2</sup>	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T 191 T 238	1 c/ 250 m <sup>2</sup>	Pista

Fuente: MTC EM-2000

Los ensayos utilizados para clasificar los suelos es mediante su granulometría y su plasticidad (índices de consistencia), donde obtienen dos divisiones fundamentales de suelos los de grano fino y los de grano grueso. Los dos sistemas de clasificación mas difundidos son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el AASHTO. EL sistema que mejor describe las propiedades de la subrasante es la AASHTO donde un suelo de acuerdo a su granulometría se clasifica como:

- **Grava** De un tamaño que se retiene en el tamiz 76.2 mm. (3") hasta el tamiz N° 10 (2mm.)
- **Arena Gruesa** Del tamaño menor que se retiene en el tamiz 2mm. hasta el tamiz N° 40 (0.425 mm.)
- **Arena Fina** Del tamaño menor que se retiene en el tamiz 0.425 mm. hasta el tamiz N° 200 (0.075 mm.)
- **Limos y Arcillas** Los que pasan el tamiz N° 200

En el sistema AASHTO, los suelos granulares se ubican en las clases A-1 hasta A-3. Los suelos A-1 constan de materiales granulares bien graduados, los suelos

A-2 contienen cantidades importantes de limos y arcillas y los suelos A-3 son arenas limpias pero mal graduadas; y un suelo fino el que tiene mas del 35% que pasa el tamiz N° 200 los cuales se clasifican como A-4, A-5, A-6, A-7, dos suelos finos que tengan granulometría similares pueden llegar a tener propiedades diferentes dependiendo de su plasticidad, cualidad que se analiza en el suelo que pasa el tamiz N° 40

para La tabla 3.6 Muestra una correlación aproximada entre el sistema de la AASHTO Y el sistema SUCS.

**Tabla 3.6 Grupos comparables de suelos en los sistemas AASHTO y SUCS**

Grupo de suelo En el sistema unificado	Grupos comparables de suelos en el sistema AASHTO		
	Mas Probable	Posible	Posible pero improbable
GW	A-1-a	-	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GW	A-1-b, A-2-4 A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6	A-4, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5 A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4 A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4 A-5	A-6, A-7-5 A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6 A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5	-
CL	A-6, A-7-6	A-4	-
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5 A-7-6	-
MH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	-
OH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
Pt	-	-	-

Fuente : T.K. Liu Una revisión de los sistemas de clasificación de suelos, publicación técnica especial de la ASTM 479, 1970

La Shell ha realizado una investigación de la correlación de los distintos tipos de suelos de la calcificación SUCS con los rangos de su modulo resiliente, en el cuadro adjunto se muestra

**Tabla 3.7 Correlación de los suelos según clasificación SUCS y su Modulo Resiliente**

CLASIFICACION DE SUELOS SUCS	MODULO RESILENTE (psi)
OH	1000 - 5000
CH	2000 - 7000
MH	2000 - 12000
OL	2000 - 10000
CL	4000 - 15000
ML	6000 - 20000
SC	8000 - 25000
SM	8000 - 50000
SP	10000 - 30000
SW	20000 - 60000
GC	20000 - 50000
GM	20000 - 80000
GP	30000 - 80000
GW	50000 - 100000

*Fuente : Shell compañía*

### 3.4.3 SUELOS GRANULARES

Las capas de subbase y base están formada en su mayoría de materiales granulares debido a que responde bien ante la imposición de las cargas de tránsito y los efectos de saturación provocados por la infiltración del agua de las precipitaciones. Las características de estos materiales son:

- Elevada proporción de partículas angulosas y caras fracturadas obtenidas mediante trituración.
- Dureza suficiente para evitar la rotura de las aristas, con el consiguiente aumento de aristas redondeadas y aumento de finos por trituración de las cargas impuestas.

- Finos no plásticos para evitar, entre otros inconvenientes que en presencia de agua los finos actúen como lubricantes de las partículas más gruesas, y la disminución del rozamiento intergranular que traería consigo deformaciones permanentes.
- Sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias contaminantes
- Capaz de drenar las infiltraciones de las precipitaciones.
- Compacidad elevada.

### 3.4.3.1 CALIDAD DE LOS MATERIALES

**Tabla 3.8** Requerimientos granulométricos para Subbase Granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2 ")	100	100	-	-
25 mm. (1 ")	-	75 - 95	100	100
9.5 mm. (3/8 ")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm. (Nº 4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm. (Nº 10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
0.425 mm. (Nº 40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
0.075 mm. (Nº 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente ASTM D1241

(1) Para altitud mayor o igual a 3000 msnm.

Los ensayos de materiales para subbase base de acuerdo al MTC, EG 2000 son los siguientes:

- Los mencionados para el terreno de fundación excepto los de límites de contracción.
- Relación humedad densidad compactada a la energía proctor modificada.
- CBR sobre muestras compactadas.
- Modulo resiliente
- Determinación el equivalente de arena.
- Peso unitario y vacíos.
- Gravedad específica y absorción de agregados finos y gruesos.
- Abrasión en la maquina de los Ángeles.
- Durabilidad en sulfato de sodio y sulfato de magnesio.
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.
- Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados
- Porcentaje de partículas livianas
- Arcilla en terrones y partículas desmenuzables.
- Contenido de sales totales.

**Tabla 3.9 Requerimientos de ensayos especiales de la subbase**

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma ASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm.	≥ 3000 msnm.
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % min.	40 % min.
Limite liquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % máx.	25 % máx.
Índice de plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	6 % máx.	4 % máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25 % máx.	35 % máx.
Sales solubles	MTC E 219	-	-	1 % máx.	1 % máx.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	D 4791	-	20 % máx.	20 % máx.

(1) Residuo al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1 "

(2) La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

Fuente: MTC EG-2001

Para Base Granular la granulometría debe ser continua y bien graduada. Para zonas a partir de 3000 msnm. se seleccionará la gradación "A".

**Tabla 3.10 Requerimientos Granulométricos para Base Granular**

Tamiz	Porcentaje que pasa en Peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75 - 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (N° 4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (N° 10)	15 - 40	20 - 45	25 - 60	40 - 70
0.425 mm (N° 40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
0.075 mm (N° 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente: ASTM D 1241

Las características físicas y mecánicas y químicas a cumplir son:

**Tabla 3.11 CBR Para material de Base Granular**

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Trafico Ligero y Medio	Min. 80 %
	Trafico Pesado	Min. 100 %

(1) Referido al 100% de Máxima Densidad Seca y una penetración de carga de 0.1"

Fuente: MTC, EG-2001



**Tabla 3.12 Requerimiento de Agregado grueso, Base Granular**

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< menor de 3000 msnm.	≥ 3000 msnm.
Partículas con una Cara Fracturada	MTC E 210	D 5821	-	80 % min.	80 % min.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821	-	40 % min.	50 % min.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40 % máx.	40 % máx.
Partículas Chatas y alargadas (1)	MTC E 221	D 4791	-	15 % máx.	15 % máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	D 1888	-	0.5 máx.	0.5 % máx.
Perdidas con Sulfato de sodio	MTC E 209	C 88	T 104	-	12 % máx.
Perdida con Sulfato de Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	-	18 % máx.

(1) La relación ha emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

Fuente: MTC, EG-2001

**Tabla 3.13 Requerimiento de agregado fino, Base Granular**

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnm.	≥ 3000 msnm.
Índice plástico	MTC E 111	4 % máx.	2 % máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	35 % min.	45 % min.
Sales Solubles totales	MTC E 219	0.55 % máx.	0.5 % máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 % min.	35 % min.

Fuente: MTC, EG-2001

**Tabla 3.14 Ensayos y frecuencias para base granular**

Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de muestreo
Granulometría	MTC E 204	D 422	T 88	7500 m3	Cantera
Limite Liquido	MTC E 110	D 4318	T 89	750 m3	Cantera
Índice de plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	750 m3	Cantera
Desgaste de los ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	2000 m3	Cantera
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	2000 m3	Cantera
Sales Solubles	MTC E 219	D 1888	-	2000 m3	Cantera
CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	2000 m3	Cantera
Partículas Fracturadas	MTC E 210	D 5821	-	2000 m3	Canteras
Partículas Chatas y alargadas	MTC E 221	D 4791	-	2000 m3	Cantera
Perdida en Sulfato de Sodio y Magnesio	MTC E 209	C 88	T104	2000 m3	Cantera
Densidad Humedad	MTC E 115	D 1557	T 180	750 m3	Pista
Compactación	MTC E 117, MTC E 124	D 1556 D 2922	T 191 T 238	250 m2	Pista

Fuente: MTC, EG-2001

### 3.4.4 INFLUENCIA DE LAS CARGAS DE TRÁNSITO

La caracterización de los materiales para infraestructura carretera es bastante compleja debido no solo a la variabilidad del tránsito en peso y en flujo si no también a la interacción vehículo-pavimento que producen principalmente los fenómenos de deformación y fatiga adicionales a las propias cargas estáticas. Los aspectos a tomar en cuenta para la caracterización son:

- Composición del tránsito y su magnitud de carga (tipo de eje, carga por eje que circulan y número de repeticiones de carga)
- Forma geométrica de cada sollicitación sobre el pavimento, área de contacto y reparto de presiones en las capas.
- Velocidad de los vehículos y tiempo de sollicitación en un punto

Estado de esfuerzos que producen las cargas, en función de su magnitud y tipología ( verticales, tangenciales, fenómenos de impacto, etc.) y las características de las capas del pavimento

La carretera en estudio "héroes de la breña" es una vía principal de comunicación entre la costa , sierra y selva del Perú, su importancia merece el cuidado de conservación, una de estas medidas con respecto al daño que pueda causar el transito es la Reglamentación Nacional de Vehículos publicada según DS N° 058-2003-MTC donde contempla los pesos y medidas máximas permitidas de los vehículos; estos limites son controlados en las estaciones de pesaje donde toma el control electrónico del peso bruto total y la carga por eje con una tolerancia dependiendo del numero de ejes.

### **3.4.5 MODULO RESILENTE**

El modulo resiliente caracteriza a los materiales de subrasante, subbase y base; y carpeta asfáltica a través de la medición de la propiedad elástica de los materiales. El concepto modulo resiliente esta ligado invariablemente a un proceso de carga repetida, los materiales que constituyen los pavimentos se ven sometidos a cargas dinámicas que les son transmitidas por el trafico; con el fin de tener en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan en los materiales que conforman la estructura del pavimento, se ha estudiado el ensayo del comportamiento para distintas condiciones de humedad, carga, velocidad, materiales, etc. La rueda del transito al moverse, genera fuerza dinámicas a todas las capas del pavimento incluyendo a la subrasante, y como reacción a estas fuerzas, cada capa de pavimento se deforma, el resultado de estas fuerzas de reacción es variable en un periodo muy breve ya que depende principalmente de la carga y la velocidad del vehiculo.

El ensayo corresponde a la AASHTO T 294 y a la MTC E-128;en este ensayo a la muestra se le somete a una carga triaxial que es sometida a presiones de confinamiento para distintas pulsaciones de duración e intensidad; el modulo es sensible a la humedad los factores ambientales de hielo y deshielo, donde cuando mas se incrementen estos procesos disminuirán el valor del modulo de resiliencia, para tener un valor representativo del modulo de resiliencia en el campo se tendrá que tener los módulos resilientes para distintas épocas del año que representen los factores climáticos.

### 3.5 DRENAJE

El objetivo del drenaje para carreteras es evacuar lo antes posible las aguas superficiales y subsuperficiales que puedan afectar la sección estructural del pavimento; el primero producto de las precipitaciones pluviales, y el segundo producto de escorrentía en el subsuelo. Para lograr este fin se tendrá que prever de realizar las obras de drenaje longitudinal o transversal; así como emplear materiales que sean drenantes ante posibles infiltraciones del agua superficial o saturación del terreno adyacente como las laderas o los taludes.

El efecto del agua sobre el pavimento debe ser considerado como un parámetro importante a considerar, ya que cuando el agua queda atrapada dentro de la estructura, los materiales sufren cambios en sus propiedades como por ejemplo el modulo resiliente, que se ve disminuido ante la presencia de humedad. El efecto del agua en el pavimento son:

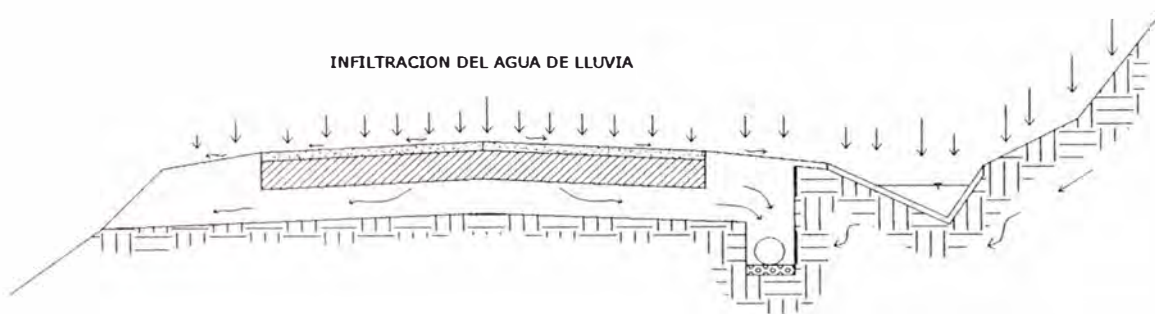
- Reducción de la resistencia de las capas granulares y de la subsante cuando permanece el agua atrapada por largos periodos
- Arrastre de finos de las capas granulares, provocando la perdida de soporte por la erosión.
- Expansión y contracción debido al congelamiento de los suelos.

Las consideraciones de diseño para prevención del efecto dañino del agua son:

- Prevenir la infiltración del agua en el pavimento
- Rapidez para en eliminar el exceso de agua
- Construcción de pavimentos fuertes capaces de resistir los efectos combinados de carga y transito

La protección de las capas del pavimento de las aguas nos ayudará a aumentar el periodo de diseño, para esto la superficie debe estar sellada y se deberá interceptar el agua de precipitación con las obras de drenaje. Para obtener un adecuado drenaje del pavimento, se deberá considerar en el diseño la provisión de tres tipos de drenaje para el control o reducción de los problemas causados por el agua como son: drenaje superficial, subdrenajes y estructuras de drenaje; estos sistemas darán la rapidez para que el agua fluya y sin perjudicar la sección estructural; en el subdren se suelen considerar geotextiles con tuberías y materiales de filtro de granulometría selecta, para conducir el flujo del agua infiltrada y evitar el arrastre de finos para ayudar a mejorar el comportamiento

estructural del pavimento. El factor drenaje en el diseño de espesores está afectado en las capas granulares con el factor ( $m_i$ ), en la ecuación del cálculo de espesores y el número estructural (SN), donde un factor mayor que uno indica menos espesor y aceptación del material como drenante, en cambio coeficientes menor que uno indica lo contrario, esto no quiere decir que un mayor espesor es sinónimo de capa con buen material drenante.



**Figura 3.2:** Drenaje Típico de un Pavimento Flexible, el agua infiltrada en la estructura del pavimento es evacuada por medio del subdren

## Capítulo IV

### DISEÑO DE ESPESORES POR EL METODO AASHTO

#### 4.1 PRINCIPIO DE DISEÑO

El principio de diseño se basa en la predicción de los cambios físicos del comportamiento del pavimento en tres aspectos fundamentales: los estructurales, los funcionales y los de seguridad. En lo estructural toma en cuenta la condición del pavimento en lo referente a fallas, agrietamientos, etc.; que pueden afectar exclusivamente la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. En lo funcional se refiere a cuan bien sirve el pavimento al usuario (confort y calidad), este factor de serviciabilidad de la carretera se toma a través de la medición del índice de serviciabilidad de la carretera al comienzo y al final de su periodo de diseño. En seguridad toma en cuenta la resistencia a la fricción entre el neumático y el pavimento.

El diseño dota al pavimento de un **Número Estructural (SN)**, que representa el efecto combinado de las capas componentes (espesor del pavimento) con sus respectivos coeficientes estructurales y de drenaje. Las variables que se considera respecto a los aspectos antes mencionados y que están en la ecuación del calculo del número estructural son: el transito que transcurre por la vía, durante un determinado numero de años, la resistencia del suelo que soportara el pavimento, y los niveles de serviciabilidad al inicio y al final del periodo de diseño de la vía; adicionalmente se considera ciertos parámetros estadísticos que son factores de seguridad que garantizan que la solución obtenida del numero estructural cumple un determinado nivel de confianza. La ecuación 4.1 para el cálculo del número estructural es la siguiente:

*Ecuación 4.0: Para el cálculo del Número estructural del pavimento*

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$

Donde:

$W_{18}$  = Número total de aplicaciones de carga por eje simple para el periodo de diseño

$Z_r$  = Desviación estándar normal

$S_o$  = Error estándar combinado del tráfico y del comportamiento proyectado

$\Delta PSI$  = diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (po) y el índice de serviciabilidad final (pt)

$M_r$  = Módulo Resiliente

SN = Número estructural indicativo del espesor total del pavimento

## 4.2 VARIABLES PARA EL DISEÑO

### 4.2.1 RESTRICCIONES EN EL TIEMPO

Están referidos a la estimación del tiempo para que la carretera ofrezca las condiciones mínimas de serviciabilidad o también por razones económicas, donde se planea la construcción por etapas a nivel de superficie de rodadura, donde sabemos que una duración mayor requerirá mayores espesores, calidades superiores de materiales, conservación, etc. Las variables a tomar en cuenta son:

- Período de diseño y
- Vida útil

El período de diseño es aquel tiempo en que esta condicionado al límite de un tráfico proyectado que dañara la superficie del pavimento. Dentro del periodo de diseño se planea la construcción por etapas que son rehabilitaciones en ir reforzando la carpeta de rodadura, y llegar a la serviciabilidad final en el periodo de diseño

La vida útil se refiere al tiempo en que transcurre de una estructura nueva hasta que requiera ser rehabilitada, es decir el tiempo desde su serviciabilidad inicial hasta la serviciabilidad final.

Para el tramo en estudio, de acuerdo al cuadro de periodos de diseño recomendado por AASHTO tabla 4.1, y a la consideración económica de disposición de recursos iniciales se ha previsto la construcción por etapas; donde se ha optado por un **período de diseño de 20 años** y una intervención de reforzamiento en el año décimo año.

