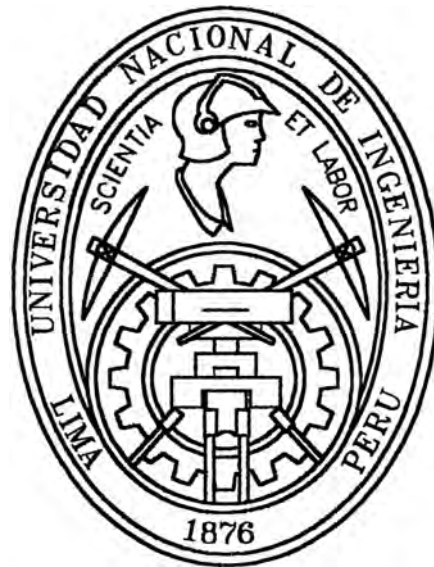


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**PROYECTO MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA  
CARRETERA COCACHACRA-MATUCANA  
DEL Km 55+000 AL Km 58+000**

**DISEÑO DE PAVIMENTOS**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

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

**ALFONSO ELIXANDRO SAAVEDRA HUERTAS**

**Lima- Perú  
2006**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Alfonso y Catalina, por todo su apoyo y dedicación.  
Sin ellos esto no hubiera sido posible.



## INDICE

	<u>PAG.</u>
<b>INDICE</b>	02
<b>RESUMEN</b>	06
<b>INTRODUCCION</b>	10
<b>CAPITULO I : ANTECEDENTES</b>	12
<b>1.1. ASPECTOS GENERALES</b>	12
1.1.1. ANTECEDENTES	12
1.1.2. BENEFICIOS	12
1.1.3. UBICACIÓN DEL PROYECTO	13
<b>1.2. ESTUDIO Y PROYECCIONES DE LA ECONOMIA DEL AREA DEL PROYECTO</b>	15
1.2.1. ANALISIS DE LA OFERTA	15
1.2.1.1. OFERTA EN LA SITUACION SIN PROYECTO	15
1.2.1.2. OFERTA EN LA SITUACIÓN CON PROYECTO	16
1.2.2. ANALISIS DE LA DEMANDA	16
1.2.2.1. ESTIMACION DE LA DEMANDA ACTUAL	16
1.2.2.2. PROYECCION DE LA DEMANDA	18
1.2.3. BALANCE OFERTA - DEMANDA	19
<b>1.3. INGENIERIA DE TRANSITO</b>	19
<b>1.4. TRAZO VIAL</b>	21
<b>1.5. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO</b>	22
1.5.1. GEOLOGÍA	22
1.5.1.1. GEMORFOLOGÍA	22
1.5.1.2. GEODINAMICA EXTERNA	22
1.5.1.3. GEODINAMICA INTERNA	24
1.5.2. GEOTECNIA	24
1.5.2.1. TRABAJOS DE CAMPO	24
1.5.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO	25
1.5.2.3. SUBRASANTE	25
1.5.2.4. PERFIL ESTRATIGRÁFICO	26
1.5.2.5. DETERMINACIÓN DEL CBR DE DISEÑO	26

1.5.2.6. ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA	26
<b>1.6. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO</b>	<b>27</b>
1.6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC	27
1.6.2. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN	27
1.6.3. ANÁLISIS DE SUBCUENCAS	28
1.6.4. DISEÑO DE OBRAS DE ARTE Y DRENAJE	29
1.6.5. ALCANTARILLAS	30
1.6.6. CUNETAS	30
<b>1.7. ESTUDIO DE SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL</b>	<b>32</b>
<b>1.8. DISEÑO DE PAVIMENTOS</b>	<b>32</b>
1.8.1. METODOS DE DISEÑO	32
<b>1.9. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>34</b>
1.9.1. IMPACTO AMBIENTAL EN LA ETAPA DE LA REHABILITACION	34
1.9.2. IMPACTOS AMBIENTALES EN LA ETAPA DE LA VIDA UTIL DE LA VIA	35
1.9.3. MEDIDAS DE MITIGACION EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION DEL PROYECTO	35
1.9.4. MEDIDAS DE MITIGACION EN LA ETAPA DE LA VIDA UTIL DE LA VIA	37
<b>1.10. EVALUACION ECONOMICA</b>	<b>37</b>
1.10.1. INDICADORES DE RENTABILIDAD	37
1.10.2. ANALISIS DE SENSIBIILIDAD	38
<b>1.11. PRESUPUESTO DE OBRA</b>	<b>40</b>
<b>1.12. PROGRAMACION DE OBRA</b>	<b>41</b>
<b>CAPITULO II : ESTUDIO GEOTECNICO</b>	<b>43</b>
2.1. ENSAYOS Y MUESTREO	43
2.1.1. CLASIFICACION DE SUELOS	44
2.1.2. ENSAYOS DE SUELOS	45
2.2. SUBRASANTE	46
2.3. PERFIL ESTATIGRAFICO	47
2.4. DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO	51

<b>CAPITULO III : EVALUACION DE PAVIMENTOS</b>	<b>54</b>
3.1. EVALUACION DEL PAVIMENTO	54
3.1.1. EVALUACION DE SUELOS	54
3.1.2. EVALUACION DE PAVIMENTOS	54
<b>CAPITULO IV : DISEÑO DE PAVIMENTOS</b>	<b>56</b>
4.1. METODO DE DISEÑO	56
4.1.1. RESEÑA DEL METODO DE DISEÑO AASHTO	56
4.1.1.1. DETERMINACION DE ESPESORES	60
4.1.2. RESEÑA DEL METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO	65
4.1.3. CALCULO DE REFUERZO POR EL METODO DE DISEÑO ASSHTO	71
4.1.3.1. CALCULO DEL REFUERZO	73
4.1.3.2. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO DEL PAVIMENTO	73
4.2. PARAMETROS DE DISEÑO	76
4.2.1. TRAFICO DE DISEÑO	76
4.2.2. FACTORES HICROMETEREOLÓGICOS	76
4.2.3. SOPORTE DEL SUELO PARA DISEÑO	77
4.2.4. CALIDAD DE LOS MATERIALES A EMPLEARSE	77
4.3. DISEÑO DE PAVIMENTOS	78
4.3.1. APLICACIÓN DEL METODO DE DISEÑO AASHTO	78
4.3.1.1. DEFINICION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO DEL METODO	78
4.3.1.2. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL TOTAL REQUERIDO Y DE LOS ESPESORES ASUMIDOS	79
4.3.2. APLICACIÓN DEL METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO	79
4.3.2.1. DEFINICION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO DEL METODO	79
4.3.2.2. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL TOTAL REQUERIDO Y DE LOS ESPESORES REQUERIDOS	83
4.4. APLICACIÓN DEL METODO DE DISEÑO DEL AASHTO PARA RECAPEO	83
4.4.1. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL TOTAL REQUERIDO	83
4.4.2. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO DEL PAVIMENTO	83
4.4.3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL DE REFUERZO	85

<b>CAPITULO V : ALTERNATIVAS DE DISEÑO</b>	87
5.1. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	87
5.2. ALTERNATIVA 1: DISEÑO CONVENCIONAL	88
5.3. ALTERNATIVA 2: DISEÑO CON FRESADO	90
5.4. ANALISIS DE ALTERNATIVAS	91
<b>CONCLUSIONES</b>	93
<b>RECOMENDACIONES</b>	94
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	96
<b>ANEXOS</b>	97
ANEXO 1: ESTUDIO GEOLOGICO – HOJAS DE CAMPO	98
ANEXO 2: ENSAYO DE SUELOS	101
ANEXO 3: DISEÑO DEL NUMERO ESTRUCTURAL	114
ANEXO 4: COEFICIENTE ESTRUCTURAL A PARTIR DEL MODULO ELASTICO DEL CONCRETO ASFALTICO.	115
ANEXO 5: VARIACION EN EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE CONCRETO ASFALTICA	116
ANEXO 6: VARIACION EN EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE BASE	117
ANEXO 7: VARIACION EN EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE BASE ESTABILIZADA	118
ANEXO 8: VARIACION EN EL COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA CAPA DE SUBBASE	119
ANEXO 9: CARTA DE DISEÑO A7	120
ANEXO 10: COEFICIENTES RECOMENDADOS PARA LAS CAPAS DE PAVIMENTOS EXISTENTES	121

## RESUMEN

El presente informe desarrolla las alternativas de diseño de pavimentos, para lo cual se utilizan dos metodologías:

Método del Instituto del Asfalto

Método del AASHTO.

En el Capítulo I, Antecedentes, se presenta el resumen de los diferentes estudios realizados para la Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cocachacra – Matucana del km 55+000 al km 58+000.

En el Capítulo II, Estudio Geotécnico, se hace mención a la subrasante, que es la capa de terreno que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante. El grado de compactación de esta capa varía de 89 a 95 % y CBR de 28 a 48%, correspondiendo el mínimo valor de CBR a una grava arcillosa localizada en el km 58+000. La humedad óptima de compactación varía de 5.2 a 7.2%. El Módulo de Resiliencia calculado es de 15,365.9 psi.

De acuerdo a las características de los suelos que integran la estructura del camino las propiedades de los suelos son muy similares y por ser la longitud del tramo solo de 3 Km no se sectorizará este.

En el Capítulo III, Evaluación del Pavimento, se determina que las capas que forman la estructura de pavimento están constituidas básicamente por carpeta y base, sin que se haya detectado capa de sub-base. Además el espesor total del pavimento es de 35 cm: 20 cm de base y 15 cm de carpeta. Con un CBR promedio correspondiente a la densidad de campo de 39%. El pavimento se encuentra en buenas condiciones.

En el Capítulo IV, Diseño de Pavimentos, se describen los procedimientos para el diseño de pavimentos. El concepto del diseño de pavimentos, es determinar primero



el espesor de la estructura basado en el nivel de tránsito como en las propiedades de los materiales; el período de desempeño de un pavimento esta en función de la pérdida de serviciabilidad.

El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), versión 1993, establece que la estructura de un pavimento debe satisfacer un determinado Número Estructural, el cuál se calcula en función:

- a) El tráfico que transcurrirá por la vía, durante un determinado número de años (período de diseño);
- b) La resistencia del suelo que soportará al pavimento; y,
- c) Los niveles de serviciabilidad deseados para la vía, tanto al inicio como al final de su vida de servicio.

Adicionalmente, deben considerarse determinados parámetros estadísticos, que funcionan como factores de seguridad, los cuales garantizan que la solución obtenida cumplen con un determinado nivel de confianza.

Una vez determinado el Número Estructural requerido, la estructuración del pavimento se realiza empleando el criterio de Espesores Máximos, luego por tanteos asignando dimensiones a cada una de las capas consideradas, y, calculando en función a estas dimensiones y a la calidad de los materiales empleados – expresada mediante un coeficiente estructural los números estructurales parciales, los que sumados deben satisfacer el valor total requerido.

Los espesores de las capas finales deben cumplir con determinados valores mínimos, por razones constructivas, por razones de tráfico y por razones de tipo estructural.