**Tabla 4.1 Períodos de análisis y la clasificación de la vía**

CLASIFICACION DE LA VIA	PERIODO DE ANALISIS (Años)
Urbana de alto volumen de trafico	30 - 50
Rural de alto volumen de trafico	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de trafico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de trafico	10 - 20

#### 4.2.2 TRÁNSITO

La representación del tránsito viene dado por el número de repeticiones acumuladas de **ejes equivalentes** (8.2 tn.) hasta alcanzar el periodo de diseño, además de tener la consideración del carril de diseño que vienen a ser los factores de distribución direccional y el de distribución de carril al numero de ejes equivalentes. La ecuación que define el trafico en el carril de diseño es:

$$W_{18} = D_d * D_l * \hat{w}_{18} \dots \dots \dots (4.1)$$

Donde:

- $W_{18}$  : Ejes equivalentes sencillos en el carril de diseño
- $D_d$  : Factor de distribución direccional, esto toma en cuenta en que dirección va el trafico con mayor porcentaje de vehículos pesados. AASHTO recomienda 50 % para la mayoría de carreteras pudiendo variar de 0.3 a 0.7
- $D_l$  : Factor de distribución de carril, toma en cuenta la distribución del trafico, cuando existen mas de dos carriles en un mismo sentido
- $\hat{w}_{18}$  : Ejes equivalentes sencillos acumulados en ambas direcciones

La guía AASHTO recomienda la tabla para obtención del  $D_l$

**Tabla 4.2 Factor de distribución por carril**

N° de Carriles en cada sentido	Porcentaje de $W_{18}$ en el carril de diseño $D_l$
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4 o mas	50 - 75

En el tramo en estudio en el estudio de transito el objetivo fue obtener el:



**Índice medio diario anual** con el respectivo factor de corrección estacional en el año 2006 para luego proyectarlo al 2026, para esto nos valimos de la data histórica de:

- Censo vehicular para los días jueves 28/04/1996, viernes 29/04/1996, y sábado 30/04/1996, en la estación E-1 (Km. 54).<sup>1</sup>
- Promedios diarios de tráfico – Peaje de Corcona, mes de Mayo del 2000, resultado del censo vehicular entre los días Jueves 04/05/2000 al Miércoles 10/05/2000
- Totales mensuales de vehículos según clase, de la unidad de peaje Corcona, para los años 2003, 2004 y 2005.
- Censo vehicular en campo, por algunas horas reducidas, entre los días Viernes 20/01/2006 al Domingo 22/01/2006, datos que fueron completados con los proporcionados por los otros grupos de trabajo.

**Ejes equivalentes simples ( $EAL W_{18}$ )** los pasos para la obtención fueron:

- Se clasifico a los vehículos con sus respectivos pesos máximos por ejes de acuerdo al Reglamento Nacional de Vehículos, promulgado mediante D.S. N° 058-2003-MTC del 12 de octubre del 2003. ver tabla 3.3 y su respectivo IMDA al Año 2006
- Se transformo de acuerdo al peso máximo por ejes permitido de los vehículos pesados en el factor equivalente de carga (**FECV**) de acuerdo a las formulas de la tabla 3.2
- No se incluyo el efecto dañino de vehículos livianos, el resto fueron considerados, con un promedio de presión de inflado de llantas de 100 psi.
- Según el gráfico elaborado por H.F. Southgate y R.C. Deen en el Kentucky Transportation Research Program (1985), se ha considerado una presión de contacto igual al 90% de la presión de inflado de las llantas con un capa asfáltica del pavimento de 125 mm. Así, resulta un factor de ajuste (FA) de 1,5. ver figura 3.1
- Se utilizo la data histórica del crecimiento vehicular siendo la tasa de crecimiento para vehículos livianos de 5.58% y para vehículos pesados de 3.90%
- Se calcula los  **$EAL (W_{18})$**  de acuerdo a la formula 3.1 obtenemos el  $\hat{w}_{18}$  luego con la formula 4.1 obtenemos el  $(W_{18})$ , luego lo proyectamos para cada 5 años siguientes hasta llegar al periodo de diseño en el 2026.

El IMDA obtenido para el 2006 se muestra en la tabla 4.3

<sup>1</sup> Vigo Jáuregui, Fernando. " Metodología para la Evaluación Integral de Pavimentos Flexibles, Carretera Central tramo Cocachacra Matucana". Lima Perú 1999

**Tabla 4.3 Proyección del IMDA para el Año 2006**

Clasificación Vehicular	Tipo	1996	2000	2006
LIVIANOS	ACÉMILAS	-	-	-
	MOTOS	-	-	-
	AU	318	630	735
	CAMT	394	319	137
	COMBI	166	134	58
	MICRO	91	133	133
OMNIBUS	B2	257	293	232
	B3	110	126	100
	B4	-	-	-
CAMIÓN	C2-Ch	260	497	570
	C2	220	420	482
	C3	305	358	292
	C4	-	32	54
SEMITRAYLER	2S1	-	-	-
	2S2	79	40	2
	2S3	97	133	125
	3S1	-	-	-
	3S2	51	70	67
	3S3	10	267	436
TRAYLER	2T2	1	3	6
	2T3	1	1	1
	3T2	2	23	35
	4T2	-	-	-
	3T3	8	26	37
	3T4	-	-	-
	4T3	-	-	-
<b>TOTAL</b>		<b>2,370</b>	<b>3,505</b>	<b>3,502</b>

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del tráfico proyectado se halló el porcentaje de vehículos livianos y pesados que recorrían la vía en las diferentes horas a partir del detalle del conteo vehicular realizado en 1996. A partir de este comportamiento, y aplicando la tasa de crecimiento vehicular hallada a partir de los datos del 2003 al 2005, se proyectaron los IMDA para el horizonte del proyecto. Ver tabla 4.4

**Tabla 4.4 IMD Proyectados para el periodo de diseño del proyecto**

Tipo de Vehículo	2006	2011	2016	2021	2026
Vehículo Liviano	1300	1443	1586	1729	1871
Vehículo Pesado	2202	2487	2773	3058	3344
<b>TOTAL</b>	<b>3502</b>	<b>3930</b>	<b>4359</b>	<b>4787</b>	<b>5215</b>

Fuente: Elaboración propia

En el cálculo de ejes equivalentes simples EAL ( $W_{18}$ ) se considero los ejes o conjunto de ejes de los vehículos pesados cargados a su máxima capacidad según el cuadro 3.3, además de considerar los factores de distribución por carril y por factor direccional. La tabla 4.5 muestra los ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño; para detalles ver anexo cálculo de ejes equivalentes.

**Tabla 4.5 Ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño**

Ejes equivalentes simples acumulados de 8.2 tn.	2011	2016	2021	2026
EAL ( $W_{18}$ )	1.035E+07	2.288 E+07	3.805 E+07	5.641 E+07

Fuente: Elaboracion propia

### 4.2.3 CONFIABILIDAD R

Se refiere al grado de certeza para que las distintas alternativa de diseño estructural que se obtengan, duraran como mínimo el periodo de diseño, se considera las posibles variaciones en la predicción del transito en ejes equivalentes acumulados y el comportamiento estructural de la sección diseñada.

El método AASHTO recomienda valores de confiabilidad R del orden de 50 hasta 99.9 que depende de las clasificaciones funcionales, los valores mas altos corresponden a carretera sujetas a uso intensivo. En nuestro tramo clasificaremos a la vía de acuerdo a su IMD (3502 Veh./día) correspondiéndole una carretera departamental de doble carril de primera clase, según apartado 3.2 y tabla 3.1 y la tabla AASHTO 4.6 tomamos un nivel de confiabilidad de 95%

**Tabla 4.6 Niveles de confiabilidad para distintas clasificaciones funcionales**

Clasificación Funcional	Nivel de Confiabilidad Recomendado	
	Urbano	Rural
Interestatal o Autopista	85 – 99.9	80 – 99.9
Red Principal	80 - 99	75 – 95
Red Secundaria	80 - 95	75 – 95
Red Rural o local	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guia para el diseño de la estructura del Pavimento AASHTO '93

La confiabilidad esta representada mediante el modelo de distribución normal, que se relaciona con la desviación estándar normal  $Z_r$ . según la tabla mostrada abajo. El valor  $Z_r$  que le corresponde para la confiabilidad tomada es según tabla 4.7 de  $Z_r = -1.645$

**Tabla 4.7 Valores de la desviación estándar normal (Zr) correspondientes a niveles seleccionados de confiabilidad**

Confiabilidad R (%)	Desviación estándar Normal Zr
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
.	.
.	.
.	.
.	.
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para el diseño de la estructura del Pavimento AASHTO '93

#### 4.2.4 DESVIACION ESTANDAR GLOBAL $S_o$

Este parámetro está ligado directamente con la confiabilidad R, donde hallado el R, le corresponderá un valor  $S_o$  (desviación estándar global) representativo de las condiciones locales particulares, considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

Los valores  $S_o$  se desprendió de la observación de la carretera experimental AASHTO, el error en la predicción del comportamiento de las secciones en tales tramos. Fue de 0.25 para pavimentos rígidos y 0.35 para pavimentos flexibles; el rango de valores  $S_o$  proporcionados por la guía AASHTO es de **0.40 – 0.50** para pavimentos flexibles.

#### 4.2.5 CARACTERIZACION DE LA SUBRASANTE Y CAPAS GRANULARES

Para la caracterización de los materiales se toma en cuenta la respuesta de la resistencia del material ante la variación de los factores ambientales y la carga a la que es impuesta, la determinación del módulo resiliente representa esta característica de comportamiento de los materiales que se emplearán en la subrasante o capas granulares.

**Módulo Resiliente de la Subrasante** esta medida toma un concepto mecanicista del material de mayor representación que el en ensayo de soporte (CBR) ya que toma en cuenta el esfuerzo-deformación ante cargas triaxiales cíclicas. Como sabemos el suelo de fundación generalmente es un suelo de grano fino cohesivo, estos tipos de suelos son susceptibles en los cambios físicos de sus propiedades debido a la presencia de humedad, a la acción de las heladas, etc. con mucha más razón sufrirá cambios ante la carga que le será impuesta en este caso el tráfico. Cuando encontremos suelos de fundación pobres como con altos finos, contaminado, poca gradación, etc. se preverá un tratamiento para el suelo como puede ser estabilizarlo, reemplazar el material, etc., para llegar a obtener un modulo resiliente que este de acuerdo a las sollicitaciones a la que tendrá que soportar durante el periodo de diseño del pavimento. Cuando se cuente con el equipo de medición apropiado se deberá ensayar el suelo para la obtención del Mr. para diferentes épocas del año donde se estaría considerando los cambios ambientales que afectan a los suelos de fundación durante el año. El problema de no contar con la instrumentación moderna la guía AASHTO propone una ecuación de correlación para obtener el Mr a partir del CBR.

$$Mr = 1500 * CBR \dots \dots \dots (4.2)$$

Esto solo para suelos que tienen CBR menores a 10%.

El terreno de fundación del tramo en estudio es un terreno de buena calidad (GW-GC) según lo reporta los ensayos de suelos del estudio de la rehabilitación realizada en el año 2001, y corroborada con la salida en campo donde se tomo muestra de la calicata adyacente a la vía. Tomaremos los datos del estudio anterior por ser mas representativo ya que no se pudo hacer la calicata en el eje de la carretera, el resultado del ensayo se puede ver en el anexo estudio de suelos y canteras. Como se ve en la tabla... los suelos de la subrasante tienen la tendencia a ser granulares y su CBR están en el orden de 12% a 59%, según no podemos aplicar la ecuación (4.2). Por tratarse de suelos granulares y CBR mayores al 15%, se aplicara la formula para obtención del Mr para suelos granulares.

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241 \dots \dots \dots (4.3)$$

De los estudios de suelos de la subrasante realizado en el tramo comprendido entre las progresivas 56+570-60+000 tenemos el resumen de ensayos de CBR

de calicatas entre 0.35 a 1.50 m; según la tabla 4.8 el cual lo convertimos a modulo resiliente usando la formula (4.3), y tomamos el Mr característico de la muestra para un percentil del 95%

**Tabla 4.8 Resumen de Ensayo de CBR de tramo en estudio**

Progresiva	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	CBR 95% (0.1")
56+570	GP-GC	A-1-a	2.25	7.2	27
57+000	GW	A-1-a	2.26	5.2	55
57+500	GP-GW	A-1-a	2.27	5.2	59
58+000	GW-GM	A-1-a	2.26	7	22
59+500	GW-GM	A-1-a	2.31	6.7	37
60+000	GC	A-2-4	2.09	9.8	12
61+000	GC	A-2-4	2.26	7.2	23

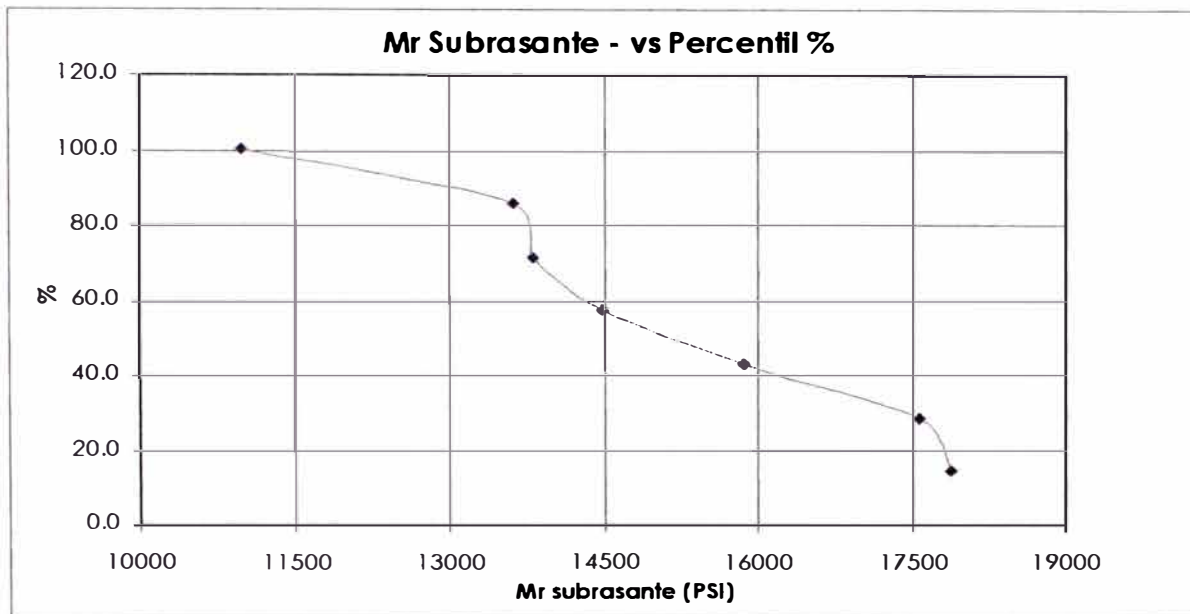
Fuente: MTC, SINMAC; Estudios de Rehabilitación de la carretera Héroes de la Breña Tramo II Cocachacra – Matucana

La tabla 4.9 muestra los valores de Mr obtenidos para los CBR de la subrasante del tramo, en la ultima columna obtenemos los percentiles mayores al CBR de cada fila; graficamos el Mr vs. Percentil, el modulo Mr que se usara para la representación de la subrasante en la formula del numero estructural será el Mr con el percentil al 95% según figura 4.1 el  $Mr (95\%) = 11777.35 \text{ psi}$

**Tabla 4.9 Percentil de la muestra de los CBR en el tramo de estudio para la obtención del Modulo Resiliente**

CBR 95% Ordenado	Mr = $4326 \cdot \ln(\text{CBR}) + 241$	Valores Mayores a Mr	Percentil %
59	17880.43	1	14.3
55	17576.72	2	28.6
37	15861.83	3	42.9
27	14498.79	4	57.1
23	13805.15	5	71.4
22	13612.85	6	85.7
12	10990.71	7	100.0

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4.1:** Percentil para los Módulos resilientes de la Subrasante

### Caracterización de las capas del pavimento

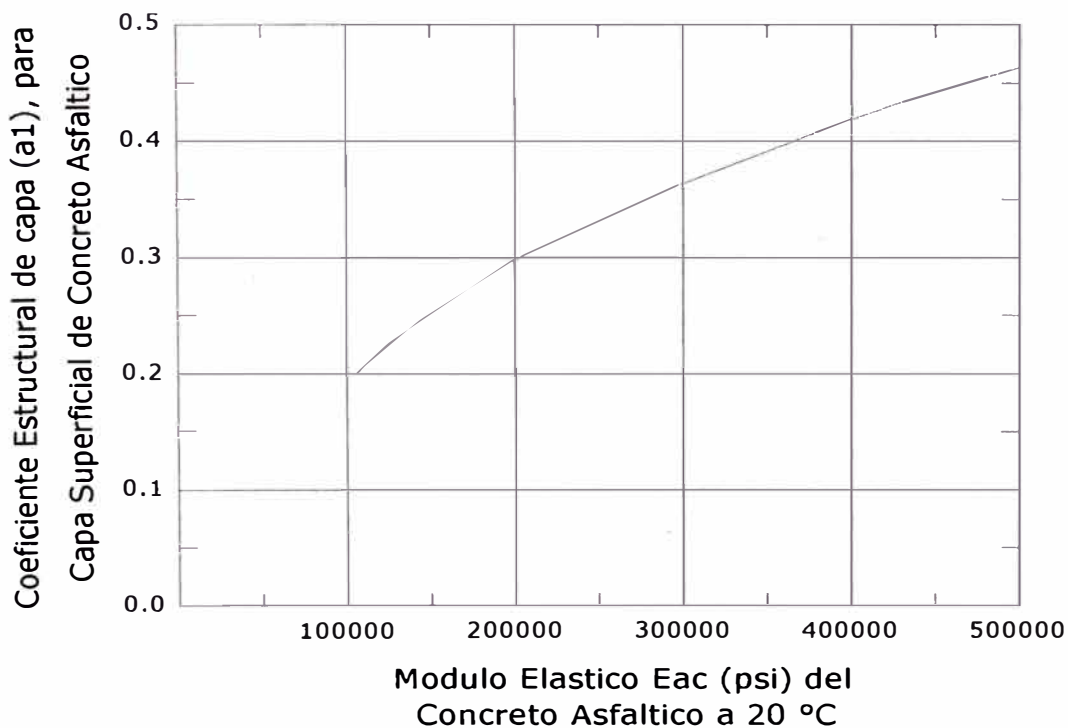
Para la caracterización del suelo de fundación se realiza a través del módulo resiliente, para la caracterización de las capas se hace con los módulos elásticos ya sea de subbase, base y concreto asfáltico. Estos módulos elásticos representan la capacidad elástica de las capa de recuperarse ante la influencia de las cargas actuantes; como sabemos la capa granular puede llevarse a cabo todavía después de compactado deformaciones permanentes en el tiempo, para que este modulo sea representativo se debe hacer que no existan deformaciones no recuperables (permanentes) ya que no se estaría comportando elásticamente, para lograrlo se tiene que aumentar la rigidez de las capas del pavimento por que una deformación ínfima hará despreciable la deformación permanente, con lo que se conseguirá que las capas tomen una representación elástica. La guía AASHTO caracteriza las capas a través de los coeficientes estructurales de capa ( $a_i$ )

Los **COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA** es el valor que se le asigna a cada capa del material del pavimento para la conversión de los espesores en un numero estructural (SN). Este coeficiente expresa la relación empírica entre el número estructural y el espesor; con esto el espesor de capa funciona como componente de la estructura del pavimento.