El Método del Instituto del Asfalto, considera la estructura del pavimento como un sistema elástico de capas múltiples. El material en cada una de las capas se caracteriza por su modulo de elasticidad.

Este procedimiento es usado para el diseño de pavimentos de asfalto compuesto de combinaciones de capa asfáltica, base y subbase, la subrasante es la capa subyacente más baja y es asumida infinita en el sentido vertical de arriba hacia abajo y en dirección horizontal; las otras capas de un espesor finito, se asumen infinitas hasta cierto punto en el sentido horizontal. Una continuidad o fricción total, es asumida en la unión entre cada una de las capas para efecto de diseño.

En la metodología adoptada por este método, las cargas sobre la superficie del pavimento producen dos esfuerzos de tensión que son críticos para propósitos del diseño:

- a) Esfuerzo de tensión horizontal  $E_t$ , en el fondo de la capa asfáltica mas profunda.
- b) Esfuerzo de comprensión vertical  $E_c$ , en la superficie de la subrasante.

Los métodos de rehabilitación de pavimentos por colocación de una sobrecapa o recapeo sobre la estructura existente son muy variados, en función del tipo y deterioro de la estructura y superficie existente.

El objeto de estos recapeos tiene dos funciones, dependiendo de cual de las dos condiciones es la que se quiere recuperar o si es combinado, ya que una de las funciones es la capacidad estructural y la otra es la serviciabilidad.

La primera aplica cuando las condiciones de la estructura de pavimento esta llegando a su periodo de diseño y es necesario el refuerzo de la estructura para soportar el crecimiento del tránsito y por ende de las cargas; la segunda aplica cuando las condiciones de la superficie del pavimento ha llegado a su vida útil y sufrido tal deterioro que no permita el desplazamiento normal de los vehículos.

Para el cálculo de la estructuración del pavimento se aplica en forma inversa: se tiene un pavimento que ya tiene una estructura determinada y se quiere saber si dicha estructura cumple con el Número Estructural requerido, de no ser así se debe diseñar un refuerzo.

En el Capítulo V, Alternativas de Diseño, se plantean las alternativas de recapeo, debido a los daños que sufrirá el pavimento existente, a consecuencia de los trabajos de corte para la construcción de la berma y el carril de ascenso. Para la rehabilitación se plantean dos alternativas:

**Alternativa 1**, considerando una capa asfáltica nivelante y una carpeta de rodadura.

**Alternativa 2**, considerando una operación de fresado para la nivelación de la superficie asfáltica del pavimento y la colocación de una nueva carpeta asfáltica

Del análisis efectuado se encuentra que la alternativa 1, es la más recomendable para la rehabilitación del Tramo.

## INTRODUCCION

Actualmente ante un mundo cada vez mas integrado, que intercambia mas bienes y servicios, la importancia de la carreteras se ha incrementado notablemente, convirtiéndose en verdaderas vías que impulsan la competitividad de la economía y, también, el desarrollo social, es por tanto indispensable contar con infraestructuras de carreteras que aseguren una circulación segura, cómoda y fluida.

Dada la importancia de las carreteras dentro de la economía de un país, ya que los costos de transporte de pasajeros y mercancías dependen en gran medida de los deterioros que presentan los pavimentos, es fundamental mantener las características de las carreteras de la mejor manera posible, para evitar elevar los costos de operación de los vehículos que transitan en ellas.

En el presente informe se plantea la necesidad de desarrollar un estudio de rehabilitación y mejoramiento del tramo Cocachacra – Matucana con la finalidad de incrementar la fluidez del tránsito vehicular y brindar al mismo tiempo, mayor seguridad y comodidad a los usuarios de esa vía.

Como parte de la mejora del trazo existente se va a construir una berma de 1.80 m de ancho al lado derecho de la carretera (en el sentido Lima-Oroya) que permite un espacio de estacionamiento de emergencia para los vehículos en ascenso.

Así mismo, debido a la presencia de tráfico pesado que por su volumen de carga disminuye su velocidad durante el ascenso, se ha propuesto la construcción de un carril de ascenso en el lado derecho de la carretera con una longitud de 330 metros más 170 metros de transición.

El cálculo de los espesores de la estructura pavimento a construir, se determina por medio del Método del Instituto del Asfalto y el Método del AASHTO. Entre ambas la metodología AASHTO se ajusta mejor a las características de nuestro medio por lo que es recomendada.

Como consecuencia a los procesos constructivos del carril de ascenso y la berma lateral, los cuales implican trabajos de corte en roca fija mediante explosivos, el pavimento existente sufrirá daños. Se determinara por medio de la Metodología AASHTO el número estructural de refuerzo, este se obtiene mediante la diferencia del número estructural requerido y el número estructural efectivo.

## **CAPITULO I ANTECEDENTES**

### **1.1. ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1.1. ANTECEDENTES**

El proyecto de rehabilitación Cocachacra- Matucana, tiene por objetivo elevar las condiciones de servicio de la carretera a través de la rehabilitación y mejoramiento de la superficie de rodamiento, estructuras de drenaje, obras de arte y de los dispositivos de señalización y seguridad vial.

Para este efecto, manteniendo en lo posible las características geométricas de la actual vía, el proyecto deberá comprender los siguientes trabajos:

Diseñar un pavimento de acuerdo a las exigencias de las cargas del tráfico circulante y proyectado, para una nueva vida de servicio.

Reparación y mejoramiento del sistema de drenaje y obras de arte.

Mejoramiento de los dispositivos de señalización y seguridad vial.

Tratamiento de las zonas críticas con problemas de estabilidad de taludes.

#### **1.1.2. BENEFICIOS**

Como consecuencia de la rehabilitación de la carretera se espera obtener los beneficios siguientes:

Beneficios directos:

Reducción de fletes debido a la utilización de vehículos de mayor tonelaje.

Disminución de tiempos de recorrido de los vehículos.

Menores costos de operación de los vehículos.

Facilitar el turismo interno y receptivo.

Integrar las diferentes zonas por donde cruza la ruta.

Beneficios indirectos:

Mejorar la competitividad de productos de las zonas que hoy no pueden acceder a determinados mercados, debido a los elevados costos de transporte.

Favorecer la productividad del área de influencia de la vía.

### **1.1.3. UBICACION DEL PROYECTO**

El tramo en estudio, ubicado entre las progresivas Km 55+000 y Km 58+000, se encuentra sobre la ruta nacional N° 20, registrada en el itinerario del MTC con el N° de Carretera 14-020A denominado "Héroes de la Breña" (Ex Carretera Central), perteneciendo a la carretera Santa Anita – La Oroya, de ruta 20 Callao – La Oroya – Puerto Inca del Sistema Nacional, siendo parte del tramo Cocachara – Matucana.

Geográficamente se encuentra entre los 11° 52' y 11° 55' de latitud sur y 76° 29' a 76°32' de longitud oeste.

En el plano U-01, se presenta el plano de ubicación de la carretera.





## 1.2. ESTUDIO Y PROYECCIONES DE LA ECONOMIA DEL ÁREA DEL PROYECTO

### 1.2.1. ANÁLISIS DE OFERTA

#### 1.2.1.1. OFERTA EN LA SITUACIÓN SIN PROYECTO

Para el presente análisis se ha tomado como oferta la carretera que actualmente se utiliza para llegar a los lugares del área de influencia. La situación actual de la carretera es como se muestra en los Cuadros 2.1 y 2.2:

**Cuadro N° 1.2.1**

<b>DATOS DE LA CARRETERA</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	
Clase de Carretera (P-Pavim./U-Sin Pavim)	Pavimentada
Red vial	Departamental
Velocidad Directriz	50 Km/h
Longitud de la Carretera	30 Km
Longitud del Tramo	3.051 Km
<b>GEOMETRÍA</b>	
Longitud (Km)	3.051
Ancho de la Calzada (m)	7.20
Número Efectivo de Carriles	2
Subida mas Bajada (m/Km)	6.102
Curvatura (grados/Km)	179.5
Peralte (%)	5
<b>MEDIO AMBIENTE</b>	
Altitud (m)	1550
Precipitación (m/mes)	0.120

Cuadro N° 1.2.2

<b>SUPERFICIE</b>	
Tipo de Superficie:	Asfaltado
Espesor de Capas Nuevas (mm)	150
Espesor de Capas Viejas (mm)	-
<b>BASE/SUB RASANTE</b>	
Tipo de Base:	Granular
CBR de la Subrasante (%):	28-48
Si Base es Cemento Estab.:	No
<b>RESISTENCIA</b>	
Número Estructural:	3.31
Deflexión Viga Benkelman (mm)	0.6

Fuente: Información de campo - Estudios de Ingeniería - CESEL

#### 1.2.1.2. OFERTA EN LA SITUACION CON PROYECTO

Con la ejecución del proyecto se logrará contar con una carretera de mejores condiciones, lo cual representa un significativo ahorro de tiempo de viaje y menores costos de transporte.

#### 1.2.2. ANALISIS DE LA DEMANDA

La demanda está dada por los vehículos que circulan por la actual vía. Estos vehículos se trasladan desde la ciudad de Lima y teniendo como destino las ciudades de La Oroya, Huancayo, Huancavelica, Junín, Cerro de Pasco, Huanuco, Tingo María y Pucallpa.

Entre las variables que afectan a la demanda tenemos:

- Tasa de Crecimiento del PBI departamental
- El Servicio de Transporte

En el proyecto se ha identificado 02 tipos de servicio de transportes: el de mercancías o carga y el de pasajeros.

#### 1.2.2.1. ESTIMACION DE LA DEMANDA ACTUAL.

La demanda para el proyecto está determinada por los vehículos que en la actualidad circulan por la actual vía y tienen como

destino final las localidades de la Oroya, Huancayo, Huancavelica, Junín, Cerro de Pasco, Huanuco, Tingo María y Pucallpa.

Para estimar la demanda actual es necesario contar con: Estudio de conteo vehicular, encuestas de origen destino de pasajeros y de carga, para lo cual se cuenta con información realizada por CESEL en el peaje de Corcona durante 4 días, las 24 horas de cada día, realizada en las siguientes fechas: del 04 al 07 de mayo del año 2000, la misma que se muestra en el estudio de tráfico efectuado, cuyos resultados mostramos a continuación en el Cuadro 2.3.:

**Cuadro Nº 1.2.3  
VOLUMEN VEHICULAR CONTABILIZADO**

DIA	DIRECCIÓN	TOTAL	%
JUEVES	Cocachacra - Tornamesa	1738	50%
	Tornamesa - Cocachacra	1746	50%
	Ambas	3484	100%
VIERNES	Cocachacra - Tornamesa	1611	46%
	Tornamesa - Cocachacra	1860	54%
	Ambas	3471	100%
SÁBADO	Cocachacra - Tornamesa	1832	48%
	Tornamesa - Cocachacra	2007	52%
	Ambas	3839	100%
DOMINGO	Cocachacra - Tornamesa	1652	52%
	Tornamesa - Cocachacra	1554	48%
	Ambas	3206	100%
I.M.D.	Cocachacra - Tornamesa	1721	49%
	Tornamesa - Cocachacra	1772	51%
	Ambas	3493	100%
FCE (veh. Lig.)	1.010	FCE (veh. Pes)	1.019
I.M.D.A.	Cocachacra - Tornamesa	1747	49%
	Tornamesa - Cocachacra	1800	51%
	Ambas	3547	100%
%	Ambas	100.00%	

FUENTE : CESEL

Para determinar los IMDA, se multiplico el volumen vehicular por el factor de corrección estacional, las mismas que son 1.010 para

vehículos ligeros y 1.019 para vehículos pesados, por lo que el IMDA para la carretera en estudio es 3547 vehículos.