### **Coefficiente de la capa de Concreto Asfáltico ( $a_1$ )**

En la mezcla asfáltica es necesario comprender el comportamiento a través de la medición de la deformación permanente y la falla por fatiga que afectara la calidad de la mezcla asfáltica; el **modulo de resiliencia ( $E_{AC}$ )** caracteriza las mezclas asfálticas, para su determinación se ve afectados por factores como: Contenido de asfalto, temperatura, tipo de agregado y granulometría, nivel de esfuerzos, frecuencia de carga. En vista de la falta de implementación de estos equipos sofisticados de medición del comportamiento de la mezcla asfáltica, la guía AASHTO proporciona la carta de la figura 4.2, obtenida de la observación de los tramos de prueba, donde relaciona el modulo de resiliencia  $E_{AC}$  y su respectivo coeficiente estructural de capa. Esta carta fue hecha para una mezcla de gradación densa y temperatura de 20 °C.

La temperatura media anual del tramo en estudio es 24 °C, y los requisitos para diseño de la mezcla asfáltica son los recomendados por la AASHTO, entonces el  $E_{AC}$  de la capa de rodadura lo tomaremos de 450000 psi, con lo de la figura 4.2 se obtiene el coeficiente de aporte estructural de la capa asfáltica de 0.44/pulg.



**Figura 4.2:** Carta para la estimación del Coeficiente Estructural de la capa del Concreto Asfáltico, de gradación densa basado en el Módulo elástico



**Coefficiente estructural de Base Granular (a2)**

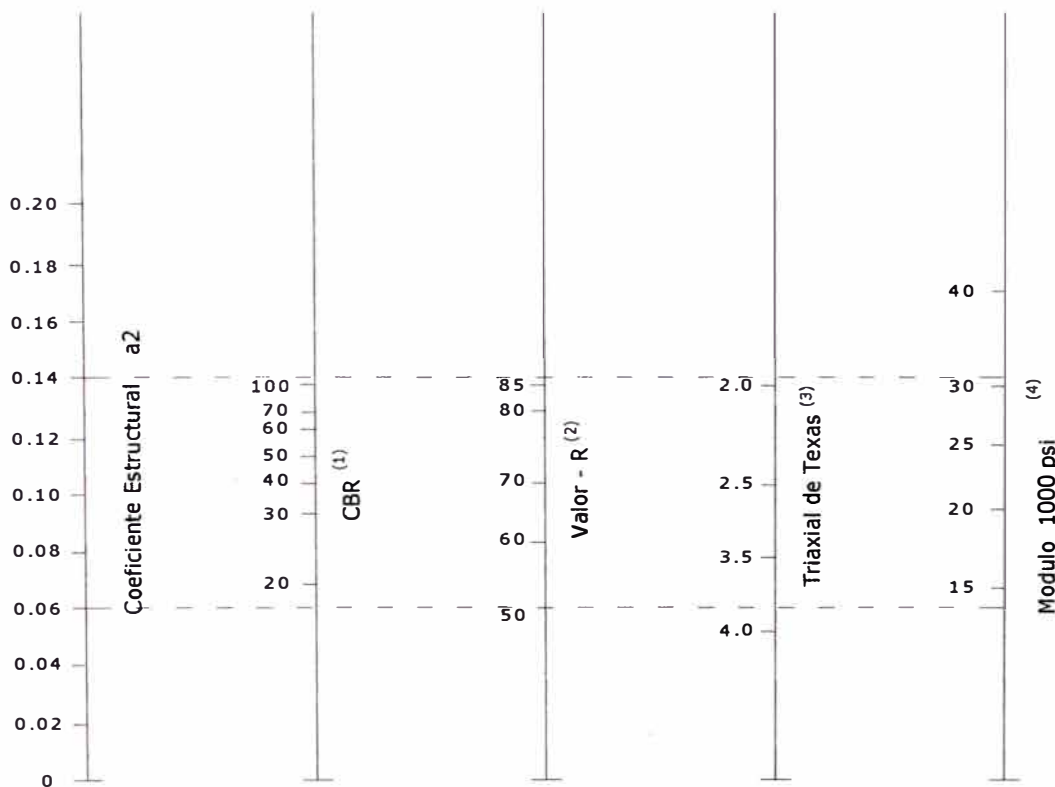
El módulo resiliente para la capa de base depende principalmente de los estados de esfuerzos principales y del contenido de humedad. La guía AASHTO presenta la carta para la obtención del coeficiente estructural de base en función del modulo resiliente; figura 4.3 Además de la siguiente ecuación de correlación:

$$a_2 = 0.249 \cdot \log(E_B) - 0.977 \dots \dots \dots (4.4)$$

Para materiales granulares:  $E_B = K_1 \Theta^{K_2} \dots \dots \dots (4.5)$

$\Theta$  : Suma de estado de esfuerzos principales  
 $K_1, K_2$  : constantes obtenidas experimentalmente

Para el tramo de estudio, según tabla 3.11 del CBR recomendado tomamos el 100% con lo cual según la figura 4.3 le corresponde un coeficiente estructural de capa base a2 de 0.138



- (1) Escala derivada promediando correlaciones obtenidas de Illinois
- (2) Escala derivada promediando correlaciones obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming
- (3) Escala deriva da promediando correlaciones obtenidas de Texas
- (4) Escala deriva del proyecto NCHRP (3)

**Figura 4.3:** Variación del coeficiente estructural de Capa Base (a2) con diferentes parámetros de resistencia

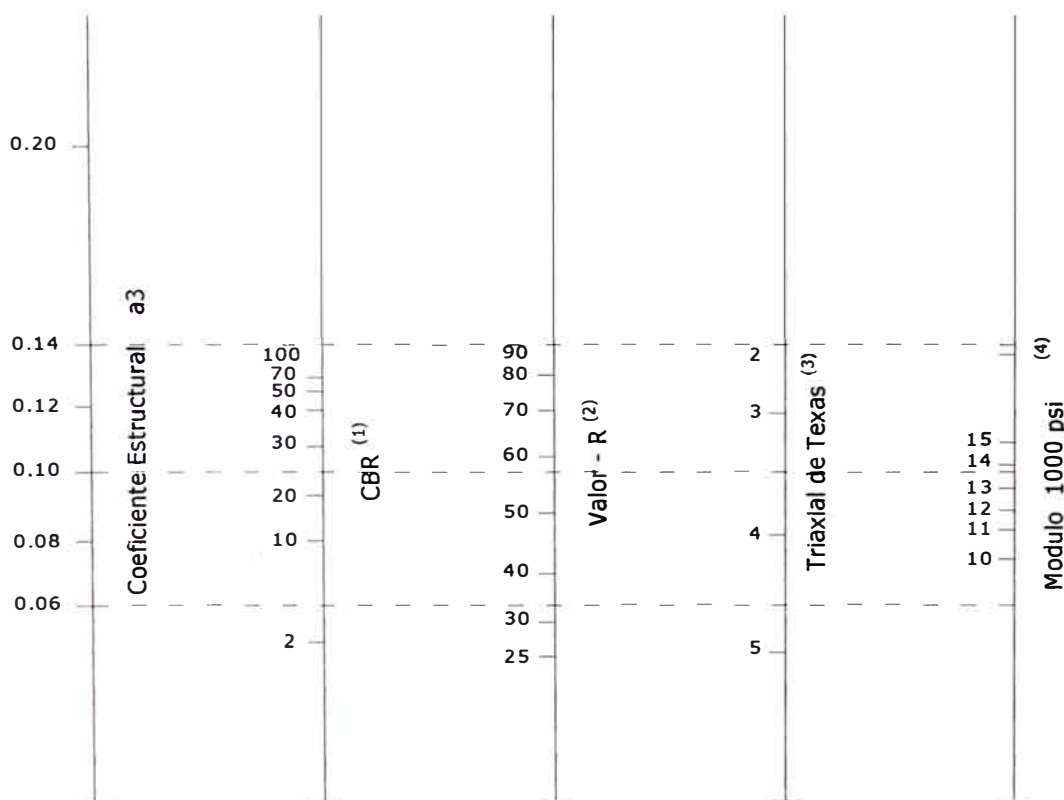
**Coefficiente estructural de Subbase Granular (a3)**

Análogamente a la base granular la guía AASHTO proporciona la carta para la obtención del coeficiente estructural de subbase en función del modulo resiliente ver figura 4.4 se usa también la siguiente ecuación de correlación:

$$a_3 = 0.227 \cdot \log(E_{SB}) - 0.839 \dots \dots \dots (4.6)$$

En la ecuación 4.5 para subbase granular  $K_1$  varia de 1500 a 6000 y  $K_2$  varia de 0.4 a 0.6

Para el tramo de estudio, según tabla 3.9 del CBR recomendado tomamos el 70% con lo cual según la figura 4.4 le corresponde un coeficiente estructural de capa Subbase  $a_2$  de 0.130



- (1) Escala derivada promediando correlaciones obtenidas de Illinois
- (2) Escala derivada promediando correlaciones obtenidas de California, Nuevo Mexico y Wyoming
- (3) Escala deriva da promediando correlaciones obtenidas de Texas
- (4) Escala deriva del proyecto NCHRP (3)

**Figura 4.4:** Variación del coeficiente estructural de Capa Base ( $a_2$ ) con diferentes parámetros de resistencia

## 4.2.6 COMPORTAMIENTO FUNCIONAL

### 4.2.6.1 SERVICIABILIDAD

EL comportamiento funcional esta referida a la valoración de cuan bien sirve en lo referente al confort al usuario de la vía. Esta serviciabilidad se le denomina **Índice de Serviciabilidad Presente** (PSI) del pavimento, es un valor de apreciación con el cual se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento, con esta medición se podrá controlara las gestiones de rehabilitación de carreteras. El rango de valores de PSI varia desde un valor 5, que es para pavimentos nuevo en perfecto estado, con buen diseño y que recibió un estricto control en la etapa de construcción; y un valor 0 para pavimentos en pésimo estado debido a deflexiones y fallas superficiales.

El cambio de la pérdida de serviciabilidad toma en cuanta la ecuación del número estructural con el componente:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \dots\dots\dots(4.7)$$

la guía AASHTO recomienda un índice de **serviciabilidad inicial ( $P_o$ )** de 4.2 para pavimento flexibles y un índice de **serviciabilidad termina ( $P_t$ )** de 2.5 para caminos principales y 2.0 para caminos secundarios. Para el calculo del PSI se han realizado distintas ecuaciones de correlación, la formula mas empleada en el Perú es la que correlaciona el PSI con el índice de rugosidad internacional (IRI) que toma la medida en campo con distinto instrumentos desde sofisticados hasta los mas prácticos como el equipo merlín, al hacer el recorrido con el equipo va midiendo los altibajos y los va sumando, obteniéndose al final un valor acumulado en m/Km. la tabla 4.10 muestra el estado del pavimento en base al PSI

**Tabla 4.10 Estado del pavimento en función del PSI**

INDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI)	ESTADO DEL PAVIMENTO
0 - 1	Muy Malo
1 - 2	Malo
2 - 3	Regular
3 - 4	Bueno
4 - 5	Muy Bueno

Fuente: Chang Arbitres, Carlos. "Pavimentos un enfoque al futuro" Pág. 13

En el tramo de estudio se tomo como  $P_o$  de 4 ya que se tratara como una mezcla asfáltica convencional sin aditivos y un  $P_t$  de 2 ya que se preverá que el

pavimento llegue al final de su periodo de diseño en un estado regular según figura 4.10 para tener que rehabilitar solo a nivel de carpeta asfáltica.

#### 4.2.7 EFECTO DEL DRENAJE EN LA BASE Y SUBBASE

El agua retenida en la estructura del pavimento aunado al efecto de las cargas de tránsito, trae consecuencias negativas para el desempeño de la capacidad estructural del pavimento, que ameritara la importancia en prever el drenaje suficiente si es que el agua pudiese quedar atrapada, esta agua que no es drenada a tiempo disminuirá la resistencia del pavimento. La guía AASHTO toma en cuenta el efecto del drenaje sobre las capas del pavimento en función de:

- La calidad del drenaje ( tiempo requerido para el pavimento para drenar)
- El porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

Según lo anterior el efecto del drenaje es manejado en niveles de acuerdo al tiempo de remoción del agua.

**Tabla 4.11 Calidad de drenaje y tiempo de remoción del agua del pavimento**

CALIDAD DE DRENAJE	TIEMPO DE REMOCION DEL AGUA
Excelente	2 Horas
Bueno	1 Día
Regular	1 Semana
Pobre	1 Mes
Muy Pobre	No Drena

*Fuente: Guía para el diseño de la estructura del Pavimento AASHTO '93*

#### **Coeficiente de Drenaje (mi):**

Conociendo los niveles de drenaje, su efecto sobre el diseño del pavimento es en la modificación del coeficiente estructural de las capas granulares ( $a_i$ ) multiplicando por el coeficiente de drenaje ( $m_i$ ), la inclusión de este factor en la ecuación... hará la modificación respectiva de los espesores de las capas granulares. La guía AASHTO no considera el efecto del drenaje sobre el concreto asfáltico, por razones de seguridad no se permite el ingreso de agua a través de la superficie asfáltica, esto puede ocurrir cuando la carpeta se encuentra con signos de falla o deteriorada, con lo cual el pavimento ya requeriría una rehabilitación.

En nuestro tramo de estudio Cocachacra - Matucana, según el registro histórico de precipitaciones máxima en 24 horas es de 20 mm, los meses de mayor precipitación son febrero y marzo, el drenaje superficial a través de las cunetas y alcantarillas se encuentra en buen estado y con suficiente capacidad de evacuación de las aguas dispuestos en promedio de cuatro alcantarillas por kilómetro, el trazo cuenta con una pendiente longitudinal en promedio de 6 % que ayuda al drenaje, además no se ha encontrado signos de ojos de agua o napa freática elevadas, según el estudio de suelos posee una subsante granular GW-GC, que es un material que hace la función de capa drenante. Según la tabla 4.11 calidad de drenaje buena y según la tabla 4.12 se elige un coeficiente de drenaje *mi de 1.08* para subbase y base.

**Tabla 4.12 Valores de *mi* recomendados para los coeficientes de capa Modificados para Base y Subbase no tratada**

Calidad del Drenaje	% de Tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de Humedad cercanos a la Saturación			
	<1	1 - 5	5 - 25	>25
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.8	0.80 – 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guía para el diseño de la estructura del Pavimento AASHTO '93

### 4.3 DETERMINACION DE ESPESORES

Para la determinación del espesor tenemos que calcular primero el número estructural de la sección del pavimento mediante la ecuación 4.0 que está en función de las variables explicadas en este capítulo (Tráfico, Parámetros estadísticos de confiabilidad, característica del suelo de la subsante, serviciabilidad), luego se representará la influencia integral de los componentes de las capas del pavimento que proveerá la suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original. La ecuación 4.8 se usará para obtener los espesores de capa.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \dots \dots \dots (4.8)$$

Donde:

SN : Numero Estructural del pavimento

a1, a2, a3: Coeficiente estructural de capa representativo de la carpeta asfáltica, Base y subbase respectivamente

D1, D2, D3: Espesores de la carpeta asfáltica, base y subbase respectivamente en pulgadas

m2, m3 : Coeficientes de drenaje para base y subbase respectivamente

Para el calculo de los espesores D1, D2, D3; en pulgadas, la guía AASHTO sugiere los siguientes valores mínimos en función del transito en ejes equivalentes sencillos.

**Tabla 4.13 Espesores mínimos en función de ejes equivalentes**

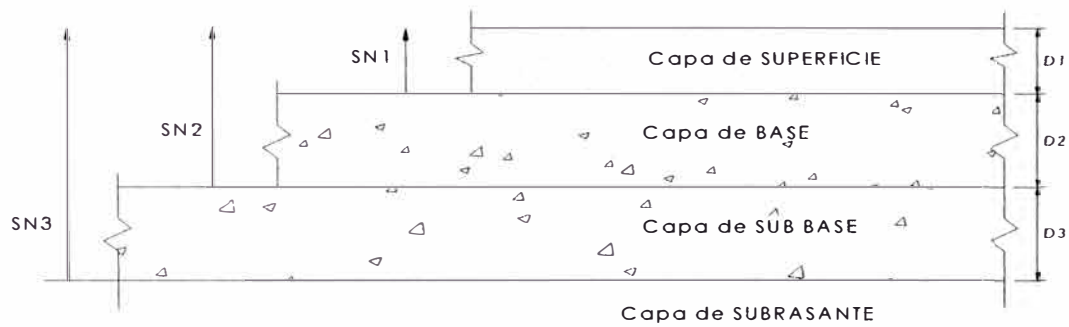
Trafico EAL ( $W_{18}$ )	Concreto Asfáltico (pulgadas)	Base de Agregados (pulgadas)
Menos de 50,000	1.0 ó TS	4.0
50,000 – 150,000	2.0	4.0
150,001 – 500,000	2.5	4.0
500,001 – 2'000,000	3.0	6.0
2'000,000 – 7'000,000	3.5	6.0
Mayor que 7'000,000	4.0	6.0

TS : tratamiento superficial con sellos

**Fuente: Guía para el diseño de la estructura del Pavimento AASHTO '93**

#### 4.3.1 ANALISIS DE DISEÑO POR CAPAS

Este concepto esta basado en proteger a las capas granulares de la posibles presiones excesivas que llegaran a producir deformaciones permanentes, para esto se restringirá sabiendo los espesores mínimos que contrarreste estos efectos, teniendo en cuenta además que la sección esta formada por un sistema estratificado compactado, donde el orden de la calidad decreciente del material es colocada de la superficie hacia la parte inferior del pavimento y cada capa aporta su respectiva resistencia. La forma de calculo es como sigue: se calcula el numero estructural del suelo de fundación, influenciado con todas las capas; luego el numero estructural de la base y subbase a partir de sus respectivos módulos de resiliencia; se calcula el espesor mínimo para cada capa restando del numero estructural de las capas adyacentes hasta llegar a la ultima capa.



$$D^*1 \geq \frac{SN1}{a1}$$

$$SN^*1 = a1D^*1 \geq SN1$$

$$D^*2 \geq \frac{SN2 - SN^*1}{a2m2}$$

$$SN^*1 + SN^*2 \geq SN2$$

$$D^*3 \geq \frac{SN3 - (SN^*1 + SN^*2)}{a3m3}$$

- 1) a, D, m y SN representan los valores mínimos requeridos
- 2) Un asterisco junto a D o a SN, indica el valor actualmente usado el cual debe ser igual o mayor al valor requerido.

**Figura 4.5:** Procedimiento para determinar los espesores de capas usando una Aproximación de Análisis por Capas

## 4.4 APLICACIÓN DEL METODO

Tabla 4.14 DISEÑO DEL PAVIMENTO PARA EL PERIODO DE 20 AÑOS

DISEÑO DE ESPESORES METODO AASHTO '93			
PROYECTO: MEJORAMIENTO Y REHABILITACION		TRAMO: COCACHACRA - MATUCANA	
SECTOR: 57+000 – 60 + 0000		GRUPO: 03	
DATOS			
1. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES			
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (psi)		450000	
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (psi)		70000	
C. MODULO DE RESILENCIA DE ALA SUBBASE GRANULAR (psi)		30000	
2. TRAFICO Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES EAL (W18)		5.641 E+07	
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD R		95 %	
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)		-1.645	
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)		0.45	
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr)		11777.35	
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		4.0	
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)		2.0	
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)		20	
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA (1/pulg.)			
CONCRETO ASFALTICO CONVENCIONAL (a1)		0.44	
BASE GRANULAR (a2)		0.138	
SUBBASE GRANULAR (a3)		0.130	
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
BASE GRANULAR (m2)		1.08	
SUBBASE (m3)		1.08	
RESULTADOS			
A. NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>req</sub> )		5.48	
B. NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )		3.08	
C. NUMERO ESTRUCTURAL HASTA BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )		4.12	
D. NUMERO ESTRUCTURAL HASTA SUBBASE GRANULAR (SN <sub>SB</sub> )		5.52	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA		TEÓRICO (pulg.)	TEÓRICO (cm.)
A. ESPESOR DE CARPETA ASFALTICA (pulg.)		7	17.5
B. ESPESOR DE BASE GRANULAR (pulg.)		7	17.5
C. ESPESOR SUBBASE GRANULAR (pulg.)		10	25
D. ESPESOR TOTAL (pulg.)		24	60
E. NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL		5.53	5.53
			PROPUESTO (cm.)
			17.5
			20.0
			25.0
			62.5
			5.68



## NÚMERO ESTRUCTURAL DE LA SUBRASANTE

Datos	Valores
W <sub>18</sub>	5.641E+07
Z <sub>r</sub>	-1.645
S <sub>o</sub>	0.450
M <sub>r</sub> (psi)	11,777.35
PSI inicial	4.000
PSI final	2.000
Δ PSI	2.000

Incluye factor carril y factor de distribución

Considerando confiabilidad R=95%

Para pavimentos flexibles

Tipo de suelo tabla 3.7 y requisitos de calidad del material

De acuerdo a tabla 4.10 y tecnología en Perú

De acuerdo a tabla 4.10 y rehabilitación

Pérdida de serviciabilidad

$$\log_{80}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{80}(M_r) - 8.07$$

**Tabla 4.15** Iteración para obtener el SN de la subrasante

SN	Log W <sub>18</sub>	Z <sub>r</sub> x S <sub>o</sub>	9.36 x Log(SN+1) - 0.20	Log( \PSI/(4.2 - 1.5))	0.40 + 1094/(SN+1) <sup>5.19</sup>	2.32 x Log(M) - 8.07	IGUALDAD
1	7.7514	-0.7403	2.6176	-0.1303	30.3690	1.3748	4.5034
2	7.7514	-0.7403	4.2659	-0.1303	4.0539	1.3748	2.8831
3	7.7514	-0.7403	5.4353	-0.1303	1.2210	1.3748	1.7883
4	7.7514	-0.7403	6.3424	-0.1303	0.6578	1.3748	0.9726
5	7.7514	-0.7403	7.0835	-0.1303	0.5001	1.3748	0.2939
6	7.7514	-0.7403	7.7101	-0.1303	0.4450	1.3748	-0.3004
5.5	7.7514	-0.7403	7.4089	-0.1303	0.4661	1.3748	-0.0124
5.25	7.7514	-0.7403	7.2494	-0.1303	0.4810	1.3748	0.1383
5.375	7.7514	-0.7403	7.3299	-0.1303	0.4731	1.3748	0.0624
5.4375	7.7514	-0.7403	7.3696	-0.1303	0.4695	1.3748	0.0248
5.46875	7.7514	-0.7403	7.3893	-0.1303	0.4677	1.3748	0.0062
5.48438	7.7514	-0.7403	7.3991	-0.1303	0.4669	1.3748	-0.0031
5.47656	7.7514	-0.7403	7.3942	-0.1303	0.4673	1.3748	0.0015
5.48047	7.7514	-0.7403	7.3966	-0.1303	0.4671	1.3748	-0.0008
5.47852	7.7514	-0.7403	7.3954	-0.1303	0.4672	1.3748	0.0003
5.47949	7.7514	-0.7403	7.3960	-0.1303	0.4672	1.3748	-0.0002
5.479	7.7514	-0.7403	7.3957	-0.1303	0.4672	1.3748	0.0001
5.47925	7.7514	-0.7403	7.3959	-0.1303	0.4672	1.3748	-0.0001
5.47913	7.7514	-0.7403	7.3958	-0.1303	0.4672	1.3748	0.0000

**SN = 5.48**

## NÚMERO ESTRUCTURAL DE LA BASE

Datos	Valores
W18	5.641E+07
Zr	-1.645
So	0.450
Mr (psi)	70,000.00
PSI inicial	4.000
PSI final	2.000
Δ PSI	2.000

Incluye factor carril y factor de distribución

Considerando confiabilidad R=95%

Para pavimentos flexibles

Tipo de suelo tabla 3.7 y requisitos de calidad del material

De acuerdo a tabla 4.10.10 y tecnología en Perú

De acuerdo a tabla 4.10 y rehabilitación

Pérdida de serviciabilidad

**Tabla 4.16** Iteración para obtener el SN de la Base

SN	Log W18	Zr x So	$\frac{9.36 \times \text{Log}(\text{SN}+1)}{-0.20}$	$\frac{\text{Log}(\text{DPSI}/(4.2 - 1.5))}{-1.5}$	$\frac{0.40 +}{1094/(\text{SN}+1)^{5.19}}$	$\frac{2.32 \times \text{Log}(\text{MR})}{-8.07}$	IGUALDAD
1	7.7514	-0.7403	2.6176	-0.1303	30.3690	3.1706	2.7077
2	7.7514	-0.7403	4.2659	-0.1303	4.0539	3.1706	1.0873
3	7.7514	-0.7403	5.4353	-0.1303	1.2210	3.1706	-0.0075
2.5	7.7514	-0.7403	4.8925	-0.1303	2.0417	3.1706	0.4924
2.75	7.7514	-0.7403	5.1729	-0.1303	1.5476	3.1706	0.2323
2.875	7.7514	-0.7403	5.3062	-0.1303	1.3680	3.1706	0.1100
2.9375	7.7514	-0.7403	5.3713	-0.1303	1.2909	3.1706	0.0507
2.96875	7.7514	-0.7403	5.4034	-0.1303	1.2551	3.1706	0.0214
2.984375	7.7514	-0.7403	5.4194	-0.1303	1.2378	3.1706	0.0069
2.992188	7.7514	-0.7403	5.4273	-0.1303	1.2293	3.1706	-0.0003
2.988281	7.7514	-0.7403	5.4234	-0.1303	1.2336	3.1706	0.0033
2.990234	7.7514	-0.7403	5.4253	-0.1303	1.2314	3.1706	0.0015
2.991211	7.7514	-0.7403	5.4263	-0.1303	1.2304	3.1706	0.0006
2.991699	7.7514	-0.7403	5.4268	-0.1303	1.2299	3.1706	0.0001
2.991943	7.7514	-0.7403	5.4271	-0.1303	1.2296	3.1706	-0.0001
2.991821	7.7514	-0.7403	5.4270	-0.1303	1.2297	3.1706	0.0000

**SN = 2.99**

## NÚMERO ESTRUCTURAL DE LA SUB-BASE

Datos	Valores
W <sub>18</sub>	5.641E+07
Z <sub>r</sub>	-1.645
S <sub>o</sub>	0.450
M <sub>r</sub> (psi)	30,000.00
PSI inicial	4.000
PSI final	2.000
ΔPSI	2.000

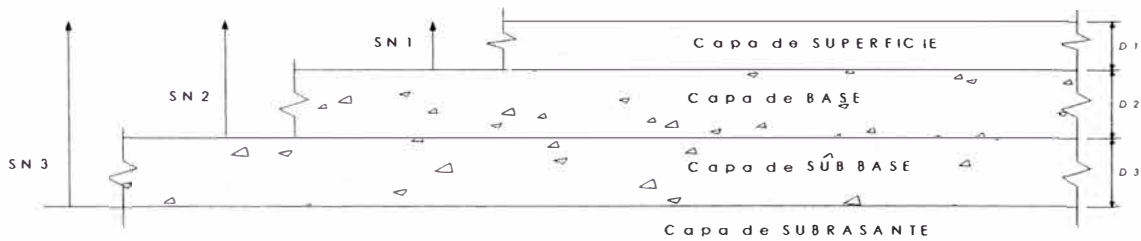
Incluye factor carril y factor de distribución  
Considerando confiabilidad R=95%  
Para pavimentos flexibles  
Tipo de suelo tabla 3.7 y requisitos de calidad  
De acuerdo a tabla 4.10 y tecnología en Perú  
De acuerdo a tabla 4.10 y rehabilitación  
Pérdida de serviciabilidad

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_r) - 8.07$$

**Tabla 4.17** Iteración para el calculo del SN Subbase

SN	Log W18	Z <sub>r</sub> x S <sub>o</sub>	$\frac{9.36 \times \log(SN+1) - 0.20}{}$	$\frac{\log(DPSI/(4.2 - 1.5))}{}$	$\frac{0.40 +}{1094/(SN+1)^{5.19}}$	$\frac{2.32 \times \log(MR) - 8.07}{}$	IGUALDAD
1	7.7514	-0.7403	2.6176	-0.1303	30.3690	2.3169	3.5614
2	7.7514	-0.7403	4.2659	-0.1303	4.0539	2.3169	1.9410
3	7.7514	-0.7403	5.4353	-0.1303	1.2210	2.3169	0.8462
4	7.7514	-0.7403	6.3424	-0.1303	0.6578	2.3169	0.0305
5	7.7514	-0.7403	7.0835	-0.1303	0.5001	2.3169	-0.6482
4.5	7.7514	-0.7403	6.7298	-0.1303	0.5572	2.3169	-0.3212
4.25	7.7514	-0.7403	6.5407	-0.1303	0.6002	2.3169	-0.1488
4.125	7.7514	-0.7403	6.4427	-0.1303	0.6268	2.3169	-0.0601
4.0625	7.7514	-0.7403	6.3929	-0.1303	0.6417	2.3169	-0.0151
4.03125	7.7514	-0.7403	6.3677	-0.1303	0.6496	2.3169	0.0076
4.04688	7.7514	-0.7403	6.3803	-0.1303	0.6457	2.3169	-0.0037
4.03906	7.7514	-0.7403	6.3740	-0.1303	0.6476	2.3169	0.0020
4.04297	7.7514	-0.7403	6.3771	-0.1303	0.6466	2.3169	-0.0009
4.04102	7.7514	-0.7403	6.3756	-0.1303	0.6471	2.3169	0.0005
4.04199	7.7514	-0.7403	6.3764	-0.1303	0.6469	2.3169	-0.0002
4.0415	7.7514	-0.7403	6.3760	-0.1303	0.6470	2.3169	0.0002
4.04175	7.7514	-0.7403	6.3762	-0.1303	0.6470	2.3169	0.0000

**SN = 4.04**

**ANÁLISIS POR CAPA:**

Para transformar el número estructural en capas granulares  
y carpeta de rodadura

empleamos la siguiente formula:  $SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$

SN= Numero estructural de la subrasante

$a_i$ = Coeficiente estructural

$D_i$ = Espesor de la capa (pulg.)

$m_i$ = Coeficientes de drenaje

Los números estructurales calculados fueron:

Numero estructural de la base	$SN_1 =$	2.99
Numero estructural de la Subbase	$SN_2 =$	4.04
Numero estructural de la Subrasante	$SN_3 =$	5.48

Determinación de los Coeficientes Estructurales:

**Carpeta Asfáltica:**

Modulo de elasticidad del concreto Asfáltico:	$E_{C.A} \text{ (psi)} =$	450000
de acuerdo a la Figura 4.2	$a_1 =$	0.44

**Base Granular:**

CBR del material de la capa base, tabla 3.11	$CBR_{BG} \% =$	100
de acuerdo a la Figura 4.3	$a_2 =$	0.138

**Subbase Granular**

CBR del material de la capa Subbase, tabla 3.9	$CBR_{SBG} \% =$	70
de acuerdo a la Figura 4.4	$a_3 =$	0.130

Determinación del Coeficiente de drenaje:

El estado de drenaje de nuestro tramo es Bueno

Llueve 2.0 meses al año	Saturación:	5% - 25%
De la tabla 4.12	$m_2 =$	1.08
	$m_3 =$	1.08

Determinación de los espesores de Capa

Procedemos según  
figura 4.5

$$D_1 = SN_1/a_1 = 6.8$$

$$D_1^* \geq SN_1/a_1 \quad D_1^* = 7.00$$

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* \geq SN_1 \quad SN_1^* = 3.08$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2} \quad D_2^* = 7.00$$

$$SN_2^* = a_2 \times m_2 \times D_2^* + SN_1^* \quad SN_2^* = 4.12$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - SN_2^*}{a_3 m_3} \quad D_3^* = 10$$

$$SN_3^* = a_3 \times D_3^* \times m_3 + SN_2^* \quad SN_3^* = 5.524$$

$$SN_3^* \geq SN_3 \quad \text{OK!}$$

Resumen de lo hallado**Tabla 4.18** Coeficientes estructurales y coeficientes de drenaje

Descripción	$a_i$	$m_i$	$D_i$ (pulg.)
<b>Carpeta asfáltica</b>	0.44	-	7.00
<b>Base Granular</b>	0.138	1.08	7.00
<b>Subbase Granular</b>	0.130	1.08	10.00

El pavimento esta formado por los siguientes espesores:

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

**Tabla 4.19** Espesores Finales de las capas estructurales

Espesores	Mínimos (pulg.)	Combinación a Usar (pulg.)
<b>Carpeta asfáltica</b>	7.00	7.00
<b>Base Granular</b>	7.00	8.00
<b>Subbase Granular</b>	10.00	10.00
<b>SN SUBRASANTE</b>	5.53	5.68

## 4.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los espesores obtenidos por el método AASHTO'93 según tabla 4.19, fueron ajustados teniendo en cuenta los espesores de diseño del análisis por capa, y los espesores mínimos dados por la tabla 4.13 , podrían parecer elevados, pero se debe prever, que el **espesor y la calidad** de los materiales empleados, esta directamente relacionado hasta cierto punto con la resistencia y durabilidad de la carretera. Los valores altos de los módulos de resiliencia fueron tomados de la correlación de la clasificación de suelos y los módulos de resiliencia la tabla 3.7, y en virtud del buen material que se encuentra en las canteras y en el terreno de fundación que es del tipo GP-GC, de buen comportamiento ante las humedades y cambios climáticos, los elevados módulos podría requerir algún tratamiento estabilizador, pero merecería en la medida que se esta proyectada como un eje vial integrador a nivel sudamericano de gran movilización de mercancías y pasajeros. Esta vía de gran importancia para el desarrollo del país merece que se tome los requisitos tanto en construcción como en la etapa de operación que es de mantenerlo para llegar a las condiciones de transitabilidad hasta su periodo de diseño donde se requerirá la rehabilitación de la carretera sin llegar a reconstruirlo por completo.

# Capítulo V

## CONSERVACIÓN DEL PAVIMENTO

El pavimento una vez puesto en servicio, está sometido con el paso del tiempo a las acciones de deterioro gradual a causas principalmente del tráfico y el medio ambiente o algún evento destructivo de la naturaleza sobre el pavimento como grandes avenidas o deslizamientos que pueden impactar sobre el tramo en servicio. Estos efectos hacen peligrar que el pavimento pueda cumplir su funcionalidad en el periodo de diseño. Para contrarrestar estos efectos se crean políticas de gestión para la preservación del pavimento como la conservación que abarca los mantenimientos y rehabilitación que reducirán los costos de los usuarios, los tiempos de viaje, los costos de accidentes y la pérdida de la inversión en la infraestructura ( patrimonio); según estudios técnico-económicos se demuestra que el costo de conservar la vía en buen estado mediante mantenimiento es menor que postergar el mantenimiento hasta que el pavimento este en malas condiciones donde para revertir el deterioro a las condiciones iniciales de transitabilidad se lograra con mas recursos que la opción anterior.

### 5.1 CONSERVACIÓN

Son un conjunto de actividades de carácter preventivo y correctivo, destinadas a retrasar lo más posible el proceso de degradación del pavimento, de manera que la calidad de la vía no baje de un umbral de aceptabilidad a los usuarios de las condiciones de serviciabilidad, además de preservar la inversión. Los trabajos de conservación son generalmente **rutinarios** y en **períodos**; los tratamientos incluyen mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y rehabilitaciones, se necesita monitorear el comportamiento del pavimento y los impactos de estos tratamientos aplicados, para ser usados en el proceso de toma de decisiones y evaluar los efectos a largo plazo, además de conocer el momento preciso de efectuar los trabajos. Los principales trabajos son: Bacheo o Parchado, Sellado y Refuerzo. Las acciones principales se dirigen a cuatro objetivos:

Mantener la integridad de la superficie para que se pueda desarrollar una circulación segura y cómoda.

- Mantener la resistencia de la superficie al deslizamiento
- Mantener la regularidad superficial acorde con el trazado de la vía
- Devolverle la capacidad estructural por pérdida de resistencia ante efectos de sobrecarga y daños medio ambientales o eventos extraordinarios de la naturaleza.

### 5.1.1 FALLA EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

La falla de un pavimento es la respuesta del pavimento a sobreexigencias, a un mal diseño o a la incorrecta aplicación de materiales y procedimientos constructivos; es el inicio de la ocurrencia del daño en el pavimento, son variadas las fallas para describirla, están agrupadas como sigue:

#### **DE ACUERDO A SU ORIGEN:**

##### 1) **Falla por insuficiencia estructural**

Es debido al empleo de materiales de baja calidad por ende baja resistencia o un espesor de capa insuficiente de escaso aporte estructural. Esta falla se produce cuando no ofrece un mecanismo de resistencia adecuado de las capas.

##### 2) **Falla por defectos constructivos**

Son pavimentos quizás bien proporcionados pero que debido una mala aplicación de los materiales (humedad, contenido de asfalto) compromete el comportamiento del conjunto

##### 3) **Falla por fatiga**

Estas fallas están asociadas al exceso de la repetición de las cargas de tránsito, que generan la fatiga, degradación estructural, pérdida de resistencia y deformación acumulada, las fallas de fatiga son influidas por el tiempo de servicio de la carretera, el asfalto llega a envejecer.