### 1.2.2.2. PROYECCION DE LA DEMANDA.

Para hacer la proyección de la demanda trabajaremos con los datos que nos proporcionó el estudio de tráfico las cuales se muestran a continuación, en el Cuadro 2.5:

**Cuadro N° 1.2.4**  
**TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRÁFICO**

PERIODOS	VEHÍCULOS LIGEROS	ÓMNIBUS	CAMIONES
2006-2016	5.8%	5.1%	6.1%
2017-2026	3.6%	3.1%	3.9%

Para las proyecciones del tráfico se ha utilizado la siguiente función:

Fórmula :  $P_f = P_0(1+Tc)^n$

Dónde :  $P_f$  = Tráfico final o tráfico a estimarse

$P_0$  = Tráfico inicial (año base 2002)

$Tc$  = tasa de crecimiento por tipo de vehículo

$N$  = Año a estimarse

Se ha considerado un incremento en el tráfico del 20%, para todo tipo de vehículo sólo para el primer año luego de realizada la inversión, (el siguiente año de construido el proyecto). A partir del segundo año después de realizada la inversión el crecimiento anual viene a ser igual que para el caso de la alternativa sin proyecto, se ha considerado que el mejoramiento de la superficie de rodadura tiene efectos generadores o creadores de tráfico que antes no existía en el área de influencia del proyecto.

### 1.2.3. BALANCE OFERTA-DEMANDA.

Las características técnicas del proyecto están de acuerdo con la demanda proyectada. La carretera proyectada se considera de tercer nivel y estará en condiciones de atender la demanda existente, ya que ha sido diseñada y proyectada teniendo en cuenta los volúmenes de tráfico que transitan por esta vía.

### 1.3. INGENIERIA DE TRANSITO

Este estudio tiene por objetivo el calcular los indicadores de tráfico y repeticiones de ejes equivalentes para la evaluación económica y el diseño propuesto del pavimento, para lo cual ha sido necesario realizar trabajos de campo y gabinete.

Los valores obtenidos en el estudio en lo referente a los parámetros para el diseño del pavimento, se resume en lo siguiente:

#### - Índice Medio Diario Anual

El IMDA en este tramo es de 3,322, compuesto por 35% de vehículos ligeros, 12% de ómnibus y 53% de vehículos de transporte de carga.

#### - Tasa de Crecimiento

Las tasas de crecimiento para el periodo 2006 al 2017 y 2018 al 2027 son los del siguiente, cuadro 3.1:

**Cuadro N° 1.3.1**  
**TASAS DE CRECIMIENTO DEL TRAFICO**

PERIODOS	VEHÍCULOS LIGEROS	ÓMNIBUS	CAMIONES
2006-2017	5.8%	5.1%	6.1%
2018-2027	3.6%	3.1%	3.9%

\* Las tasas de crecimiento por tráfico inducido y por tráfico, son las mismas.

### - Tráfico Projectado

El tráfico proyectado está compuesto por el tráfico normal existente, con crecimiento exponencial, además por el tráfico derivado o indirecto que puede ser atraído de otra carretera. La proyección de este tráfico nos es útil para el cálculo de ejes equivalentes proyectados a 20 años. Nos basamos en información registrada por el INEI, así como por estudios especializados anteriores sobre evaluación de la misma carretera.

**Cuadro N° 1.3.2**  
**TRAFICO PROYECTADO**  
**TRAMO COCACHACRA-MATUCANA**

Tasas de crecimiento	Periodo	Veh. Ligero	Bus	Camiones
	2006-17	1.058	1.051	1.061
2018-27	1.036	1.031	1.039	

	2005	2006	2007	2008	2016	2017	2027
	AÑO BASE	CONSTRUCCION	AÑO 1 DE OPERACIÓN	AÑO 2	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 20
<b>TRAFICO NORMAL</b>							
TOTAL	3322	3517	3724	3943	6229	6460	8967
<b>TRAFICO DERIVADO A LA CARRETERA : LIMA- CANTA- UNIS</b>							
TOTAL				353	556	576	798
<b>TRAFICO TOTAL SIN PROYECTO : LIMA- CANTA- UNISH</b>							
TOTAL	3322	3517	3724	3943	6229	6460	8967
<b>TRAFICO TOTAL CON PROYECTO LIMA-CANTA-UNISH</b>							
TOTAL	3322	3517	3724	3590	5673	5884	8169

### - Factores Destructivos del Pavimento

Los factores destructivos del pavimento o ejes equivalentes a 8.2 toneladas se han determinado para un número estructural SN de 4 y una serviciabilidad final de 2.5.

### - Ejes Equivalentes

Con los factores destructivos del pavimento corregido por presión de inflado de llantas, el IMDA, y las tasas de crecimiento del tráfico, se ha calculado la cantidad acumulada de ejes equivalentes a 8.2 toneladas.

El cálculo se ha efectuado para dos periodos:

El primer periodo comprende el año de puesta en marcha del proyecto (2007) hasta el año 10 de vida útil (2016).

El segundo periodo abarca el año 11 (2017) al año 20 (2027).

#### **1.4. TRAZO VIAL**

El objetivo de este proyecto es el de rehabilitar y mejorar la carretera existente, para lo cual se consideró aumentar la velocidad directriz de diseño a 60 Km/h. Los elementos del alineamiento horizontal del trazo existente fueron evaluados para las nuevas condiciones de velocidad directriz y se propusieron 3 alternativas de mejora del trazo, eligiendo solo la más factible respecto a la económica y facilidad constructiva.

La alternativa de solución planteada cumple con los requisitos especificados del "Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001" del MTC. Tanto el diseño del alineamiento horizontal y vertical se ha realizado respetando las medidas mínimas y máximas recomendadas.

Como complemento a la mejora del trazo existente se ha propuesto también la construcción de una berma de 1.80 m de ancho al lado derecho de la carretera (en el sentido Lima-Oroya) que permite un espacio de estacionamiento de emergencia para los vehículos en ascenso. También, debido a la presencia de tráfico pesado que por su volumen de carga disminuye su velocidad durante el ascenso, se ha propuesto la construcción de un carril de ascenso en el lado derecho de la carretera con una longitud de 330 metros más 170 metros de transición.

Según lo anteriormente expuesto se procederá en la ejecución de los trabajos de rehabilitación y mejoramiento de la carretera "Héroes de la Breña".

## 1.5. ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO

### 1.5.1. GEOLOGÍA

El presente estudio tiene por objeto evaluar los problemas geodinámicos existentes en la carretera Cocachacra – Matucana y recomendar las medidas correctivas así como identificar los problemas de estabilidad de taludes y fenómenos de geodinámica externa.

Para el desarrollo del estudio se ha seguido el siguiente esquema metodológico:

- a) Revisión de la información existente en los cuadrángulos geológicos a escala 1:100,000 editados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (hoja 24j Chosica); en Carta Nacional a escala 1:100,000 del Instituto Geográfico Nacional, y en otros estudios anteriores.
  
- b) Trabajos de campo durante los cuales se realizaron análisis y observaciones relativas a los aspectos geológicos, geomorfológicos, estratigráficos y de geodinámica externa.

Se presenta en el Anexo 1 las hojas de campo con las características geológicas correspondientes al tramo en estudio.

#### 1.5.1.1. GEMORFOLOGÍA

El Tramo se caracteriza por estar ubicado en la parte media del valle, conformada por terrazas fluvio-aluviales y pendientes abruptas de rocas intrusivas. El río en este tramo, presenta sectores sinuosos y los taludes disectados por quebradas.

#### 1.5.1.2. GEODINAMICA EXTERNA

##### TALUDES INESTABLES

En el del Km 55+000 al Km 58+000, se distingue principalmente el siguiente tipo de fenómeno geodinámico:

Ubicación

Progresiva Km 56+900 – 57+500



Problema	Caída de bolones.
Fenómeno original	Desprendimiento de rocas .
Topografía, pendiente y altura de talud	Material coluvio-aluvional, con 85° de pendiente al talud y 40 m de altura máxima.
Naturaleza de materiales	Depósito coluvial compuesto por bloques de tamaño variable de 0.30 a 1.00 m, que representan el 35% aproximadamente del total, con matriz limo-arcillosa.
Características del depósito	Bloques inestables. Depósito heterogéneo compuesto por bloques con matriz limo-arcillosa
Condición de las aguas subterráneas	No se ha encontrado presencia de "ojos de agua" en el afloramierito rocoso.
Estado de la cubierta vegetal	No existe.
Geodinámica externa y geotecnia	Existen desprendimientos de bloques en la pared casi vertical.
Consideración final y Recomendación	Los bloques se inestabilizan por las vibraciones causadas por el paso del

tren en la parte superior. Los bloques desprendidos tienen menos de 0.6 m de espesor. Por la magnitud y comportamiento de los bloques inestables se considera este sector como de segunda prioridad. La colocación de una malla protectora, que evite la caída de los bloques a la carretera.

### **1.5.1.3. GEODINAMICA INTERNA**

El Tramo Cocachacra - Matucana se encuentra bajo la influencia de dos fuentes principales de eventos sísmicos: la zona de subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana, y los sismos continentales producto de la actividad sísmica superficial andina.

### **1.5.2. GEOTECNIA**

El objetivo del estudio de suelos es conocer las características y condiciones de las capas constituyentes del pavimento existente y de los suelos de subrasante (cimentación). Para tal fin, se llevó a cabo un trabajo previo de recopilación de información de estudios realizados anteriormente y la implementación de un programa de exploración de campo, ensayos de laboratorio y trabajos de gabinete que permitan obtener resultados y conclusiones para el diseño del pavimento.

#### **1.5.2.1. TRABAJOS DE CAMPO**

Los trabajos de campo realizados fueron los siguientes:

- Reconocimiento del área de proyecto e identificación de los lugares donde se harán la exploración y los muestreos.
- Excavaciones a cielo abierto (calicatas) con intervalos determinados de acuerdo a las necesidades y requerimientos del

proyecto, hasta una profundidad de 1.50m o hasta encontrar imposibilidad de llegar a la profundidad indicada.

- Extracción de muestras de los diferentes estratos en cada una de las excavaciones, para realizar los ensayos de laboratorio programados para cada tipo de muestra.
  
- Ensayos de densidad de campo de los suelos de subrasante.

#### **1.5.2.2. ENSAYOS DE LABORATORIO**

Los ensayos estándar realizados fueron:

Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM C-136
Límite Líquido y Límite Plástico	ASTM D-4318
Contenido de Humedad	ASTM D-2216

Se hizo los ensayos de compactación siguientes:

Próctor Modificado	ASTM D-1557
Relación de Soporte de California (C.B.R.)	ASTM D-1883

Se tomaron valores porcentuales de C.B.R. para 100% y 95% de la máxima densidad seca para cada material, determinándose además, de la misma curva densidad-CBR, el valor de soporte correspondiente a la densidad de campo.

#### **1.5.2.3. SUBRASANTE**

Formada por material granular de forma angular a sub-angular, gravas limosas y arcillosas. El límite líquido varía de 17 a 26%, índice plástico de 2.84 a 8.16%. El grado de compactación de esta capa varía de 89 a 95 % y CBR de 28 a 48%, correspondiendo el mínimo valor de CBR a una grava arcillosa localizada en el km 58+000. La humedad óptima de compactación varía de 5.2 a 7.2%.

#### 1.5.2.4. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Con la información y los resultados de los ensayos de laboratorio se elaboró el perfil estratigráfico a lo largo del tramo, en el que figuran:

- La clasificación y las constantes físicas de los suelos de la subrasante que constituye la cimentación del pavimento.
- La capacidad portante CBR de los suelos de subrasante.

#### 1.5.2.5. DETERMINACIÓN DEL CBR DE DISEÑO

Para la determinación del valor representativo de la capacidad de soporte del suelo se ha utilizado el criterio del Instituto del Asfalto (USA), señalado en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 1.5.1**

NIVEL DE TRAFICO EAL	PERCENTILL DE DISEÑO %
10 <sup>4</sup> o menor	60
Entre 10 <sup>4</sup> y 10 <sup>6</sup>	75
10 <sup>6</sup> o más	87.5

Para este caso el nivel de tráfico (EAL) es de 10<sup>7</sup> , por lo que el percentil de diseño es 87.5%.

#### 1.5.2.6. ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA

Se hizo el estudio de canteras y fuentes de agua con la finalidad de proporcionar la información para el sustento técnico de la calidad y volumen de los materiales que serán utilizados en las capas granulares del pavimento y en la fabricación del concreto asfáltico y concreto hidráulico y en los rellenos de explanaciones.

- Cantera Esperanza: Ubicada en la progresiva 57+500 lado izquierdo en el lecho del río Rímac, margen izquierda. Uso para

concretos asfálticos e hidráulicos, base granular, subbase y rellenos.

## **1.6. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO**

La cuenca del río Rímac constituye el punto natural de ingreso a la ciudad de Lima, procedente de la sierra y selva del país; y en tal sentido, el sistema vial constituye un aspecto de vital importancia para el desarrollo de la zona central del país. La carretera Héroes de la Breña forma parte de este sistema vial y por ello es muy importante la evaluación de su sistema de drenaje ya que de éste depende su conservación a lo largo de su vida útil.

### **1.6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC**

La cuenca del río Rímac está constituida por una amplia red de drenaje, que a su vez da lugar a la formación de subcuencas y microcuencas que conforman la gran cuenca del Rímac. Tiene una superficie total de 3,101 Km<sup>2</sup>, el perímetro total es de 441 Km. Posee geoméricamente 204 Km de largo, con un ancho promedio de 16 Km. Está conformada por dos subcuencas importantes, la de San Mateo y la de Santa Eulalia. La longitud del cauce principal es de 145 Km.

La precipitación media anual en la cuenca varía entre 50 mm y 1,000 mm al año, con la mayor ocurrencia (80%) en los meses de verano (diciembre a abril). La cuenca del río Rímac es altamente inestable y propensa a que ocurran huaycos y en menor medida inundaciones. Las temperaturas medias máximas mensuales varían desde 30°C en el verano (en el área baja de la cuenca), hasta 2°C – 3°C en el invierno, (zona de la divisoria de aguas de la cuenca). La evaporación anual es de 1,560 mm. La humedad relativa se caracteriza por tener un promedio anual inverso a la costa, es decir, mayor en verano o época lluviosa (87%) y menor durante el invierno (61%).

### **1.6.2. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN**

Para el presente estudio se ha utilizado información topográfica proveniente de cartas elaboradas por instituciones del estado, mientras

que la información pluviométrica utilizada corresponde a seis estaciones meteorológicas operadas por el SENAMHI.

La zona en estudio no cuenta con estaciones hidrométricas y/o hidrográficas que permitan calcular directamente los caudales de diseño dado que se trata de cuencas pequeñas; razón por la cual, se ha calculado dichos valores en base a los registros de precipitación máxima en 24 horas.

El análisis de frecuencia se ha realizado para los datos de cada estación con ayuda del programa "SMADA", verificando la bondad de ajuste a través del análisis gráfico y con ayuda del promedio de la desviación estándar, optando finalmente por trabajar con la distribución LogNormal de 3 Parámetros ya que presenta un buen ajuste para todas las estaciones.

En el siguiente cuadro se presentan los valores de precipitaciones máximas afectados por un factor de seguridad de 1.13 con la finalidad de tomar en cuenta el número de lecturas realizadas en el pluviómetro en un día, el cual se asume por seguridad 1 vez/día.

**Cuadro N° 1.6.1**  
**PRECIPITACIONES MÁXIMAS [mm]**

Estación	Cota [msnm]	Precipitación [mm]		
		Tr = 20 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
Santa Eulalia	1,050	31.00	37.81	42.84
Matucana	2,378	34.92	39.58	42.91
Carpoma	3,272	36.31	39.28	41.29
San José de Parac	3,800	39.83	44.86	48.47
Autisha	2,250	29.06	33.99	37.58
Chalilla	4,050	52.09	57.38	60.94

Fuente: Elaboración Propia.

### 1.6.3. ANÁLISIS DE SUBCUENCAS

Consiste en la evaluación hidrológica de las subcuencas del río Rímac que han sido cruzadas por la carretera Héroes de la Breña y que se encuentran dentro del ámbito del estudio, con la finalidad de establecer si

éstas afectan negativamente a la carretera mencionada. Se ha reconocido tres subcuencas cuyas áreas no superan los 50 Km<sup>2</sup>, cuyos principales parámetros fisiográficos se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro N° 1.6.2**

**PARÁMETROS FISIGRÁFICOS DE LAS SUBCUENCAS EN ESTUDIO**

Nombre	Cuenca				Cauce	
	Área [Km <sup>2</sup> ]	Perímetro [Km]	Pendiente [m/m]	Altura Media [m.s.n.m]	Longitud [Km]	Pendiente [m/m]
Quebrada Río Seco	48.24	32.98	0.65	3,187	12.00	0.23
Quebrada Esperanza	4.15	8.78	0.75	2,636	3.85	0.51
Quebrada Palcacancha	28.75	28.05	0.52	4,108	10.41	0.25

Fuente: Elaboración Propia.

La distribución de la precipitación dentro de los límites de la zona de estudio se realizó con ayuda del Método de Thiessen y se determinó que la cuenca Río Seco se encuentra influenciada por las estaciones Santa Eulalia, Matucana y Chalilla. Las cuencas Esperanza y Palpacancha están influenciadas sólo por la quebrada Matucana.

Como ya se dijo anteriormente, las subcuencas estudiadas no cuentan con estaciones hidrométricas y/o hidrográficas que permitan obtener los valores de caudales máximos de manera directa, razón por la cual, la estimación de los caudales máximos se ha realizado en base a modelos de Precipitación – Escorrentía. En este caso se ha trabajado con dos métodos muy conocidos, el Método Racional y el Método del Hidrograma Unitario, este último fue aplicado a través del programa HEC – HMS. Finalmente se optó por trabajar con este segundo método.

#### 1.6.4. DISEÑO DE OBRAS DE ARTE Y DRENAJE

La evaluación de las obras de arte y drenaje se realizó en dos etapas, una de campo y otra de gabinete. Las obras de drenaje longitudinal consisten sólo de cunetas ubicadas a ambos lados de la vía, mientras que el drenaje transversal consiste sólo de 8 alcantarillas y 1 puente. Por otro lado, no existen estructuras de drenaje subsuperficial.

Dado que el presente estudio ha desarrollado una alternativa de solución para el mejoramiento del flujo vial en el tramo en evaluación, el cual consiste básicamente en una variación del eje de la vía así como la construcción de la berma derecha, el sistema de drenaje ha sido adecuado a estas variaciones. De los resultados obtenidos, se ha determinado que el tramo en estudio no necesita obras de drenaje superficiales y/o subsuperficiales adicionales.

#### **1.6.5. ALCANTARILLAS**

Las alcantarillas tienen características similares tales como el tipo de material (TMC) y diámetro (0.90 m). Captan los flujos de quebradas muy pequeñas ubicadas en la ladera derecha de la carretera, cuyas áreas de cuenca no superan el 1.0 Km<sup>2</sup>; sólo la alcantarilla ubicada en el Km 55+295 no sigue este patrón, ya que su función es permitir el paso de aguas de riego hacia un canal ubicado en la ladera derecha de la carretera.

Todos los cabezales de entrada y salida se encuentran en buen estado de conservación, pero sí presentan cierta acumulación de basura y material de arrastre en la entrada y salida. El material de TMC que conforma el cuerpo de la alcantarilla no presenta daños ni deformaciones, mas sí presenta signos de oxidación en sus extremos.

Se ha calculado los caudales que transporta la alcantarilla mediante el método racional. Por otro lado se ha procedido a calcular el caudal máximo que ésta puede transportar de acuerdo a sus características geométricas. Se concluye que todas las alcantarillas tienen suficiente capacidad para transportar los caudales provenientes de quebradas y/o cunetas.

#### **1.6.6. CUNETAS**

Se realizó un inventario de las cunetas existentes teniendo que todo el lado derecho de la vía es recorrido por cunetas triangulares de 1.00 m de ancho por 0.40 m de alto, mientras que en el lado izquierdo sólo existen



cunetas de similares dimensiones en algunos tramos.

En general el concreto que conforma las cunetas se encuentra en buen estado de conservación, encontrándose sólo algunos paños (10% del total) con fisuras o reparaciones pequeñas. Las juntas son de asfalto y en la parte inferior de las cunetas casi está desapareciendo debido posiblemente al desgaste producido por el arrastre de materiales del agua.

Como ya se mencionó anteriormente, para el mejoramiento del flujo vial, se ha planteado construir una berma de 1.80 m en el lado derecho de la carretera, razón por la cual se deberá “trasladar” las cunetas del lado derecho al extremo de la vía, adecuándola a las nuevas formas que adoptará la carretera como resultado de las modificaciones en el trazo. Dadas estas condiciones, las medidas de limpieza y reparación para las cunetas del lado derecho se prevén sólo como parte del mantenimiento rutinario.