#### **POR EL MODO EN QUE SE SUCEDEN:**

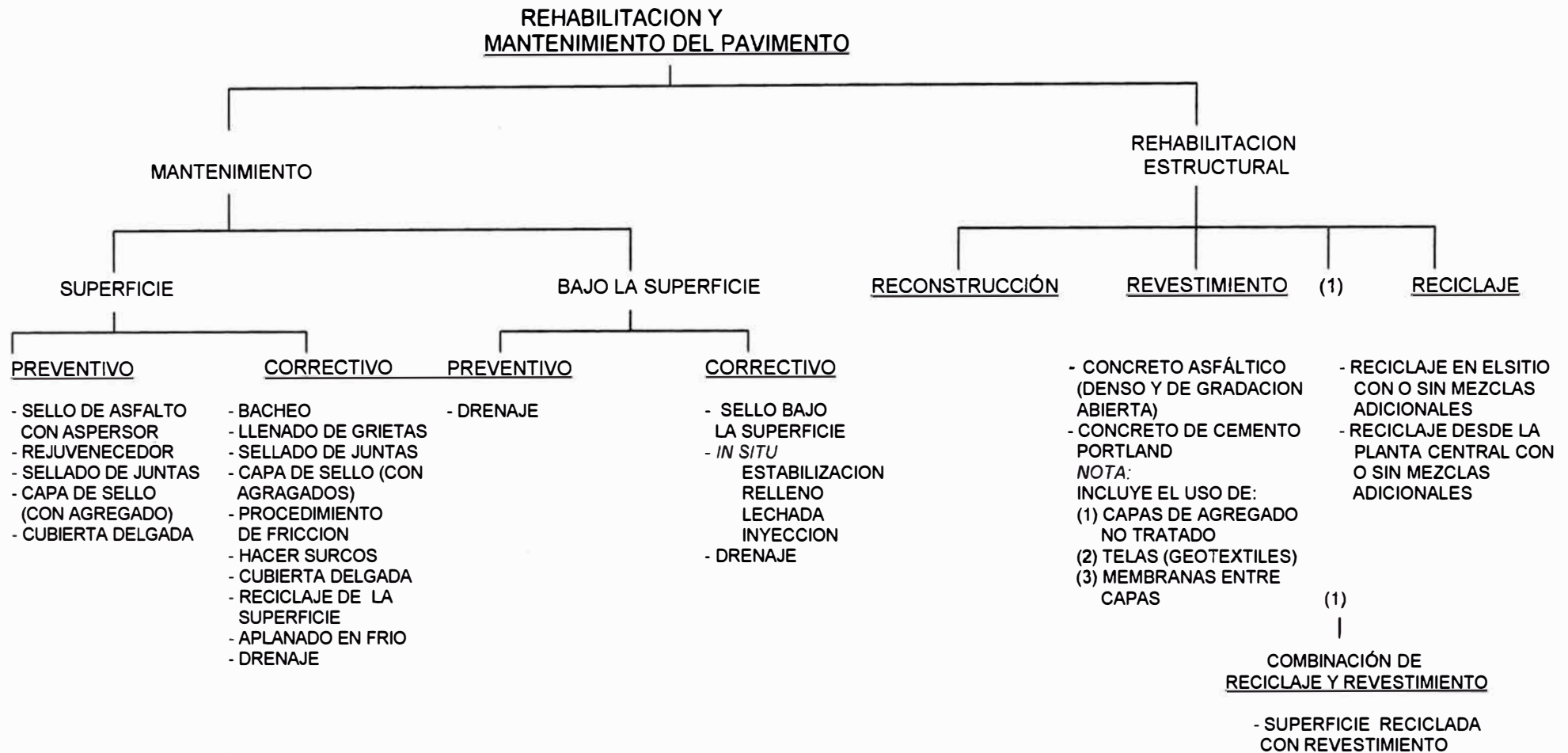
Son principalmente de tres tipos: fracturamiento, desintegración y deformación; están asociadas a los daños por efecto del tránsito, la característica y estructuración del pavimento, y la naturaleza del apoyo que proporciona el terreno de fundación.



**Tabla 5.1 Tipo y manifestación de las fallas de los pavimentos flexibles**

TIPO	MANIFESTACION	CAUSAS
Fracturamiento	Agrietamiento	Exceso de carga (insuficiencia estructural). Repetición de carga (fatiga) Cambios de temperatura Cambios de humedad (defecto Constructivo) Ondulamiento por fuerzas horizontales (deficiencia estructural o defecto constructivo) Contracción
	Dstrucción por agrietamiento	Exceso de carga (Insuficiencia estructural) Repetición de carga (Fatiga) Cambio de temperatura Cambio de humedad (defecto constructivo)
Deformación	Deformación permanente	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Proceso de deformación viscosa (fatiga, insuficiencia estructural y defectos constructivos) Aumento de compacidad (defecto constructivo, rotura de granos) Consolidación Expansión
	Falla	Exceso de carga (insuficiencia estructural) Aumento de compacidad (defecto constructivo rotura de granos) Consolidación Expansión
Desintegración (Falla de carpeta)	Remoción	Perdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito
	Desprendimiento	Perdida de adherencia en la carpeta Reactividad química Abrasión por efecto del tránsito Degradación de los agregados

Fuente: "Los pavimentos en las vías terrestres", Céspedes abanto José



**Figura 5.1:** ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS

FUENTE: C.L. Monismith, "Resumen de Métodos para la Evaluación de Pavimentos y Rehabilitación Superficial", Registro de Investigación del Transporte N° 700, EE.UU

## 5.1.2 PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO

Los programas para la ejecución de los trabajos son de tres tipos:

- Mantenimiento rutinario
- Mantenimiento Periódico
- Atención de emergencias

### 5.1.2.1 MANTENIMIENTO RUTINARIO

Consiste en el conjunto de actividades permanentes destinadas en mantener la vía en el aspecto de calzada, drenaje, señalización, seguridad vial, y contrarrestar todo elemento que represente peligro de deterioro del pavimento y la seguridad del usuario. Los trabajos a realizar son:

#### **Calzada:**

- Proveer una superficie de rodadura libre de imperfecciones, que alteren la seguridad del usuario y demora en los tiempos de recorrido
- Corregir los defectos gradual del deterioro, que con el paso del tiempo van apareciendo haciendo peligrar la integridad estructural del pavimento
- Evaluación y monitoreo del comportamiento de la superficie del pavimento, mediante mediciones de rugosidad y deflectometría

#### **Bermas:**

- Mantenimiento de la uniformidad y estabilidad de manera que sirva de soporte seguro ante una emergencia de los vehículos y sus cargas
- Mantenimiento del alineamiento y pendiente de la berma para un adecuado drenaje

#### **Drenaje:**

- Limpieza de los drenajes transversales y longitudinales como las alcantarillas, cunetas, zanja de coronación, etc.; para asegurar la operatividad de las mismas
- Reconocimiento y evaluación del funcionamiento de las estructuras para identificar zonas de posible saturación para proponer nuevos elementos de drenaje.

**Estructuras:**

- Inspección periódica y sistemática con equipos de auscultación superficial y estructural de cualquier daño en la estructura, evaluando su magnitud para proceder a su inmediata reparación

**Señalización:**

- Verificación que la señalización horizontal, vertical y de seguridad que cumpla sus funciones y este en buen estado como comprobar la reflectividad su correcta posición, su legibilidad, etc.; que brinde la seguridad y el confort para el conductor; además se propondrá cambios, reposiciones de la misma y pintado.

**Preservación ambiental:**

- Reforestación de zonas escasa de vegetación, además de estabilizar con plantaciones deslizamiento ante la presencia de lluvias.
- Supervisar las obras de prevención y mitigación ambiental
- Desarrollo de actividades de instrucción y capacitación para los usuarios de las vías y a la población en general para el cuidado del medio ambiente en beneficio del mantenimiento de la vía
- Mantenimiento y utilización adecuada de los botaderos para el acondicionamiento de los materiales, procedentes de derrumbes o limpieza en general

**5.1.2.2 MANTENIMIENTO PERIODICO**

Es el conjunto de actividades de mayor incidencia (estructural y superficial) que las actividades del mantenimiento rutinario y en periodos promedios de cinco años, destinadas a restaurar los elementos de la vía a sus condiciones iniciales o promoverlos a un nivel de transitabilidad más beneficioso. Los trabajos en las áreas a efectuar comprenden:

**Calzada:**

- Realizar las mediciones de deflexiones y rugosidad a fin de comprobar y redefinir las actividades preestablecidas.
- Reponer los niveles de serviciabilidad inicial

**Bermas:**

- Restablecer el estado original de las bermas

**Drenaje:**

- Reconstrucción del sistema de drenaje superficial
- Reconstrucción del sistema de drenaje subterráneo

**Estructuras:**

- Reconstrucción de elementos de protección de alcantarillas muros, pontones y puentes

**Señalización:**

- Reposición de señalización vertical
- Reposición de la señalización horizontal
- Reposición de los dispositivos de control de seguridad
- Implementación de nuevos dispositivos para prevención de accidentes

**Taludes:**

- Estabilización de taludes

**Protección ambiental:**

- Monitoreo ambiental (calidad del agua, aire, ruidos, temperatura, etc.)
- Revegetación de zonas deforestadas dentro del área de influencia o derecho de vía

**5.1.3 REHABILITACIÓN Y REFUERZO ESTRUCTURAL**

Las rehabilitaciones y refuerzo del pavimento son intervenciones de trabajos de carácter extraordinario de aplicación general, de longitud apreciable; cuyo objetivo es una mejora significativa de los indicadores del estado o del comportamiento del pavimento. Pueden estar orientados a mejorar las características (textura, regularidad superficial, impermeabilidad, etc.) superficiales o a las características estructurales (refuerzos y aumento de espesores sobre el pavimento antiguo).

Hoy en día para prevenir el daño que pueda causar al colocar nuevo pavimento sobre el deteriorado, se extrae las capas dañadas mediante una fresadora, pudiendo el material ser repuesto nuevamente con un respectivo tratamiento.

Esta técnica da dos beneficios: ayuda a conservar el medio ambiente ya que no acumulamos a un botadero si no que seguimos usando, y el espesor de refuerzo a colocar en la parte superior serán mínimos.

Las principales razones de una rehabilitación estructural son:

- Deterioro generalizado, cuyas reparaciones puntuales (mantenimiento) resultan inviable económicamente
- Aumento de los costos de los usuarios
- Capacidad estructural insuficientes para el tráfico actual, esto se realiza mediante una inspección visual o por una auscultación con aparatos que miden las deflexiones de la carpeta de rodadura
- Crecimiento vehicular y de la capacidad de tonelaje brusco haciendo peligrar la vida útil
- Necesidad de superar rápidamente un retraso acumulado en el mantenimiento.

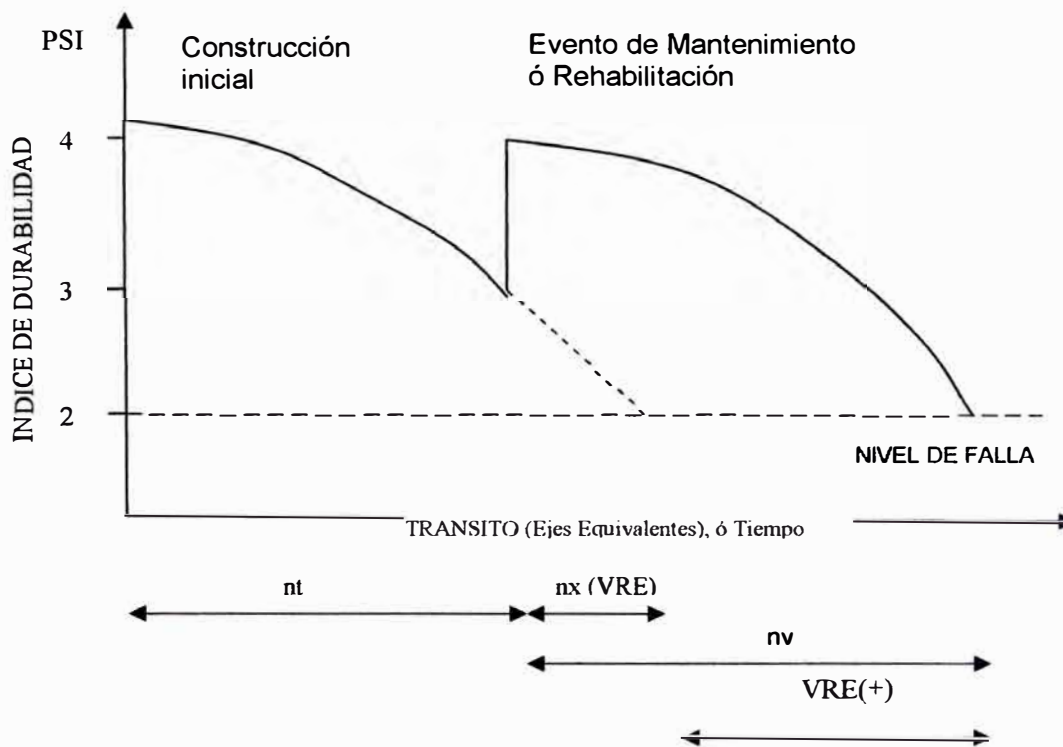
### **MEDICIÓN DEL ESTADO DE LA CARRETERA:**

Para evaluar las necesidades de rehabilitación de un pavimento se estudian cuatro características: Rugosidad (facilidad para el rodamiento), Daños al pavimento, Estado de la superficie, deflexión del pavimento y resistencia al deslizamiento

#### **Rugosidad del pavimento**

Se refiere a las irregularidades en la superficie del pavimento, que afectan la uniformidad de la conducción del vehículo. EL PSI (*Índice de serviciabilidad presente*) es una medida de estado del pavimento basado en mediciones físicas de su rugosidad. El funcionamiento de un pavimento se puede describir en función de su PSI y de la carga acumulada del tránsito a través del tiempo, como se muestra en la figura 5.2; por ejemplo: cuando se termina la construcción de un pavimento el PSI es 4.2 luego con el paso del tiempo aumenta el número de vehículos que van deteriorando la superficie haciendo llegar su PSI a un valor 2.8, en este momento hacemos una rehabilitación superficial llegando a un PSI de 4.0 a medida que las cargas aumentan, el PSI va disminuyendo nuevamente hasta llegar a un valor de 2, donde nuevamente requerirá una rehabilitación superficial y estructural. Este gráfico también muestra la forma como aumenta la vida útil al hacer la rehabilitación

El equipo para medir la rugosidad se clasifica en dos categorías básicas: tipo de respuesta y perfilómetro o rugosímetro. Los del primer tipo mide la respuesta del vehículo a la rugosidad de la superficie, y el del segundo tipo miden el perfil real de la carretera.



- $n_t$  : Tiempo en servicio  
 $n_x$  : Vida remanente estimada (VRE) sin rehabilitación  
 $n_y$  : Vida total, Pavimento rehabilitado  
 VRE (+) : Vida remanente agregada por Mantenimiento y Rehabilitación

**Figura 5.2:** Comportamiento funcional del pavimento en el tiempo, con las rehabilitaciones

### ***Daño en el pavimento***

Son referidas al estado de la superficie con relación a su apariencia en general. Un pavimento en buen estado se encuentra nivelado, tiene una superficie continua sin fallas; en cambio un pavimento dañado puede estar *fracturado*, *deformado* ó *desintegrado*. Las fracturas se consideran como grietas o resquebrajamiento de la superficie, la deformación del pavimento se pone en evidencia ante la presencia de baches ó el corrugado de la superficie, la desintegración se manifiesta como desmoronamientos (perdida de la estructura del pavimento). La Figura 5.1 describe los tipos de daños del pavimento

La forma de medir el daño de los pavimentos es mediante el **relevamiento de fallas**, que toma como indicador del estado del pavimento el valor del PCI que es un valor que varía de 0 para un pavimento fallado o en mal estado hasta 100 para un pavimento en perfecto estado. La tabla 5.2 presenta los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento

**Tabla 5.2 Rango de calificación del PCI**

RANGO	CLASIFICACION
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 - 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

El PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen **clase, severidad y cantidad** de cada daño presente, el PCI se desarrollo para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenidos como parte del inventario ofrece una percepción clara de la causa de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

#### **Medición del estado estructural del pavimento**

La medición de la capacidad estructural del pavimento se realizo, mediante dos tipos de prueba. los resultados de estas evaluaciones son usadas con fines de diseño para la rehabilitación del pavimento con 1) *pruebas no destructivas*, donde se mide la deformación vertical elástica recuperada (deflexión) bajo cargas estáticas o dinámicas 2) *pruebas de falla* que consiste en quitar componentes del pavimento y probarlos en el laboratorio.

Existen cuatro métodos de evaluación no destructiva: a) mediciones de deflexión estática b) mediciones de deflexión debidas a cargas dinámicas c) mediciones de deflexión con carga de impacto d) mediciones de densidad de las capas de pavimento con radiaciones nucleares (usados principalmente durante la etapa constructiva).



El equipo de medición más comúnmente usado en el Perú para la determinación de la capacidad estructural de los pavimentos flexibles es la **Viga Benkelman** que mide las respuestas de deflexión del pavimento flexibles, consiste en una palanca multiplicadora en cuyo extremo final hay un comparador con el que se mide la deflexión producida en el extremo inicial, que se sitúa entre las dos ruedas gemelas de un eje tipo normalizado. Un equipo de medida más confiable es el de tipo carga con impacto, como por ejemplo el **FHW (Falling Weight Deflectometers)** por que los impulsos de fuerza que crea la caída de una carga se asemeja más a los que causa una carga en movimiento (cargas vehiculares)

### **Medición de la resistencia al deslizamiento**

Una medida también de la condición del pavimento son sus características de seguridad, la medida principal de seguridad se hace por evaluación de la resistencia al deslizamiento que ofrece el pavimento, la variación de la resistencia al deslizamiento se debe a los cambios en las propiedades del pavimento producidos por el tráfico, los agentes meteorológicos, y en especial el pulimento de los áridos de la capa de rodadura. Otros factores que intervienen en la evaluación del desempeño del pavimento con respecto a la seguridad son los baches los cuales se llenan de agua y causan un efecto hidropelante y la adecuada visibilidad de las señales en el pavimento. Los datos recopilados relacionados con la resistencia al deslizamiento son para evaluar la eficacia que tiene un pavimento para evitar o reducir los accidentes relacionados con el deslizamiento. El coeficiente de fricción al deslizamiento entre la rueda y el pavimento depende de factores como las condiciones climáticas, la textura del pavimento el estado del neumático y la velocidad. Los equipos de medición usados, son del tipo remolque con ruedas frenadas donde se mide la fuerza de frenado en una superficie mojada de pavimento.