Debido a que se mantendrá la condición de corte en las secciones de la carretera, las cunetas cumplirán la misma función que las existentes y por ello se ha decidido mantener su misma sección geométrica, además de que se ha comprobado su buen funcionamiento y conservación durante el trabajo de campo.

Por tal razón, se ha procedido a verificar si dicha sección es capaz de transportar el caudal captado por las cunetas. Para ello se ha calculado en primer lugar la capacidad máxima de conducción de las alcantarillas y en segundo lugar se ha calculado el caudal que dichas cunetas transportarían durante una avenida de 25 años de período de retorno. Los resultados fueron positivos

Dado que las cunetas del lado izquierdo presentan las mismas características geométricas que las del lado derecho y, además, trabajan

en condiciones más favorables, se asume entonces que estas cunetas también cumplen con la capacidad de conducción.

## **1.7. ESTUDIO DE SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL**

El proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera ha reducido el riesgo de accidentes al mejorar la geometría de los elementos de los alineamientos horizontales y verticales, y también al aumentar una berma y un carril de ascenso. Sin embargo siempre es imprescindible realizar una correcta señalización horizontal y vertical para reglamentar, prevenir e informar a los usuarios de la carretera.

La carretera “Héroes de la Breña” es una de las vías más importantes del país y esta en una zona de morfología muy accidentada. La continua presencia de curvas, puentes, túneles, zonas de derrumbe, etc obligan al proyectista a colocar en la vía casi consecutivamente señales informativas, preventivas y reglamentarias.

En el Estudio de Señalización y Seguridad Vial se abordó los aspectos siguientes:

- Señalización vertical que comprende las Señales de prevención, reglamentación y de información.

- Señalización Horizontal o marcas en el pavimento.

- Dispositivos de Seguridad Vial: guardavías, postes delineadores y tachas bidireccionales.

## **1.8. DISEÑO DE PAVIMENTOS**

En base a la información del estudio de suelos y la evaluación del pavimento existente se ha abordado el diseño del pavimento.

### **1.8.1. METODOS DE DISEÑO**

En el presente estudio se han empleado los métodos de diseño para pavimentos flexibles de la AASHTO y el del Instituto del Asfalto de Estados Unidos, los cuales se reseñan a continuación.

## **RESEÑA DEL METODO DE DISEÑO AASHTO**

El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), versión 1993, establece que la estructura de un pavimento debe satisfacer un determinado Número Estructural, el cuál se calcula en función: a) El tráfico que transcurrirá por la vía, durante un determinado número de años (período de diseño); b) La resistencia del suelo que soportará al pavimento; y, c) Los niveles de serviciabilidad deseados para la vía, tanto al inicio como al final de su vida de servicio.

Adicionalmente, deben considerarse determinados parámetros estadísticos, que funcionan como factores de seguridad que garantizan que la solución obtenida cumpla con un determinado nivel de confianza.

Para diseñar el refuerzo, para cada uno de los tres casos a desarrollar: 10 años, 20 años y refuerzo a los 10 años para un período adicional de 10 años, en primer lugar se debe encontrar el Número Estructural efectivo del pavimento existente. La diferencia entre el Número Estructural Total requerido (SN req) y el Número Estructural efectivo (SN eff), será el Número Estructural del refuerzo (SN ref).

## **RESEÑA DEL METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO**

En este procedimiento de diseño, la estructura del pavimento es considerada como un sistema elástico de capas múltiples. El material en cada una de las capas se caracteriza por su modulo de elasticidad. La subrasante es la capa subyacente más baja y es asumida infinita en el sentido vertical de arriba hacia abajo y en dirección horizontal; las otras capas de un espesor finito, se asumen infinitas hasta cierto punto en el sentido horizontal. Una continuidad o fricción total, es asumida en la unión entre cada una de las capas para efecto de diseño.

En la metodología adoptada por este método, las cargas sobre la superficie del pavimento producen dos esfuerzos de tensión que son críticos para propósitos del diseño:

- Esfuerzo de tensión horizontal  $E_t$ , en el fondo de la capa asfáltica mas

Profunda.

- Esfuerzo de comprensión vertical  $E_c$ , en la superficie de la Subrasante.

## **ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

La estructura será afectada por los trabajos de corte que se realizarán para la construcción del carril de ascenso. Para la rehabilitación se plantean dos alternativas:

Alternativa 1, considerando una capa asfáltica nivelante y una carpeta de rodadura.

Alternativa 2, considerando una operación de fresado para la nivelación de la superficie asfáltica del pavimento y la colocación de una nueva carpeta asfáltica.

### **1.9. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

El presente estudio tiene como propósito el analizar y proponer alternativas viables que permitan evitar o minimizar los impactos negativos que las labores de construcción en la rehabilitación la carretera : Cocachacra - Matucana, puedan causar en el medio ambiente, dentro de un marco legal que sustenta este tipo de estudios a nivel general e institucional.

Para la elaboración del estudio se ha seguido los lineamientos planteados en el Manual Ambiental para el Diseño y Construcción de Vías, publicado por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, y además Guía de Costos Ambientales y Guía de Informe de Supervisión Ambiental elaborados por la Unidad Especializada de Impacto Ambiental del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

#### **1.9.1. IMPACTO AMBIENTAL EN LA ETAPA DE LA REHABILITACION**

Por tratarse de obras de rehabilitación de una carretera existente, se ha tenido la oportunidad de observar directamente los puntos en que existen problemas de inestabilidad de taludes, deficiencias de drenaje, quebradas activas durante el periodo de lluvias etc.

Durante esta etapa se presentarán algunos impactos negativos, siendo estos entre otros los siguientes:

La calidad del aire se verá afectada por el aumento de niveles de inmisión, residuos de combustión incompleta de hidrocarburos debido al constante tránsito de vehículos, maquinaria pesada, compresoras y otros, además de partículas en suspensión debido a movimientos de tierra, explotación de canteras, etc.

Perdida de suelos debido a la construcción de trochas y vías de acceso, explotación de canteras, implementación de botaderos, aumento de erosión en áreas de corte de talud por pérdida de cobertura vegetal.

Perdida de calidad de agua por agentes contaminantes como, combustible, lubricantes y finos de cobertura vegetal.

Destrucción directa de flora y fauna.

Cambios en los procesos migratorios, alteraciones en la accesibilidad y modificación y sistema de vida tradicional de las comunidades.

### **1.9.2. IMPACTOS AMBIENTALES EN LA ETAPA DE LA VIDA UTIL DE LA VIA**

En la segunda etapa de operación y vida útil de la vía se deberá concretar las mejoras en el servicio tales como una mayor comodidad y seguridad para el usuario, prolongación de la vida útil de la flota vehicular como consecuencia directa de las considerables reducciones en el consumo de combustible y el tiempo de viaje y una adecuada señalización vial, lo que conllevaría a un incremento del turismo respectivo. En general un desarrollo regional con la consecuente elevación de la calidad de vida del poblador de la región.

### **1.9.3. MEDIDAS DE MITIGACION EN LA ETAPA DE CONSTRUCCION DEL PROYECTO**

Las medidas de mitigación de los impactos negativos en la etapa de construcción que se deberán implementar, se presentan a continuación:

Apoyo de los Organismos del Estado. Protección de las laderas contra la erosión mediante un plan de reforestación e impedir la caza furtiva.

Construcción y manejo de campamento. Racionalizar el uso de espacios destinados a las construcciones provisionales

Manejo de lubricantes y aceites. Se han hecho recomendaciones con la finalidad de evitar el vertido de aceites y grasas durante la limpieza de motores.

Mantenimiento de Canteras.

Guardar la capa superficial de material orgánico retirado de las canteras, para que al final de la obra, pueda volver a cubrirse la cantera con dicho material para facilitar la regeneración de la vegetación, en las canteras que tengan cubierta vegetal.

En las canteras de playa de río, la explotación deberá ser controlada, evitando abrir nuevos cauces, respetando la morfología original.

Protección de Taludes.

Mantenimiento de la diversidad de los cauces.

Control de ruidos.

Cuidado en el transporte de materiales

Protección de Flora y Fauna.

Programa de reforestación.

Uso de la mano de obra local (de la zona de trabajo).

Utilización del Programa de Educación Ambiental.

Acciones compensatorias con la propiedad afectada de terceros.

Ubicación de planta de asfalto según requisitos especificados. La instalación de la planta de asfalto deberá cumplir con los requisitos especificados en el estudio de Impacto Ambiental.

#### **1.9.4. MEDIDAS DE MITIGACION EN LA ETAPA DE LA VIDA UTIL DE LA VIA**

Las medidas de carácter técnico y normativo a implementarse son:

Ejecutar tareas de mantenimiento rutinario y de emergencia, al término de los cuales llevar a botaderos el material excedente del mantenimiento y hacer limpieza protegiendo la flora y fauna.

El SINMAC en convenio con la Policía de Control de Carreteras deberá realizar campañas de educación vial con los usuarios. Asimismo tomar acciones conjuntas para evitar altas velocidades, sobrecarga de los vehículos, el transporte de sustancias peligrosas sin la debida seguridad, el transporte de pasajeros en carrocerías de baranda.

### **1.10. EVALUACION ECONOMICA**

#### **1.10.1. INDICADORES DE RENTABILIDAD**

##### **EVALUACION SOCIOECONOMICA**

Se ha realizado la evaluación social del proyecto, en la cual se analizan las relaciones entre costos y beneficios a precios sociales para una condición incremental de la situación con proyecto con respecto a la situación sin proyecto. Esta evaluación mide el aporte neto de un proyecto al bienestar nacional.

Se toma entonces como costos aquellos que son generados por el mantenimiento periódico y rutinario, los cuales son mayores para la situación con proyecto debido a que se tiene una vía con un mayor ancho.

Los beneficios son generados a partir del ahorro en el costo vehicular dado que como se tiene una mayor velocidad directriz en la situación con proyecto, entonces estos costos son menores con respecto a la situación sin proyecto.

El Valor Actual Neto (VAN) asciende a US\$ 19'012,697. Asimismo, se ha determinado la Tasa Interna de Retorno (TIR), equivalente a 40.60%. Dado que el VAN es mayor a cero y el TIR es mayor a 14%, se deduce que esta inversión es rentable.

## **EVALUACION PRIVADA**

La Evaluación Privada evalúa la relación entre costos y beneficios a precios de mercado que se generarían de implementarse el proyecto. Esta evaluación mide la rentabilidad que le puede generar al inversionista privado.

Por tanto, los beneficios generados por el proyecto corresponden a aquellos provenientes del cobro de peajes.

Los costos del proyecto provienen de los programas de mantenimiento rutinario y periódico de la vía futura.

El VAN es igual a US \$ 28'055,709, valor mayor a cero. Asimismo, se tiene que el TIR corresponde a 43.75%, valor mayor a 12%. Se concluye entonces que el proyecto es rentable.