## **5.2 APLICACIÓN PARA REFUERZO ESTRUCTURAL**

Para la aplicación del refuerzo necesitamos conocer el número estructural de refuerzo como sigue:

$$SN_{ref} = SN_{req} - SN_{eff} \dots \dots \dots (5.1)$$

Donde:

$SN_{ref}$  = Numero estructural de refuerzo

$SN_{req}$  = Numero estructural requerido

$SN_{\text{eff}}$  = Numero estructural efectivo

EL número estructural requerido lo calculamos con los mismos parámetros que lo calculado según tabla 4.14 ,considerando un periodo de diseño de 10 años hasta llegar con un índice de serviciabilidad final de 2.1 ( no llegar al mínimo por que sobre la capa de rodadura se reforzara el espesor para los próximos 10 años)

El **Número estructural efectivo** se calcula mediante el concepto de vida remanente mediante y el factor de condición según AASHTO:

$$RL = 100 \times (1 - (N_p / N_{1.5})) \dots \dots \dots (5.2)$$

Donde:

RL : Porcentaje de vida remanente

$N_p$  : Tráfico total transcurrido a la fecha de refuerzo

$N_{1.5}$  : Tráfico total transcurrido al término de vida útil ( $p_t=1.5$ )

Luego se calcula el factor de condición (FC), en función de la vida remanente mediante la siguiente:

$$CF = 1 - 0.0018 (100 - RL) \dots \dots \dots (5.3)$$

CF: Factor de condición

RL: Vida remanente %

Finalmente el numero estructural efectivo se obtiene con la siguiente formula

$$SN_{\text{eff}} = CF \times SN_0$$

Donde:

$SN_{\text{eff}}$  = Numero estructural efectivo del pavimento

CF = Factor de condición

$SN_0$  = Numero estructural del pavimento en el año cero

La relación entre la confiabilidad para un diseño único ( $R_{\text{único}}$ ) y la confiabilidad para un diseño por etapas ( $R_{\text{etapa}}$ ) es la siguiente:

$$R_{\text{etapa}} = (R_{\text{único}})^{1/n}$$

Donde: n es el número de etapas

**Tabla 5.3 REFUERZO DE LA CARPETA ASFÁLTICA A LOS 10 AÑOS**

CALCULO DEL REFUERZO A LOS DIEZ AÑOS		
SN <sub>o</sub>	(Numero Estructura inicial)	5.01
N <sub>1.5</sub>	(Trafico cuando PSI final es 1.5)	3.610E+07
N <sub>10</sub>	(Trafico a los diez años)	2.288E+07
RL	(% Vida remanente)	36.60
CF	(Factor de condición)	0.886
SN <sub>eff</sub>	(Numero estructural efectivo)	4.44
SN <sub>10-20</sub>	(Numero estructural para el periodo 10-20)	5.28
SN <sub>REF</sub>	(Numero estructural de refuerzo)	0.84
a1	( coeficiente estructural de carpeta asfáltica)	0.44
<b>ESPESOR DE REFUERZO (cm.)</b>		<b>4.79</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.4 COMPARACION DEL DISEÑO PROYECTADO A 20 AÑOS y EN CONSTRUCCION POR ETAPAS CON REFUERZO**

ESPEORES	CONSTRUCCION NUEVA	CONSTRUCCION POR ETAPAS	
	20 Años	0-10 años	10 -20 años (*)
Carpeta Asfáltica (cm.)	14.5	11	5
Base (cm.)	25	25	-
Subbase (cm.)	30	30	-
<b>NUMERO ESTRUCTURAL</b>	<b>5.68</b>	<b>5.02</b>	<b>0.84</b>

(\*) Rehabilitación con refuerzo estructural a nivel de carpeta asfáltica

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.5 NÚMERO ESTRUCTURAL PARA EL PERÍODO 0- 10 AÑOS**

DISEÑO DE ESPESORES METODO AASHTO '93		
PROYECTO: MEJORAMIENTO Y REHABILITACION	TRAMO: COCACHACRA - MATUCANA	
SECTOR: 57+000 – 60 + 0000	GRUPO: 03	
DATOS		
1. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES		
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (psi)		450000
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (psi)		70000
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBBASE GRANULAR (psi)		30000
2. TRAFICO Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES		
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES	EAL (W18)	2.288 E+07
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD	R	97 %
DESVIACION ESTANDAR NORMAL	(Zr)	-1.881
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL	(So)	0.45
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr)		11777.35
D. SERVICIABILIDAD INICIAL	(pi)	4.0
E. SERVICIABILIDAD FINAL	(pt)	2.0
F. PERIODO DE DISEÑO	(Años)	10
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO		
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA (1/pulg.)		
CONCRETO ASFALTICO CONVENCIONAL	(a1)	0.44
BASE GRANULAR	(a2)	0.138
SUBBASE GRANULAR	(a3)	0.130
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA		
BASE GRANULAR	(m2)	1.08
SUBBASE	(m3)	1.08
RESULTADOS		
A. NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL	(SN <sub>o</sub> )	5.02
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO		PROPUESTO (cm.)
A. ESPESOR DE CARPETA ASFALTICA		11
B. ESPESOR DE BASE GRANULAR		25
C. ESPESOR SUBBASE GRANULAR		30
D. ESPESOR TOTAL		65
E. NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL		5.02

## PERIODO 0-10 AÑOS

Datos	Valores
W18	2.288E+07
Zr	-1.881
So	0.450
MR (psi)	11,777.35
PSI inicial	4.000
PSI final	2.000
Δ PSI	2.000

Incluye factor carril y factor de distribución  
 Considerando confiabilidad R=97%  
 Para pavimentos flexibles  
 Tipo de suelo tabla 3.7 y requisitos de calidad del material  
 De acuerdo a tabla 4.10 y tecnología en Perú  
 De acuerdo a tabla 4.10 y rehabilitaciones  
 Perdida de serviciabilidad

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(MR) - 8.07$$

**Tabla 5.6** ITERACION PARA EL CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL DE LA SUBRASANTE 0- 10 AÑOS

SN	Log W18	Zr x So	9.36 x Log(SN+1) - 0.20	Log(DPSI/(4.2 - 1.5))	0.40 + 1094/(SN+1)^5.19	2.32 x Log(MR) - 8.07	IGUALDAD
1	7.3595	-0.8465	2.6176	-0.1303	30.3690	1.3748	4.2177
2	7.3595	-0.8465	4.2659	-0.1303	4.0539	1.3748	2.5974
3	7.3595	-0.8465	5.4353	-0.1303	1.2210	1.3748	1.5025
4	7.3595	-0.8465	6.3424	-0.1303	0.6578	1.3748	0.6868
5	7.3595	-0.8465	7.0835	-0.1303	0.5001	1.3748	0.0082
5.5	7.3595	-0.8465	7.4089	-0.1303	0.4661	1.3748	-0.2981
5.25	7.3595	-0.8465	7.2494	-0.1303	0.4810	1.3748	-0.1474
5.125	7.3595	-0.8465	7.1673	-0.1303	0.4899	1.3748	-0.0702
5.0625	7.3595	-0.8465	7.1256	-0.1303	0.4949	1.3748	-0.0312
7.5625	7.3595	-0.8465	8.5291	-0.1303	0.4158	1.3748	-1.3846
6.28125	7.3595	-0.8465	7.8702	-0.1303	0.4367	1.3748	-0.7407
5.640625	7.3595	-0.8465	7.4959	-0.1303	0.4591	1.3748	-0.3809
5.320313	7.3595	-0.8465	7.2949	-0.1303	0.4764	1.3748	-0.1903
5.160156	7.3595	-0.8465	7.1906	-0.1303	0.4873	1.3748	-0.0920
5.080078	7.3595	-0.8465	7.1374	-0.1303	0.4934	1.3748	-0.0422
5.040039	7.3595	-0.8465	7.1105	-0.1303	0.4967	1.3748	-0.0171
5.02002	7.3595	-0.8465	7.0970	-0.1303	0.4984	1.3748	-0.0044
5.01001	7.3595	-0.8465	7.0903	-0.1303	0.4992	1.3748	0.0019
5.015015	7.3595	-0.8465	7.0937	-0.1303	0.4988	1.3748	-0.0013
5.012512	7.3595	-0.8465	7.0920	-0.1303	0.4990	1.3748	0.0003
5.013763	7.3595	-0.8465	7.0928	-0.1303	0.4989	1.3748	-0.0005
5.013138	7.3595	-0.8465	7.0924	-0.1303	0.4990	1.3748	-0.0001
5.012825	7.3595	-0.8465	7.0922	-0.1303	0.4990	1.3748	0.0001
5.012891	7.3595	-0.8465	7.0923	-0.1303	0.4990	1.3748	0.0000

$$SN_o = 5.01$$

**Tabla 5.7 NÚMERO ESTRUCTURAL PARA EL PERIODO 10-20 AÑOS**

DISEÑO DE ESPESORES METODO AASHTO '93		
PROYECTO: MEJORAMIENTO Y REHABILITACION	TRAMO: COCACHACRA - MATUCANA	
SECTOR: 57+000 – 60 + 0000	GRUPO: 03	
DATOS		
1. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES		
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA CARPETA ASFALTICA (psi)		450000
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (psi)		70000
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBBASE GRANULAR (psi)		30000
2. TRAFICO Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES		
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES	EAL (W18)	3.353 E+07
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD	R	97 %
DESVIACION ESTANDAR NORMAL	(Zr)	-1.881
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL	(So)	0.45
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr)		11777.35
D. SERVICIABILIDAD INICIAL	(pi)	4.0
E. SERVICIABILIDAD FINAL	(pt)	2.0
F. PERIODO DE DISEÑO	(Años)	10
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO		
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA (1/pulg.)		
CONCRETO ASFALTICO CONVENCIONAL	(a1)	0.44
BASE GRANULAR	(a2)	0.138
SUBBASE GRANULAR	(a3)	0.130
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA		
BASE GRANULAR	(m2)	1.08
SUBBASE	(m3)	1.08
RESULTADOS		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL	(SN <sub>o</sub> )	5.28

## NÚMERO ESTRUCTURAL PERÍODO 10 – 20 Años

Datos	Valores
W18	3.353E+07
Zr	-1.881
So	0.450
MR	11,777.35
PSI inicial	4.000
PSI final	2.000
Δ PSI	2.000

Incluye factor carril y factor de distribución

Considerando confiabilidad R=97%

Para pavimentos flexibles

Tipo de suelo tabla 3.7 y requisitos de calidad del material

De acuerdo a tabla 4.10 y tecnología en Perú

De acuerdo a tabla 4.10 y rehabilitaciones

Pérdida de serviciabilidad

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2-1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(Mr) - 8.07$$

**Tabla 5.8** ITERACIÓN PARA EL CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE LA SUBRASANTE PERÍODO 10 – 20 AÑOS

SN	Log W18	Zr x So	$\frac{9.36 \times \log(SN+1) - 0.20}{0.20}$	$\frac{\log(DPSI/(4.2 - 1.5))}{-1.5)}$	$\frac{0.40 + 1094/(SN+1)^{5.19}}{1094/(SN+1)^{5.19}}$	$\frac{2.32 \times \log(MR) - 8.07}{-8.07}$	IGUALDAD
1	7.5254	-0.8465	2.6176	-0.1303	30.3690	1.3748	4.3837
2	7.5254	-0.8465	4.2659	-0.1303	4.0539	1.3748	2.7633
3	7.5254	-0.8465	5.4353	-0.1303	1.2210	1.3748	1.6685
4	7.5254	-0.8465	6.3424	-0.1303	0.6578	1.3748	0.8528
5	7.5254	-0.8465	7.0835	-0.1303	0.5001	1.3748	0.1742
5.5	7.5254	-0.8465	7.4089	-0.1303	0.4661	1.3748	-0.1322
5.25	7.5254	-0.8465	7.2494	-0.1303	0.4810	1.3748	0.0186
5.375	7.5254	-0.8465	7.3299	-0.1303	0.4731	1.3748	-0.0574
5.3125	7.5254	-0.8465	7.2899	-0.1303	0.4769	1.3748	-0.0195
5.28125	7.5254	-0.8465	7.2697	-0.1303	0.4789	1.3748	-0.0005
5.265625	7.5254	-0.8465	7.2596	-0.1303	0.4799	1.3748	0.0090
5.273438	7.5254	-0.8465	7.2647	-0.1303	0.4794	1.3748	0.0043
5.269531	7.5254	-0.8465	7.2621	-0.1303	0.4797	1.3748	0.0066
5.275391	7.5254	-0.8465	7.2659	-0.1303	0.4793	1.3748	0.0031
5.27832	7.5254	-0.8465	7.2678	-0.1303	0.4791	1.3748	0.0013
5.279785	7.5254	-0.8465	7.2688	-0.1303	0.4790	1.3748	0.0004
5.280518	7.5254	-0.8465	7.2692	-0.1303	0.4790	1.3748	-0.0001
5.280151	7.5254	-0.8465	7.2690	-0.1303	0.4790	1.3748	0.0002
5.280334	7.5254	-0.8465	7.2691	-0.1303	0.4790	1.3748	0.0000

$$SN_{10-20} = 5.11$$

## Capítulo VI

### TENDENCIAS MODERNAS DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Hoy en día preocupa la representación mas exacta del comportamiento del pavimento. Su incidencia en la economía del país repercute enormemente ya que se destinan grandes cantidades de dinero para su diseño, construcción, operación y conservación que deben ser recuperados cumpliendo su objetivo de al que se le fueron asignados en el periodo de diseño.

El avance del conocimiento de las características de los materiales (modulo elástico, modulo de poisson) empleados en los pavimentos, hacen prever su resistencia como respuesta a cualquier efecto de carga; esto es ante las solicitaciones de carga en su superficie la respuesta se transforma en estados de deformación y esfuerzos tensionales del pavimento que son controlados por valores admisibles en transformación de ejes equivalentes de carga simples que soportara la estructura para que llegue a dicho estado donde comenzara a dañarse el pavimento ya sea por ejemplo por fatiga o ahuellamiento. La solución del espesor de las capas componentes del pavimento que minimizara los daños de las cargas impuestas, se han resuelto por varias representaciones del sistema físico del pavimento mediante: sistema multicapa, teoría de placas, y elementos finitos. En un principio se supone comportamiento lineal entre los esfuerzos y deformaciones, lo que se acepta que los materiales trabajan dentro de su rango elástico, sin embargo la reología de los componentes asfálticos demuestra que su comportamiento es viscoelástico, y de la temperatura; de la misma manera los materiales granulares responden, a su densidad y humedad, en general su comportamiento es no lineal y depende en gran medida de las características del material de las capa subyacentes

#### 6.1 MÉTODO MECANICISTA

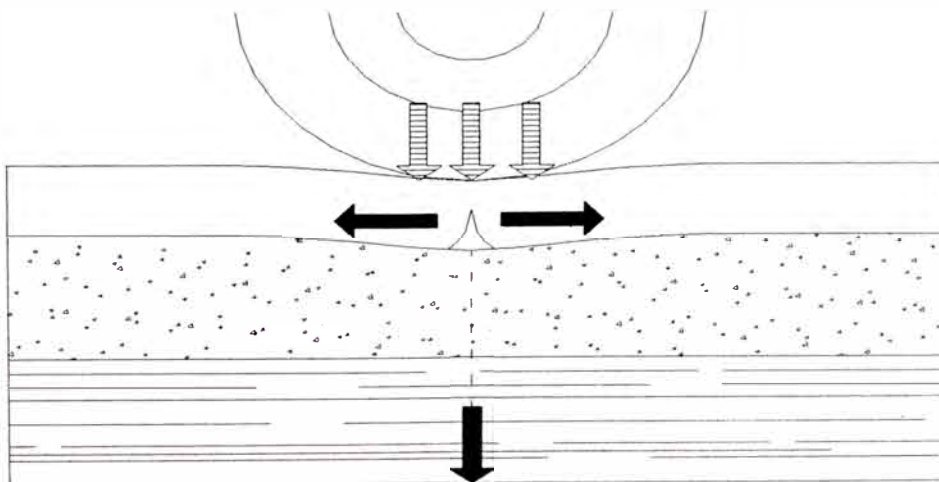
Estos métodos relacionan los niveles de solicitación de las cargas transmitidas al sistema estructural que constituye el pavimento, con la respuesta obtenida en términos de esfuerzo y deformaciones. Esta respuesta obtenida permite predecir



en principio, los niveles de deterioro esperados a partir de ensayos de laboratorio y del comportamiento observado en campo. La dependencia con el comportamiento observado en campo validara la aplicación del método.

### 6.1.1 PRINCIPIO DEL DISEÑO

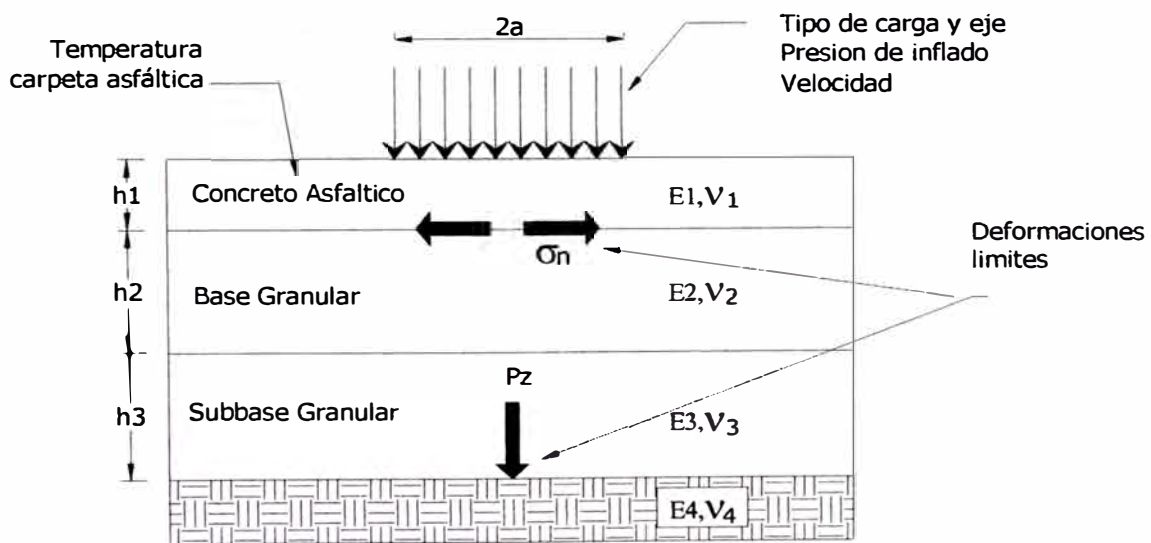
El efecto directo de la carga de tránsito al pasar por una posición dada es la deformación del pavimento figura 6.1, al cesar la carga del eje parte del material del pavimento se recupera y otra parte queda como una deformación no recuperable; esta deformación depende de cuan elástico y viscoelástico es el material y su capacidad de recuperarse. Se asume que la subrasante llega solo esfuerzos de compresión y en la interfase base y concreto asfáltico esfuerzos de tensión. El esfuerzo excesivo de compresión que llega a la subrasante y su deformación no recuperable, harán que comience a incrementarse los esfuerzos tensionales en la interfase base y concreto asfáltico mostrando pequeñas grietas que conforme se incremente la deformación no recuperable, los agrietamientos en la superficie asfáltica comenzaran a reflejarse y comenzará el deterioro del pavimento. Para revertir este efecto se tiene que conocer las características exhaustivas del material para tener el espesor recomendado de los componentes estructurales del pavimento que atenúe el esfuerzo de compresión en la subrasante.



**Figura 6.1** Esfuerzo de compresión excesivo en la subrasante hará que aumente los esfuerzo de tensión en la parte inferior de la carpeta asfáltica, agrietándose para luego reflejarse en la superficie

### 6.1.2 MODELACIÓN

La sección del pavimento se ha definido como un sólido elástico de capas múltiples de espesor uniforme, donde la capa inferior es infinita en el plano horizontal y en el vertical, (figura 6.2), estando caracterizado el material de cada capa por ciertas propiedades físicas, que pueden incluir el módulo de elasticidad, y la relación de poíson. Los esfuerzos que se generan debido a la carga del eje (depende de la velocidad, presión de inflado, tipo de eje y carga) en el pavimento son de tensión y compresión, estos esfuerzos se manifiestan como deformaciones, que se controlaran con las admisibles (ensayadas en el laboratorio y observada en el campo) en el pavimento en la parte inferior de la carpeta asfáltica y en la subrasante. Otro factor de la estructura misma es la consideración de la temperatura sobre todo en la carpeta asfáltica que influye sobre las propiedades del material.

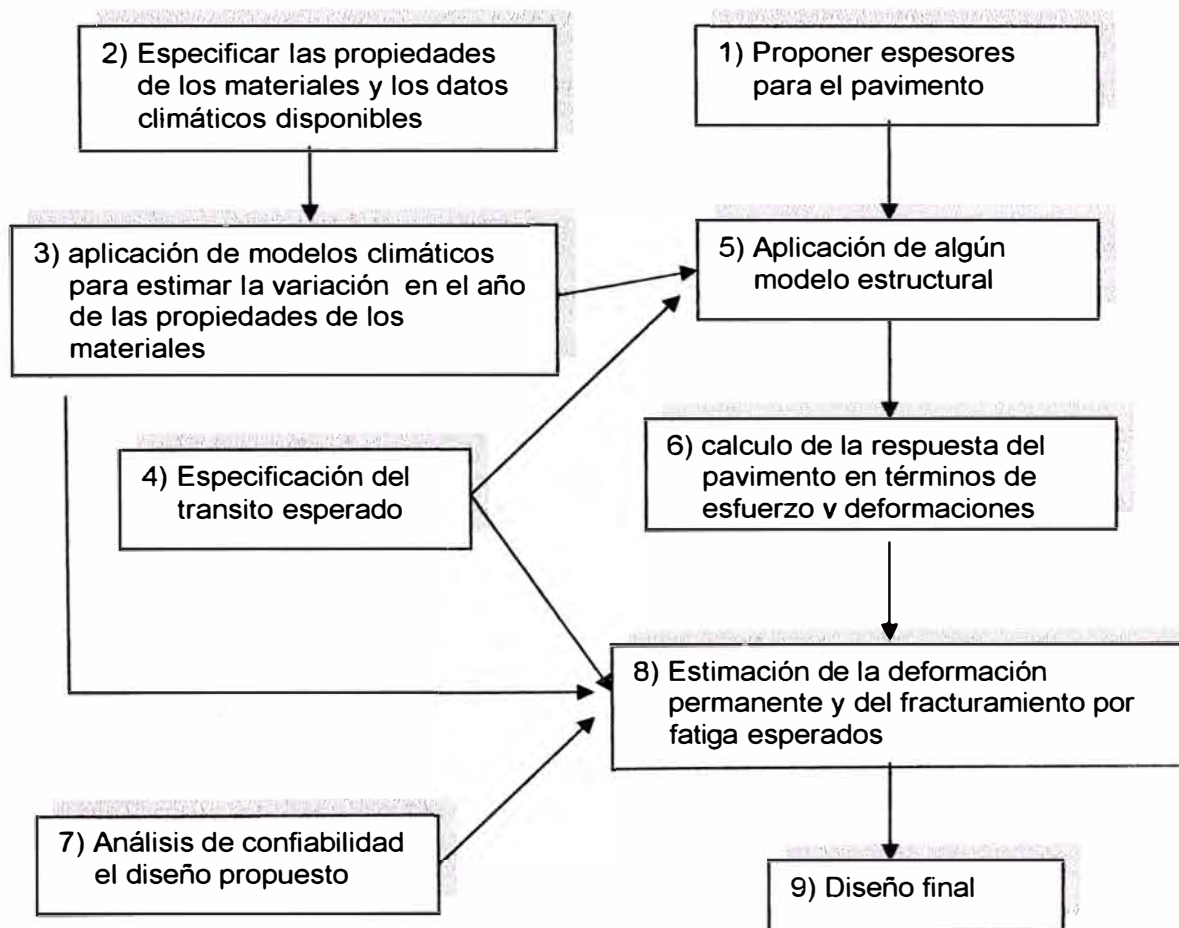


- $E_i$  : Módulo de elasticidad
- $v_i$  : Módulo de poíson
- $2a$  : Dimensión de la rueda
- $P_z$  : Esfuerzo de compresión en la subrasante
- $\sigma_n$  : Esfuerzo de tensión en la capa inferior de la carpeta asfáltica

**Figura 6.2** Parámetros principales para la modelación mecanicista de la estructura del pavimento de tres capas

### 6.1.3 METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Para el cálculo del diseño primeramente se tiene que conocer las características de los materiales como el modulo elástico y resiliente de las capas, se propone espesores que se comprobaran si es aceptable de acuerdo a los estados de esfuerzo y deformación ante la aplicación de la carga en las distintas capas; los sectores critico de falla son identificados, estimando el nivel de daño potencial mediante formulas que transforman los esfuerzos y deformaciones generados en nivel de cargas de trafico permisible. El siguiente esquema explica el método:



**Figura 6.3** Metodología general del diseño mecanístico

### 6.1.4 MODELOS DE DETERIORO

Los modelos de deterioro son funciones de transferencia que relacionan la respuesta estructural de un sistema con varios tipos de deterioro, para su confiabilidad de debe completar con la calibración y observación en campo. Dos ecuaciones son usados para transformar los estados de esfuerzo deformación en nivel de carga permisible de trafico para evitar el colapso sea por fatiga en la capa de asfalto, o por deformación permanente en la capa de subrasante

#### **DAÑO POR FATIGA**

El numero permisible de repeticiones de carga esta relacionado con el valor de la deformación por tensión en la parte inferior de la carpeta asfáltica. La cantidad de daño se mide por medio de lo que se denomina relación de daño, que es la relación entre el número de repeticiones esperadas y las permisibles. La función de transferencia relaciona las deformaciones de tensión  $\varepsilon_t$ , en la fibra interior de la carpeta asfáltica, cuyo modulo de elasticidad es  $E_1$ , con el número de repeticiones admisible  $N_f$ . Los métodos del instituto del asfalto y de la compañía shell usan la ecuación:

$$N_f = f_1 \varepsilon_t^{-f_2} E_1^{-f_3}$$

$f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  son constantes que se determinan a partir de ensayos de fatiga llevados a cabo en el laboratorio y  $f_1$  posteriormente debe modificarse para correlacionarlo con el comportamiento observado en campo.

#### **DAÑO POR DEFORMACIÓN PERMANENTE**

Existen dos procedimientos para limitar las deformaciones permanentes. El primero consiste en limitar únicamente la deformación vertical de compresión en la subrasante y el segundo en limitar la deformación permanente acumulada total en la superficie, debido a la contribución de cada una de las capas que conforman el pavimento. El número de repeticiones admisibles  $N_d$  para limitar las deformaciones permanentes, se relaciona con la deformación vertical de compresión  $\varepsilon_c$ , en la fibra superior de la subrasante.

$$N_d = f_4 \varepsilon_c^{-f_5}$$

f4 y f5 son constantes que se determinan a partir de los ensayos de laboratorio, de tramos de prueba o de comportamiento observado en el campo.

### **DAÑO ACUMULADO**

EL daño potencial acumulable en cada periodo sirve para verificar si el diseño puede resistir el tráfico proyectado durante su vida en servicio. La formula utilizada es:

$$\sum_{i=1}^r n_i / N_i \leq 1$$

Donde:

$n_i$  = Tráfico proyectado

$N_j$  = Tráfico permisible

$r$  = número de periodos

## CONCLUSIONES

- La metodología aplicada para el diseño de espesores de pavimento fue el AASHTO '93, Los espesores obtenidos son relativamente altos, esto se explica por el elevado trafico de la vía el cual trasladan cantidades considerables de mercancías y pasajeros de la zona central y oriental del Perú hacia la capital
- Se ha realizado dos alternativas de diseño de espesores, la primera es para una construcción nueva para 20 años y la segunda para una construcción por etapas. Para la aplicación de uno de los métodos se ha elegido en base al criterio económico, donde para el primer caso se requiere mas inversión inicial, se eligió la segunda alternativa; para el diseño de construcción por etapas, se conceptúa la reutilización de los materiales de la carpeta asfáltica, y que el daño será solamente superficial, efectuándose el rehabilitado en el año 10 que es el refuerzo estructural a nivel de carpeta, previamente se le hará un tratamiento a la capa antigua que consistirá en el fresado de una parte del espesor de la carpeta en uso, el sellado de fisuras y la colocación de la carpeta de refuerzo mínimo de 5 centímetros.
- De esto se puede comprobar con respecto a la reutilización de espesores, que el método de construcción por etapas, resulta más económico en la inversión inicial. Esta economía también tiene que además prestar el buen servicio hacia el usuario en toda la etapa de diseño; para ello se realizará el mantenimiento rutinario y periódico anual y quinquenal respectivamente garantizando la conservación de la vía para el periodo de diseño.
- Hoy en día el diseño de pavimento está orientado como un enfoque integral (técnico-económico) donde el ensayo de los materiales y el desempeño del pavimento observado en campo darán las pautas en las mejoras del diseño. Esto evidencia las limitaciones del método aashto '93 donde el diseño se hace mayormente por tablas y ábacos que

correlacionan los resultados de la pistas de prueba hecha en estados unidos hace mas de cuarenta años.

- Los métodos mecanicistas se basan en el daño del pavimento, que esta influenciado directamente por las cargas de tráfico y las propiedades del material, que tiende a asemejarse a un tipo elástico y viscoelástico donde las deformaciones dañinas son las permanentes que se acumulan en la subrasante, que reflejaran agrietamiento en la superficie del pavimento. Con los equipos modernos de auscultación del pavimento, los modernos equipos de ensayo de laboratorio y la data de registro de estudios anteriores, nos permitirá evaluar los materiales adecuados para la carretera y así lograr una mejor predicción del comportamiento en el tiempo del pavimento. Esto conjuntamente con el control de la etapa constructiva, con la conservación del pavimento evitará las cuantiosas pérdidas en la inversión de la infraestructura vial

## RECOMENDACIONES

- Se debe tener un estricto control en la etapa constructiva del pavimento siguiendo las especificaciones técnicas del expediente de la obra y las especificaciones técnicas generales, para esto la supervisión tomará responsabilidad de que se esté ejecutando de acuerdo a lo establecido salvo razones de fuerza mayor donde pudiese existir trabajos no contemplados se resolverá de la forma técnica como amerite el caso.
- Se debe de implementar el uso de equipos calibrados en los laboratorios para caracterizar las propiedades de los materiales, como el módulo resiliente cuya valor es mas representativo que el valor de soporte (CBR) para el diseño de pavimentos.
- Debido a la elevada pendiente del talud y las condiciones ambientales como lluvias, el tramo en estudio, corre el peligro inminente de desprendimientos de boloneria y fragmentos de rocas sobre la superficie del pavimento, ocasionando daños tempranos que afectaran la funcionalidad del pavimento, así mismo la obstrucción de las cunetas o alcantarillas por deslizamiento de materiales empozaran las zonas aledañas, saturando las capas inferiores del pavimento que le quitara su capacidad de resistencia estructural al pavimento; para evitar estos daños latentes se debe implementar un monitoreo constante incluido dentro de las actividades de mantenimiento rutinario, sobre todo en épocas de lluvia
- Es importante no descuidar las actividades de conservación programadas para evitar el daño severo del pavimento, ya que en el tiempo se ve que la conservación post construcción resulta mas económico que la rehabilitación temprana de la vía por carencia de mantenimiento. Además de esto se tiene que tener el control estricto del pesaje de los vehículos de carga, restringiendo la circulación de los vehículos que sobrepasan los límites de las cargas legales, ya que estos causan daño al pavimento no tan solo superficial si no tambien estructural.



**BIBLIOGRAFÍA**

1. AASHTO *Guía para Diseño Estructural de Pavimentos, Asociación Americana del Estado de carreteras y Transporte Oficial., Washington D.C., 1993.*
2. VALLE RODAS, Raúl. *Carreteras Calles y Aeropistas. Quinta edición. Buenos Aires, Argentina. Editorial el Ateneo, 1985.*
3. CESPEDES ABANTO, José M. *Los Pavimentos en las Vías Terrestres. 1ª edición. Cajamarca, Perú, 2002*
4. GARBER NICHOLAS, J y HOEL LESTER, A. *Ingeniería de Transito y Carreteras. Tercera edición. México D.F., 2005*
5. CHANG ALBITRES, Carlos M. *Pavimentos un Enfoque al Futuro. 1ª Edición. Lima, Perú. Fondo Editorial ICG, 2005.*
6. INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN Y GERENCIA. *Diseño, Construcción y Mantenimiento de Carreteras I y IV Congreso de Obras de Infraestructura Vial. 2ª Edición. Lima, Perú.. Fondo editorial ICG 2005*
7. MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, *Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras EM – 2000.. Especificaciones Técnicas Generales para Carreteras EG - 2001. 1ªEdicion . Lima, Perú.. Fondo editorial ICG 2003*
8. PROVIAS NACIONAL. *Estudio de Rehabilitación de las Carreteras afectadas por el Fenómeno del Niño, Carretera “Héroes de la Breña” Tramo II Cocachacra – Matucana. Lima – Perú, Archivo Central Provias Nacional, 2002*

# ANEXOS



**EJES EQUIVALENTES**

## VARIACIÓN DEL IMD - PROYECCIÓN

UNIDAD DE PEAJE: CORCONA

### VEHÍCULOS LIGEROS

MES	1996		2000		2003		2004		2005	
	IMD		IMD		IMD		IMD		IMD	
ENE					34,602	1,116	32,420	1,046	32,848	1,060
FEB					30,501	1,089	31,193	1,076	31,272	1,117
MAR					33,998	1,097	34,495	1,113	38,308	1,236
ABR	29,880	996			41,317	1,377	41,655	1,389	31,455	1,049
MAY			37,045	1,195	36,435	1,175	41,059	1,324	38,238	1,233
JUN					33,110	1,104	40,732	1,358	36,679	1,223
JUL					46,599	1,503	50,753	1,637	47,142	1,521
AGO					39,282	1,267	44,613	1,439	42,023	1,356
SEP					35,472	1,182	38,401	1,280	35,438	1,181
OCT					36,016	1,162	37,567	1,212	42,015	1,355
NOV					32,944	1,098	32,996	1,100	36,902	1,230
DIC					38,511	1,242	34,183	1,103	42,408	1,368
<b>TOTAL</b>					<b>438,787</b>		<b>460,067</b>		<b>454,728</b>	
FCE <sub>ABR</sub>		0.989				0.873		0.905		1.188
FCE <sub>MAY</sub>				0.994		1.023		0.949		1.010
<b>IMD</b>		<b>985</b>		<b>1,188</b>		<b>1,202</b>		<b>1,257</b>		<b>1,246</b>
%		100.00%		120.61%		122.03%		127.61%		126.50%
D%				20.61%		22.03%		27.61%		26.50%
						1.42%		5.58%		-1.12%

### VEHÍCULOS PESADOS

MES	1996		2000		2003		2004		2005	
	IMD		IMD		IMD		IMD		IMD	
ENE					63,774	2,057	62,709	2,023	57,838	1,866
FEB					55,216	1,972	56,999	1,965	56,624	2,022
MAR					67,744	2,185	65,852	2,124	59,902	1,932
ABR	43,830	1,461			67,807	2,260	63,853	2,128	60,309	2,010
MAY			72,106	2,326	65,276	2,106	61,640	1,988	61,487	1,983
JUN					66,381	2,213	58,841	1,961	55,753	1,858
JUL					66,894	2,158	60,575	1,954	54,826	1,769
AGO					63,378	2,044	60,478	1,951	64,585	2,083
SEP					57,226	1,908	58,593	1,953	63,790	2,126
OCT					60,184	1,941	61,632	1,988	70,194	2,264
NOV					56,382	1,879	55,902	1,863	66,167	2,206
DIC					58,932	1,901	55,024	1,775	68,388	2,206
<b>TOTAL</b>					<b>749,194</b>		<b>722,098</b>		<b>739,863</b>	
FCE <sub>ABR</sub>		0.948				0.908		0.927		1.008
FCE <sub>MAY</sub>				0.996		0.975		0.992		1.022
<b>IMD</b>		<b>1,385</b>		<b>2,317</b>		<b>2,053</b>		<b>1,973</b>		<b>2,027</b>
%		100.00%		167.29%		148.23%		142.45%		146.35%
D%				67.29%		48.23%		42.45%		46.35%
						-19.06%		-5.78%		3.90%

### PROYECCIÓN DEL IMD - AÑOS 2007 AL 2027

	1996	2000	2003	2004	2005	2006	2011	2016	2021	2026
LIGEROS	985	1,188	1,202	1,257	1,246	1,300	1,443	1,586	1,729	1,871
PESADOS	1,385	2,317	2,053	1,973	2,027	2,202	2,487	2,773	3,058	3,344
%	100%	121%	122%	128%	126%	132%	146%	161%	176%	190%
	100%	167%	148%	142%	146%	159%	180%	200%	221%	241%
<b>TOTAL</b>	<b>2,370</b>	<b>3,505</b>	<b>3,255</b>	<b>3,230</b>	<b>3,273</b>	<b>3,502</b>	<b>3,930</b>	<b>4,359</b>	<b>4,787</b>	<b>5,215</b>
	100.00%	147.89%	137.34%	136.29%	138.10%	147.76%	165.82%	183.92%	201.98%	220.04%