### **1.10.2. ANALISIS DE SENSIBILIDAD**

#### **EVALUACION SOCIOECONOMICA**

Para medir el grado de riesgo de la inversión se efectuó el Análisis de Sensibilidad, que mide, en sus diversas opciones, hasta que punto es rentable el proyecto al variar los precios de algunos variables inciertas; variaciones que permitan, aún así mantener beneficios por encima de la tasa de descuento social considerada para este proyecto del 14% y que presente rendimientos (VAN) positivos.

En este caso se tomaron como variables inciertas el flujo de vehículos dado que dicho estudio estuvo basado en un estudio anterior, en el cual no se ha participado. Se evaluó entonces su variación en un 10, 20 y 30%, valores de error altos. Otra variable tomada como incierta fue el incremento del costo vehicular dado que su análisis se realizó de manera sencilla. También se tomaron variaciones del 10, 20 y 30% de su valor original. En el siguiente cuadro se muestran los análisis de sensibilidad tomados para la evaluación de las variaciones del VAN y el TIR.



**Cuadro N° 1.10.1**  
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD - EVALUACIÓN SOCIAL**

VAN		INCREMENTO DEL COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR (%)				
19,012,697		1.10	1.00	0.90	0.80	0.70
INCREMENTO DEL FLUJO DE VEHÍCULOS (%)	1.10	24,702,456	21,722,106	18,741,756	15,761,407	12,781,057
	1.00	21,722,106	19,012,697	16,303,288	13,593,880	10,884,471
	0.90	18,741,756	16,303,288	13,864,821	11,426,353	8,987,885
	0.80	15,761,407	13,593,880	11,426,353	9,258,826	7,091,299
	0.70	12,781,057	10,884,471	8,987,885	7,091,299	5,194,713

TIR		INCREMENTO DEL COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR (%)				
0.41		1.10	1.00	0.90	0.80	0.70
INCREMENTO DEL FLUJO DE VEHÍCULOS (%)	1.10	0.479	0.441	0.403	0.364	0.325
	1.00	0.441	0.406	0.371	0.335	0.299
	0.90	0.403	0.371	0.339	0.307	0.274
	0.80	0.364	0.335	0.307	0.277	0.247
	0.70	0.325	0.299	0.274	0.247	0.220

Se observa entonces que aún las variaciones del 30% de ambos variables inciertas no afectan de manera tal que hagan el proyecto no rentable.

### EVALUACION PRIVADA

Para esta evaluación también se tomó como variable incierta el flujo de vehículos. Dado que la tarifa del peaje fue tomada a partir de un rango de valores recomendado, se ha decidido que este valor sea tomado como la segunda variable incierta. En el siguiente cuadro se muestra el análisis de sensibilidad realizado.

**Cuadro N° 1.10.2**  
**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD - EVALUACIÓN PRIVADA**

VAN		INCREMENTO DE LA TARIFA DE PEAJE (%)				
28,055,708.52		1.10	1.00	0.90	0.80	0.70
INCREMENTO DEL FLUJO DE VEHÍCULOS (%)	1.10	35,867,542.66	31,775,629.54	27,683,716.41	23,591,803.29	19,499,890.16
	1.00	31,775,629.54	28,055,708.52	24,335,787.49	20,615,866.47	16,895,945.45
	0.90	27,683,716.41	24,335,787.49	20,987,858.57	17,639,929.65	14,292,000.73
	0.80	23,591,803.29	20,615,866.47	17,639,929.65	14,663,992.83	11,688,056.02
	0.70	19,499,890.16	16,895,945.45	14,292,000.73	11,688,056.02	9,084,111.30

TIR		INCREMENTO DE LA TARIFA DE PEAJE (%)				
0.44		1.10	1.00	0.90	0.80	0.70
INCREMENTO DEL FLUJO DE VEHÍCULOS (%)	1.10	0.518	0.476	0.434	0.391	0.348
	1.00	0.476	0.438	0.399	0.360	0.320
	0.90	0.434	0.399	0.364	0.328	0.292
	0.80	0.391	0.360	0.328	0.296	0.263
	0.70	0.348	0.320	0.292	0.263	0.234

Igualmente, se tiene que para variaciones del 10, 20 y 30% del valor original de ambas variables, los indicadores económicos son positivos, por lo cual, se deduce que el proyecto sigue siendo rentable.

### **SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO**

El análisis de sostenibilidad tiene como objetivo determinar la capacidad del proyecto establecido para cubrir sus costos de inversión y los costos de operación y mantenimiento que se generan a lo largo de su horizonte de evaluación.<sup>1</sup>

Para ello, se ha analizado el flujo económico a precios de mercado y se ha identificado las fuentes de ingresos que permitan cubrir dichos costos año tras año.

Se tiene que el costo de inversión y el capital de trabajo del proyecto, sumas generadas en el año de construcción de la vía, deberá ser cubierto por el MTC que sería la entidad ejecutora, a través de recursos del estado.

Durante la vida útil del proyecto la fuente de ingresos que cubrirá los gastos generados va a provenir del cobro de peajes. En el flujo de caja se muestra que durante toda la vida útil del proyecto este valor es positivo, por lo cual, dicho ingreso cubre todos los gastos.

#### **1.11. PRESUPUESTO DE OBRA**

El presupuesto de obra asciende a la suma de US \$ 977,219.93, sin incluir el Impuesto General a las Ventas (IGV) y cuyo detalle por partida genérica son las que se indican a continuación:

<sup>1</sup> "Guía General de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública a nivel de Perfil"; MEF; Julio del 2003, pág. 64.

**PRESUPUESTO DE OBRA**

Proyecto : Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Cocachacra-Matucana del Km 55+000 al km 58+000

Provincia : HUAROCHIRI

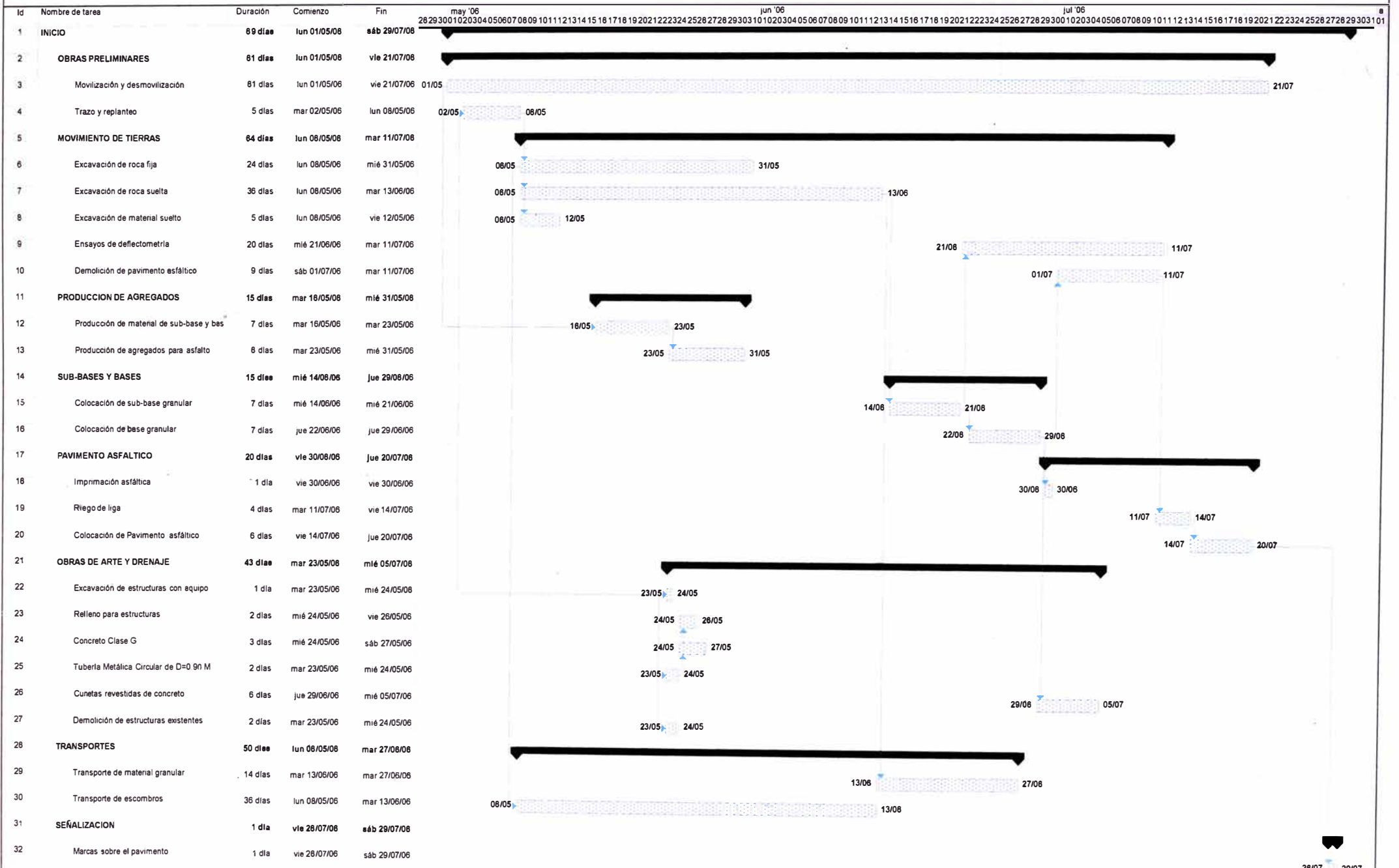
Dpto. : Lima

Item	Descripción	Und.	Metrado	P.U. (US \$)	P.T. (US \$)
<b>01.00</b>	<b>Obras Preliminares</b>				
01.01	Movilización y Desmovilización	glb	1.00	50,000.00	50,000.00
01.02	Trazo y Replanteo	km	3.00	349.80	1,049.40
	Subtotal				<b>51,049.40</b>
<b>02.00</b>	<b>Movimiento de Tierras</b>				
02.01	Excavación no clasificada para explanaciones	m3	35,658.46	4.64	165,455.25
02.02	Ensayos de Deflectometría	km	9.00	138.12	1,243.06
	SUB-TOTAL				<b>166,698.31</b>
<b>03.00</b>	<b>SUB-BASES Y BASES</b>				
03.01	SUB-BASE GRANULAR	m3	1,844.08	10.95	20,200.17
03.02	BASE GRANULAR	m3	1,844.08	11.62	21,435.70
	Subtotal				<b>41,635.87</b>
<b>04.00</b>	<b>Pavimento Asfáltico</b>				
04.01	Imprimación Asfáltica	m2	6,146.98	0.14	860.58
04.02	Riego de Liga	M2	23,632.78	0.11	2,599.61
04.03	Asfalto Líquido RC-250	lt	29,655.93	0.41	12,158.93
04.04	Pavimento de Concreto Asfáltico en Caliente	m3	2,208.20	46.81	103,366.71
04.05	Cemento Asfáltico	kg	317,606.95	0.23	73,049.60
04.06	Filler o Relleno Mineral	kg	116,593.58	0.10	11,659.36
04.07	Fresado de Carpeta Asfáltica E= 0.075 M	m2	21,600.00	0.22	4,752.00
	Subtotal				<b>208,446.79</b>
<b>05.00</b>	<b>Obras de Arte y Drenaje</b>				
05.01	Excavación de Estructuras con equipo	m3	81.65	5.12	418.05
05.02	Relleno para estructuras	m3	65.16	9.10	592.96
05.03	Concreto clase G	m3	48.00	129.61	6,221.28
05.04	Tubería Metálica Corrugada de 0.90 m de Diámetro	m	25.92	85.21	2,208.64
05.05	Cunetas Revestidas de Concreto	m3	536.00	155.66	83,433.76
05.06	Demolición de Estructuras Existentes	m3	40.00	36.73	1,469.20
	Subtotal				<b>94,343.89</b>
<b>06.00</b>	<b>Trasportes</b>				
06.01	Transporte de Material Granular entre 120m y 1000m	m3-km	9,550.61	1.32	12,606.81
06.02	Transporte de Material Granular para Distancia mayor a 1000m	m3-km	7,933.87	0.24	1,904.13
06.03	Transporte de Escombros	m3-km	358,821.11	0.26	93,293.49
	Subtotal				<b>107,804.43</b>
<b>07.00</b>	<b>Señalización y Seguridad Vial</b>				
07.01	Marcas sobre el Pavimento	m2	1,350.00	5.42	7,317.00
	Subtotal				<b>7,317.00</b>
COSTOS DIRECTO TOTAL					677,295.69
GASTOS GENERALES FIJOS (8.15%)					55,213.10
GASTOS GENERALES VARIABLES (26.13%)					176,981.57
UTILIDAD (10.00%)					67,729.57
<b>COSTO TOTAL (SIN IGV)</b>					<b>977,219.93</b>