**CÁLCULO DE LOS FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA VEHICULAR - FECV**

		Eje delantero		Ejes posteriores			CÁLCULO DEL FECV (Toneladas)						
		Peso Tipo	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 0	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	TOTAL	Ajustado	
													Peso Tipo
LIVIANOS	ACÉMILAS												
	MOTOS												
	AU												
	CAMT												
	COMBI												
	MICRO												
OMNIB US	B2	7	1	11	1			0.49066	3.75063			4.24129	<b>4.46338</b>
	B3	7	1	16	2			0.49066	1.22301			1.71366	<b>1.78936</b>
	B4	14	2	16	2			0.67060	1.22301			1.89361	<b>1.98829</b>
CAMIÓN	C2-Ch	7	1	11	1			0.49066	3.75063			4.24129	<b>4.46338</b>
	C2	7	1	11	1			0.49066	3.75063			4.24129	<b>4.46338</b>
	C3	7	1	18	2			0.49066	2.07785			2.56851	<b>2.89694</b>
	C4	7	1	23	3			0.49066	1.00984			1.50050	<b>1.67662</b>
SEMIRAYLER	2S1	7	1	11	1	11	1	0.49066	3.75063	3.75063		7.99193	<b>8.38162</b>
	2S2	7	1	11	1	18	2	0.49066	3.75063	2.07785		6.31915	<b>6.63610</b>
	2S3	7	1	11	1	25	3	0.49066	3.75063	1.46963		5.71092	<b>6.89647</b>
	3S1	7	1	18	2	11	1	0.49066	2.07785	3.75063		6.31915	<b>6.63610</b>
	3S2	7	1	18	2	18	2	0.49066	2.07785	2.07785		4.64636	<b>4.87888</b>
	3S3	7	1	18	2	25	3	0.49066	2.07785	1.46963		4.03814	<b>4.24006</b>
TRAYLER	2T2	7	1	11	1	11	1	0.49066	3.75063	3.75063	3.75063	11.74256	<b>12.32989</b>
	2T3	7	1	11	1	11	1	0.49066	3.75063	3.75063	2.07785	10.06978	<b>10.67327</b>
	3T2	7	1	18	2	11	1	0.49066	2.07785	3.75063	3.75063	10.06978	<b>10.67327</b>
	4T2	7	1	23	3	11	1	0.49066	1.00984	3.75063	3.75063	9.00177	<b>9.46188</b>
	3T3	7	1	18	2	11	1	0.49066	2.07785	3.75063	2.07785	8.39700	<b>8.81686</b>
	3T4	7	1	18	2	18	2	0.49066	2.07785	2.07785	2.07785	6.72422	<b>7.08043</b>
4T3	7	1	23	3	11	1	0.49066	1.00984	3.75063	2.07785	7.32899	<b>7.89644</b>	

Presión de llantas promedio 90.0 psi  
 Presión de contacto 81.0 psi  
 Factor de ajuste (FA) 1.05

**CÁLCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES DE CARGA - EAL**

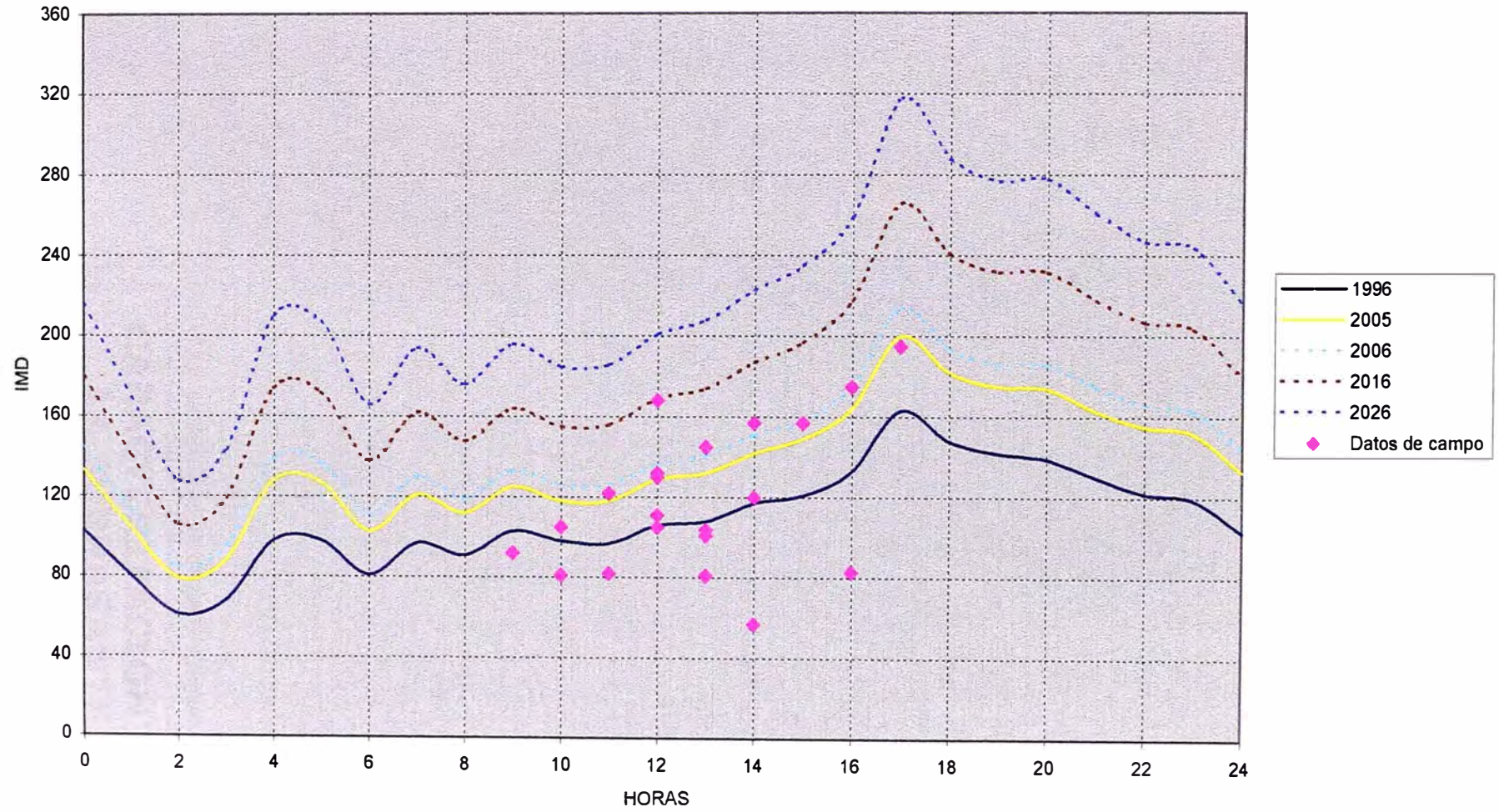
r	IMD	CÁLCULO DEL EAL (Toneladas) (W18)			
	2006	2011	2016	2021	2026
G		5.4054	11.9500	19.8739	29.4677
5.58%					
5.58%					
5.58%	735				
5.58%	137				
5.58%	58				
5.58%	133				
3.90%	232	1.019E+06	2.253E+06	3.747E+06	5.556E+06
3.90%	100	1.775E+05	3.924E+05	6.526E+05	9.677E+05
3.90%					
3.90%	570	2.504E+06	5.536E+06	9.207E+06	1.365E+07
3.90%	482	2.118E+06	4.681E+06	7.785E+06	1.154E+07
3.90%	292	7.769E+05	1.717E+06	2.856E+06	4.235E+06
3.90%	54	8.393E+04	1.855E+05	3.086E+05	4.575E+05
3.90%					
3.90%	2	1.309E+04	2.894E+04	4.813E+04	7.137E+04
3.90%	125	7.394E+05	1.635E+06	2.719E+06	4.031E+06
3.90%					
3.90%					
3.90%	67	3.225E+05	7.129E+05	1.186E+06	1.758E+06
3.90%	436	1.824E+06	4.032E+06	6.705E+06	9.942E+06
3.90%					
3.90%	6	7.298E+04	1.613E+05	2.683E+05	3.978E+05
3.90%	1	1.043E+04	2.306E+04	3.835E+04	5.686E+04
3.90%	35	3.651E+05	8.071E+05	1.342E+06	1.990E+06
3.90%					
3.90%	37	3.218E+05	7.115E+05	1.183E+06	1.754E+06
3.90%					
	<b>3,602</b>	<b>1.036E+07</b>	<b>2.288E+07</b>	<b>3.805E+07</b>	<b>6.841E+07</b>

$$EAL(8.2 tn) = 365(IMD2E*FD2E + IMD3E*FD3E + IMDTYS*FDTYS) \frac{(1+i)^n - 1}{i} * D_d * D_l$$

Donde:

- Eal (8.2 tn): Ejes equivalentes simples de 8.2 toneladas
- IMD: Índice medio diario anual
- FD: Factor destructivo de los ejes (camiones, bus, trailer y semitrayer)
- i: Tasa de crecimiento de los vehiculos pesados
- n: Número de años
- Dd: Factor de distribucion direccional
- Di: Factorde distribucion de carril

### COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO DIARIO DEL TRAMO COCACHACRA - MATUCANA



**CARACTERIZACIÓN DE  
LA SUBRASANTE**

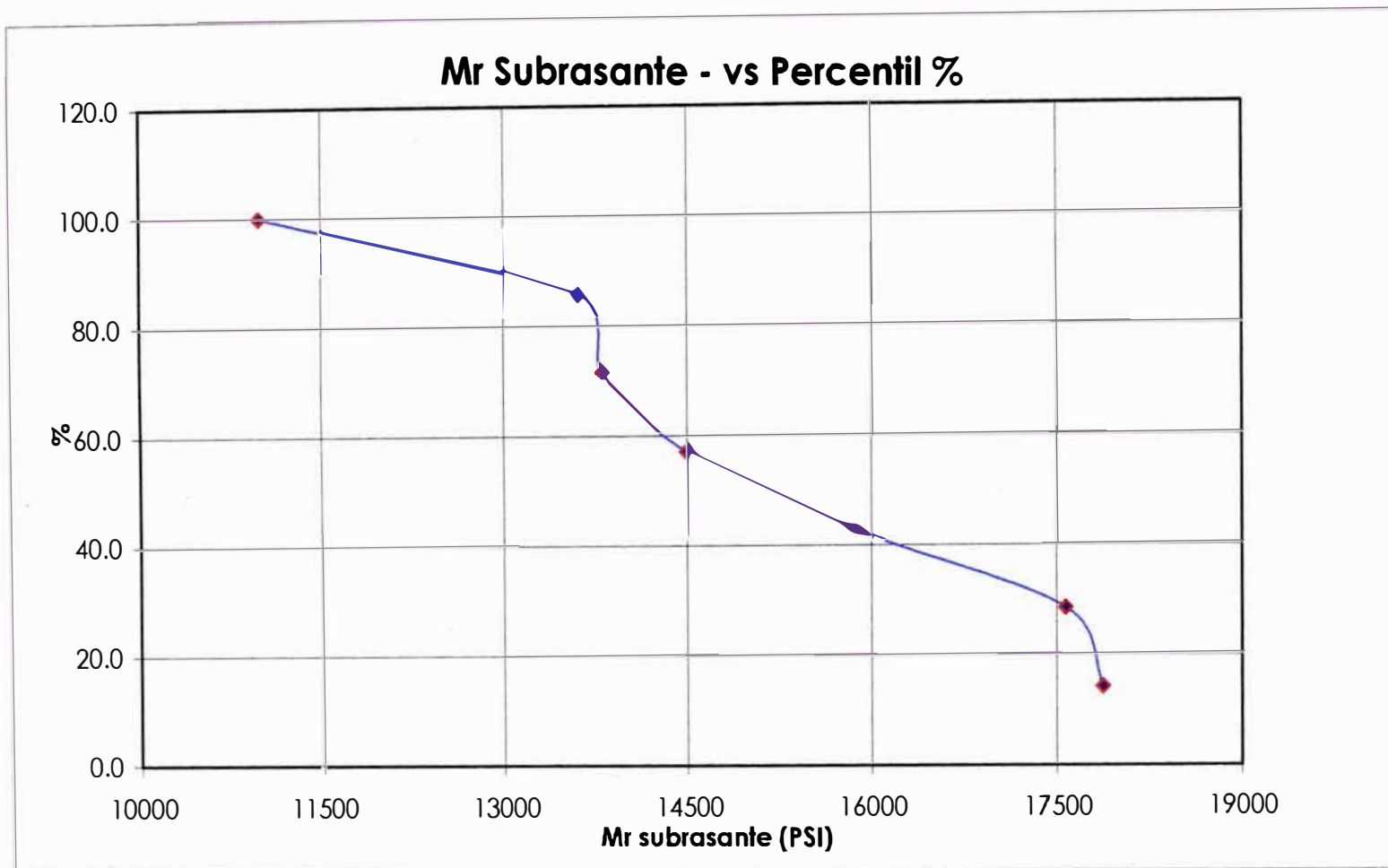
**RESUMEN DE ENSAYOS DE CBR A LA SUBRASANTE**  
**UBICACIÓN: KM 57+000 AL 60+000**

Calicata	Progresiva	Muestra	Profundidad	SUCS	AASHTO	PROCTOR MODIFICADO		Comp. Campo %	95%		MR		Valores $\geq$ MR	%
						MDS	OCH		Sub-rasante					
									0:1 "	0.2 "	PSI (*)	Frecuencia		
49	57+500	2	0.45-1.50	GP-GW	A-1-a	2.27	5.2	90	59	69	17,880.43	1	1	14.3
50	57+000	2	0.35-1.50	GW	A-1-a	2.26	5.2	89	55	68	17,576.72	1	2	28.6
43	59+500	2	0.40-1.50	GW-GM	A-1-a	2.31	6.7	94	37	46	15,861.83	1	3	42.9
56	56+570	2	0.30-1.50	GP-GC	A-1-a	2.25	7.2	95	27	35	14,498.79	1	4	57.1
46	61+000	2	0.40-1.50	GC	A-2-4	2.26	7.2	95	23	27	13,805.15	1	5	71.4
32	58+000	2	0.40-1.50	GW-GM	A-1-a	2.26	7	95	22	27	13,612.85	1	6	85.7
33	60+000	2	0.45-1.40	GC	A-2-4	2.09	9.8	94	12	16	10,990.71	1	7	100.0

(\*) Formula de correlacion para el módulo resiliente a partir del CBR, dada por la AASHTO

$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$ , para suelos granulares y CBR mayores que el 15%





**Percentil del Modulo resilente al 95% del sector Km57+000 - 60+000**

Mr (95%)= 11,777.35





**Foto N°1:** Reconocimiento en campo del estado de las obras de drenaje, vemos que la salida de la alcantarilla, la tubería metálica corrugada, se encuentra descubierta, debería quedar protegido dentro del concreto del cabezal de salida



**Foto N°2:** Reconocimiento en campo, Trazo y diseño vial, comprobación del sobreebanco en las curvas, el peralte y las longitudes en tangente; esta ultima característica no cumplía, por lo que se propuso sobreebanco hacia el lado del río con sus respectivos muros de contención.



**Foto N°3:** Puente La Cascada; urge darle el mantenimiento, se observa el fisuramiento del estribo derecho del puente I, y los aparatos de apoyo se encuentra en mal estado



**Foto N°4:** Puente Collana; se observa la superestructura, el pilar izquierdo tipo tarjeta, los aparatos de apoyo tipo freysinets y el enrocado de protección. Esta obra de gran importancia son diseñadas considerando periodo de retorno de 100 años.



**Foto N°5:** Estación de Peaje Corcona. Las horas pico en el comportamiento vehicular horario se dan entre las 2 a.m. y las 5 a.m. en el sentido hacia Lima, y de 6 p.m. a 2 a.m. en sentido a Matucana.



**Foto N°6:** Estación de Pesaje. Para el pesaje el vehículo pasa por el control con una velocidad lenta, se registra en pantalla la placa del vehículo y el peso individual de cada eje. Luego haciéndose la suma total se define si el vehículo cumple con la capacidad de su peso.



**Foto N°7:** Km. 59+900, se observa el agrietamiento longitudinal de la carpeta asfáltica, prematuramente, posiblemente sea producto de un insuficiente espesor de carpeta asfáltica o inadecuada dosificación, ó mala practica de colocación; ya que no hay hundimiento en la zona adyacente



**Foto N°8:** Km. 59+690, se observa empozamiento a causa de falta de limpieza de la cuneta, esto saturara las capas inferiores del pavimento degradando su resistencia, siendo sensible de fallar estructuralmente producto del tráfico pesado, según esta condición se prevé para tomar en cuenta el coeficiente de drenaje para la estructuración del pavimento (mi)



**Foto N°9:** Km. 59+00, el clima es un factor para considerarlo en el daño al asfalto ya que los cambios de temperatura envejecerá al asfalto perdiendo sus propiedades de ductilidad y elasticidad.



**Foto N°10:** Km 59+180, un buen mantenimiento rutinario ayudara a conservar el pavimento, como la limpieza constante de cunetas, limpieza de desprendimiento de materiales caídos del talud a la vía, sello superficial, etc.

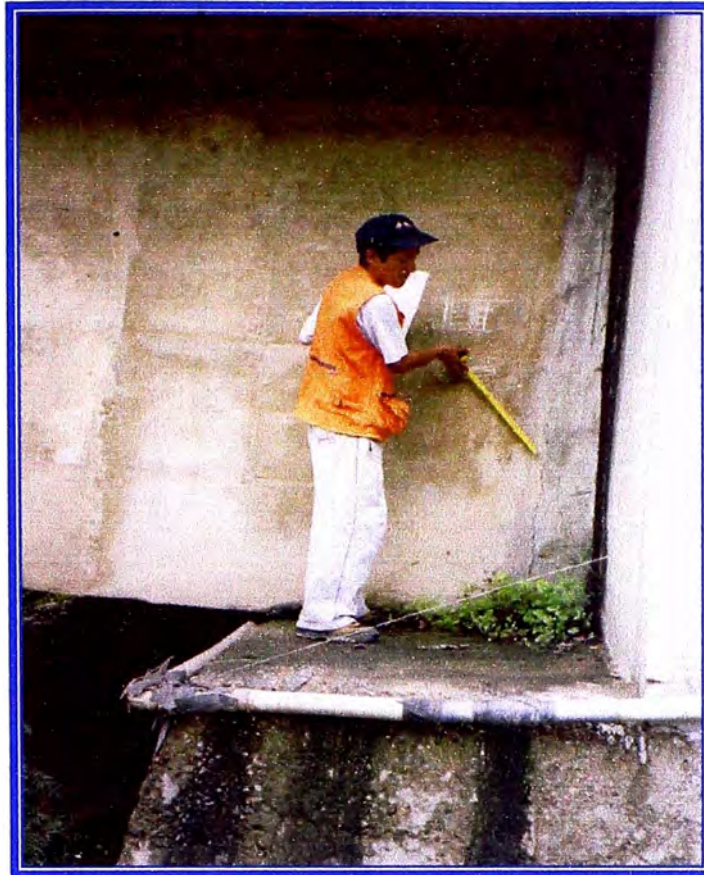


**Foto N°11:** Debido a la importancia de la vía en la economía del país, es una vía principal donde el transporte de mercancías se hace en camiones de gran tonelaje, principalmente en horas de la madrugada. Este flujo y el tipo de camión hace que el número de ejes equivalentes se incremente.



**Foto N°12:** Debido al talud pronunciado y la naturaleza del material (rocas fracturadas y bolonería), es inminente el desprendimiento de este, sobre todo en épocas de lluvia que impactaran y dañaran la superficie del pavimento; para esto se debe programar las actividades de mantenimiento rutinario y periódico





**Foto N°13:** Km 59+576 Punte La Esperanza, se muestra el deterioro de la viga y el estribo izquierdo (fisuras) a causa de la falta de mantenimiento; el aparato de apoyo entre el estribo y la viga necesitan cambiarse y la tubería rota suelta agua permanentemente



**Foto N°14:** Bordillo de muro de contención, muestra la deficiente señalización; su estado actual puede ser causa de accidentes. Urge el mantenimiento de la señalización, para brindar la seguridad en el tramo.