**1.12. PROGRAMACION DE OBRA**

El cronograma de obra ha sido formulado para un plazo de ejecución de obra de 89 días calendario.

CRONOGRAMA DE OBRA "REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA COCACHACRA - MATUCANA KM 55+000 - KM 58+000"



Proyecto: Proyecto Carretera Coc  
 Fecha: dom 25/06/06

Tarea resumida: [Barra con puntos] Tarea resumida  
 Progreso resumido: [Barra con puntos] Progreso resumido  
 Tareas externas: [Barra sólida] Tareas externas  
 Agrupar por síntesis: [Barra con puntos] Agrupar por síntesis  
 Resumen: [Barra con puntos] Resumen  
 Hito resumido: [Barra con punto] Hito resumido  
 División: [Barra con punto] División  
 Resumen del proyecto: [Barra con puntos] Resumen del proyecto  
 Fecha límite: [Barra con punto] Fecha límite

## CAPITULO II ESTUDIO GEOTECNICO

### 2.1. ENSAYOS Y MUESTREO

Para el estudio de los suelos se realizaron trabajos de exploración de campo como la excavación de calicatas, extracción de muestras representativas de los estratos y determinación de características físicas de los materiales, lo cual permitió describir el tipo de suelo predominante, realizar ensayos de laboratorio para determinar las características físico-mecánicas requeridas para clasificar correctamente los suelos y realizar el análisis de capacidad de soporte del terreno y diseño del pavimento.

Con las muestras de suelo que se obtuvieron de las excavaciones se realizaron ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, estándar y de compactación, con los cuales se identificaron los suelos y se determinaron sus propiedades de capacidad de soporte.

Los ensayos estándar realizados fueron:

Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM C-136
Límite Líquido y Límite Plástico	ASTM D-4318
Contenido de Humedad	ASTM D-2216

Los ensayos de compactación, consistieron en:

Próctor Modificado	ASTM D-1557
Relación de Soporte de California (C.B.R.)	ASTM D-1883

Se tomaron valores porcentuales de C.B.R. para 100% y 95% de la máxima densidad seca para cada material, determinándose además, de la misma curva densidad-CBR, el valor de soporte correspondiente a la densidad de campo.

### 2.1.1. CLASIFICACION DE SUELOS

La clasificación de suelos es el indicador de las propiedades físico - mecánicas que tienen los suelos. La clasificación que mejor describe y determina las propiedades de un suelo a usarse como subrasante es la clasificación de AASHTO; las primeras variables son: la granulometría y la plasticidad. En términos generales, un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

**Grava:** de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2 mm)

**Arena Gruesa:** de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 ( 0.425 mm)

**Arena Fina:** de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz No. 200 ( 0.075 mm)

**Limos y Arcillas:** tamaños menores de 0.075 mm

Conforme AASHTO, un suelo fino es el que tiene más del 35% que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm), los cuales se clasifican como A-4, A-5, A-6 o A-7. Dos suelos considerados finos que tengan granulometrías similares, pueden llegar a tener propiedades diferentes dependiendo de su plasticidad, cualidad que se analiza en el suelo que pasa el tamiz No. 40; dichas propiedades de plasticidad, se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son:

**Límite Líquido o LL:** Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido.

**Límite Plástico o LP:** Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo.

**Índice Plástico o IP:** es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

De lo descrito anteriormente, se concluye que para los suelos gruesos, la propiedad más importante es la granulometría y para los suelos finos son los límites de Atterberg.



La relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado, es una situación muy importante que se requiere al analizar las propiedades del mismo. Para el efecto se desarrolla los ensayos de Proctor que permite determinar la humedad óptima o sea la humedad ideal en la cual el suelo llega a su densidad máxima y a su vez alcanza sus mejores propiedades mecánicas. El valor de esta humedad óptima depende directamente de la cantidad de energía de compactación a la que se ha sometido el suelo; al ser mayor la energía de compactación, la humedad óptima será menor y la densidad seca será mayor.

### 2.1.2. ENSAYOS DE SUELOS

Existen diferentes métodos para medir la resistencia de los suelos de la subrasante que han sido sometidos a cargas dinámicas de tránsito, entre los cuales están los siguientes:

Relación de Valor Soporte de California (CBR, California Bearing Ratio)  
Módulo de resiliencia (Mr).

#### a) VALOR SOPORTE CALIFORNIA (CBR, AASHTO T-193)

En este ensayo, se mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3 plg<sup>2</sup>. de área en una muestra de suelo de 6 plg. (15 cm) de diámetro y 5 plg. (12.5 cm) de altura, a una velocidad de 1.27 mm/min (0.5 plg./min). La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón, la cual es piedra partida bien graduada; la definición del CBR es:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en un suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5mm en la muestra patrón}}$$

Relación que nos da un valor que se indica en porcentaje, el cual puede ser muy variable dependiendo de los suelos analizados; 2 a 4 % en arcillas plásticas hasta un 70 % o más en materiales granulares de buena calidad.

Todos los suelos, tanto finos como gruesos o sus mezclas, se compactan a diferentes contenidos de humedad tanto arriba como bajo de su humedad óptima. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sumergen en agua durante un período mínimo de 96 horas, antes de proceder a su ensayo, con el objeto de simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los CBR de los suelos bajo las condiciones más críticas. El método del CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas de tránsito.

#### **b) MODULO DE RESILENCIA ( $M_R$ )**

Este ensayo se desarrolló con el objeto de analizar la propiedad que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas como las ruedas de tránsito. Una rueda al moverse transmite fuerzas dinámicas a todas las capas de pavimento incluyendo a la subrasante y como reacción a estas fuerzas, cada capa de pavimento se deforma; el resultado de estas fuerzas de reacción varia desde un valor muy bajo hasta su máximo, en un período muy breve, ya que está en función de la velocidad y peso del vehículo.

## **2.2. SUBRASANTE**

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.



El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

La subrasante está formada por material granular de forma angular a subangular, gravas limosas y arcillosas. El límite líquido varía de 17 a 26%, índice plástico de 2.84 a 8.16%. El grado de compactación de esta capa varía de 89 a 95 % y CBR de 28 a 48%, correspondiendo el mínimo valor de CBR a una grava arcillosa localizada en el km 58+000. La humedad óptima de compactación varía de 5.2 a 7.2%.

En el cuadro 2.1 se muestra el Resumen de Ensayos de Suelos. En el cuadro 2.2 se muestra un resumen con los resultados de densidades secas máximas, grado de compactación y CBR de la subrasante.

En el Anexo N° 2 se presentan los ensayos de suelos.

### 2.3. PERFIL ESTATIGRAFICO

De acuerdo a las características de los suelos que integran la estructura del camino las propiedades de los suelos son muy similares y por ser la longitud del tramo solo de 3 Km no se sectorizara este.

Km 53+000 al 57+000	Gravas limosas y arcillosas bien y mal graduadas.
Km 57+000 al 58+000	Grava bien graduada, (GW).

En el Plano GG-01 se muestra el Perfil Estratigráfico de la zona de estudio.

**CUADRO Nº 2.1  
RESUMEN DE ENSAYOS DE SUELOS**

TRAMO: COCACHACRA-MATUCANA  
DEL km 55+000 AL km 58+000

Nº CALICATA	UBICACIÓN	LADO	Nº MUESTRA	PROFUNDIDAD	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL								
					LIMITE LIQUIDO	INDICE PLASTICO	% HUMEDAD NATURAL	% MATERIAL QUE PASA				CLASIFICACION	
								MALLA # 4	MALLA #10	MALLA # 40	MALLA # 200	AASHTO	SUCS
C1	57+220	I	M-1	0.2-1.20	20,7	17,7		45,8	36,8	25	14	A-1-a	GM
35	55+300	I	1	0.20-0.40	19,54	2,96	3,39	37,7	27,2	15,3	8,2	A-1-a	GP-GM
			2	0.40-1.50	22,31	4,79	5,19	34,8	28	12,2	6,3	A-1-a	GP-GC
36	55+860	D	1	0.20-0.45	20,04	5,36	2,37	24,7	17,2	9,7	5,5	A-1-a	GP-GM
			2	0.45-1.50	20,95	2,95	4,33	26,2	18,9	10,8	6,3	A-1-a	GP-GM
37	56+570	I	1	0.10-0.30	17,01	2,84	4,45	14,4	8,8	5,2	3,2	A-1-a	GW
			2	0.30-1.50	19,23	4,73	3,18	40,8	28,2	15,6	9,8	A-1-a	GP-GC
38	57+000	I	1	0.10-0.35	17,92	3,41	2,36	24,2	15,6	8,4	4,8	A-1-a	GP
			2	0.35-1.50	18,64	4,36	2,83	18	11,2	5,5	3,1	A-1-a	GW
39	57+500	D	1	0.10-0.45	19,97	3,36	3,59	39,6	29,9	19,6	13,1	A-1-a	GM
			2	0.45-1.50	19,4	3,03	2,9	14	8,7	4,2	2,3	A-1-a	GW
40	57+910	I	1	0.15-0.40	19,38	2,85	2,69	22,3	15,1	8,5	4,8	A-1-a	GP
			2	0.40-1.50	25,59	8,16	5,68	33	26,2	18,8	13,4	A-2-4	GC

Nota: Calicata Nº C1 tomada en la visita a campo

**CUADRO N° 2.2**  
**RESUMEN DE ENSAYOS CBR**

TRAMO: COCACHACRA-MATUCANA  
DEL km 55+000 AL km 58+000

Calicata	Progresiva	Profundidad	SUCS	AASHTO	Proctor Modificado		comp.campo %	CBR					
					MDS	OCH		Densidad campo		95%		100%	
								0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
C1	57+220	0.2-1.2	GM	A-1-a	2,234	5,6				53		76	
35	55+300	0.40-1.50	GP-GM	A-1-a	2,25	6,1	93	28	<b>36</b>	34	<b>44</b>	59	71
36	55+860	0.45-1.50	GP-GM	A-1-a	2,29	6,2	94	<b>42</b>	<b>48</b>	44	54	88	98
37	56+570	0.30-1.50	GP-GC	A-1-a	2,25	7,2	95	27	<b>35</b>	27	35	52	61
38	57+000	0.35-1.50	GW	A-1-a	2,26	5,2	89	35	<b>43</b>	55	68	74	88
39	57+500	0.45-1.50	GP-GW	A-1-a	2,27	5,2	90	40	<b>48</b>	59	69	77	89
40	58+000	0.40-1.50	GC	A-2-4	2,26	7,2	95	23	<b>28</b>	22	27	46	49

Nota: Calicata N° C1 tomada en la visita a campo

# PERFIL ESTRATIGRAFICO

## TRAMO KM 55+000 AL 58+000-Cocachacra-Matucana

**C - 35**  
55+300

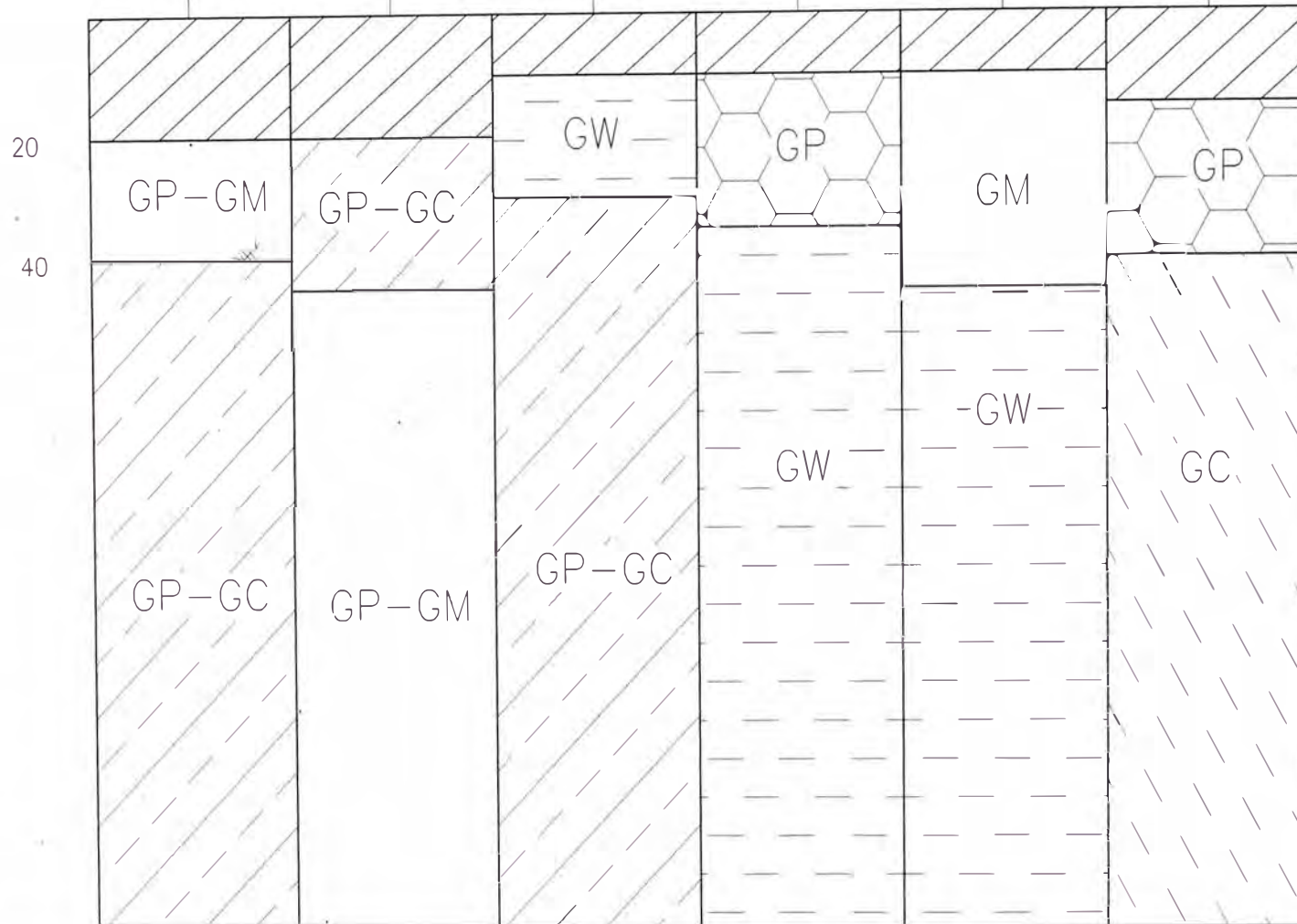
**C - 36**  
55+860

**C - 37**  
56+570

**C - 38**  
57+000

**C - 39**  
57+500

**C - 40**  
57+910



PROYECTISTA :	REV. N°:	FECHA:	DESCRIPCION:	<b>Estudio del Mejoramiento y Rehabilitación de la Carretera Cocachacra - Matucana</b>	PLANO :	<b>PERFIL ESTRATIGRAFICO</b>	APROBADO POR JEFE DE PROYECTO:	REVISADO POR JEFE DE ZONA:	ESCALA:	FECHA:	DIBUJANTE:
				<b>TRAMO: KM 55 - 58. COCACHACRA - MATUCANA</b>					S/E	MAR 2006	
							DESARROLLADO:	PROCESADO:	PLANO N°		REV. N°
									GG-01		

## 2.4. DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO

En el cuadro 2.3 y figura 2.1 se muestra un resumen del cálculo para determinar el percentil. Para lo cual el CBR utilizado ha sido calculado con la densidad de campo del suelo y para una penetración de 0.2". Debido a que este valor resulto mayor que el valor del ensayo con penetración 0.1".

Para la determinación del valor representativo de la capacidad de soporte del suelo se ha utilizado el criterio del Instituto del Asfalto (USA), señalado en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 2.1

NIVEL DE TRAFICO EAL	PERCENTILL DE DISEÑO %
10 <sup>4</sup> o menor	60
Entre 10 <sup>4</sup> y 10 <sup>6</sup>	75
10 <sup>6</sup> o más	87.5

Para este caso el nivel de tráfico (EAL) es de 10<sup>7</sup> , por lo que el percentil de diseño es 87.5%, con lo cual el grafico nos da un valor del Modulo de Resilencia de 15,365.9 psi.

**CUADRO N° 2.3  
MODULOS RESILIENTES - PERCENTIL**

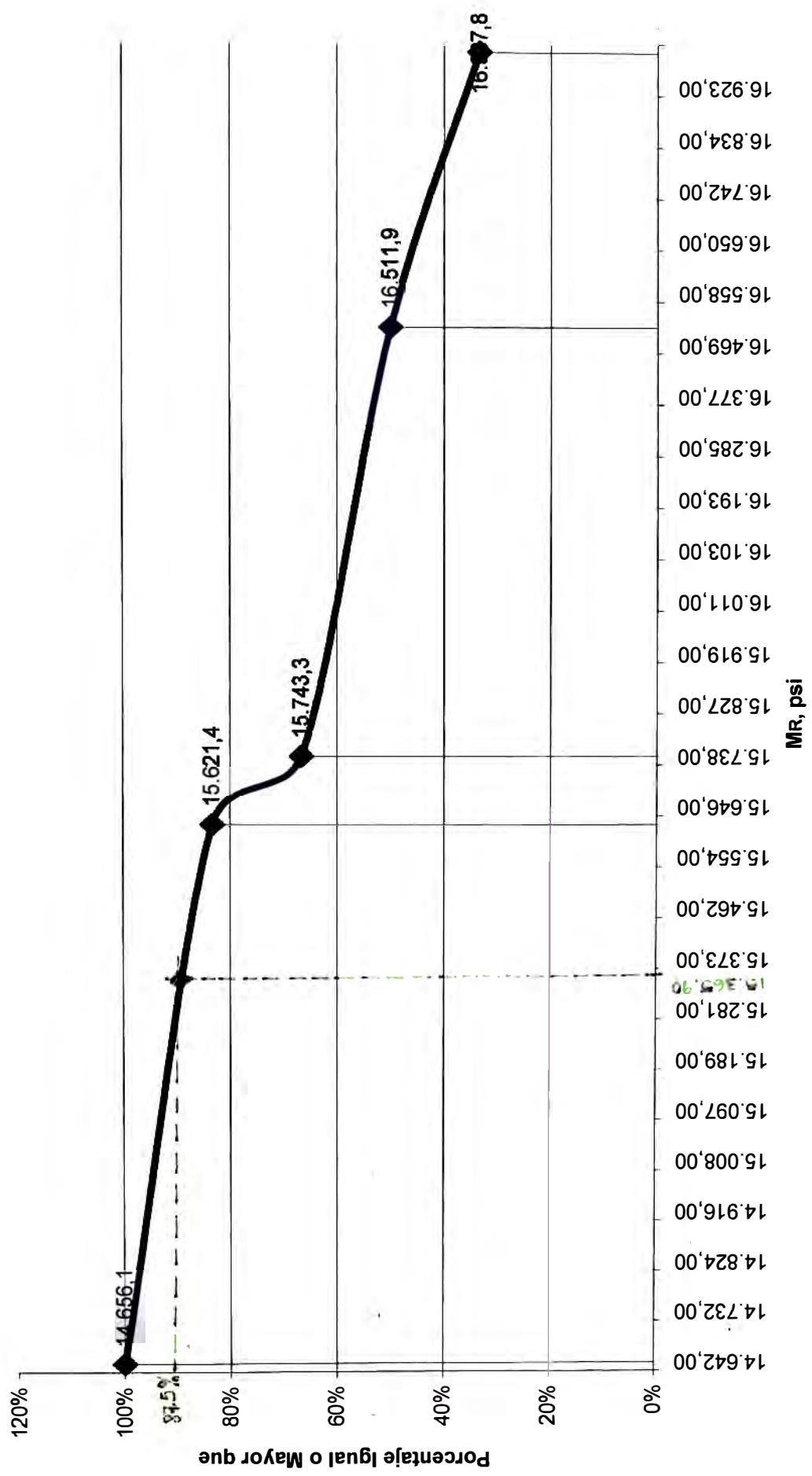
TRAMO: COCACHACRA-MATUCANA  
DEL km 55+000 AL km 58+000

CALICATA	PROGRESIVA	PROFUND. (m)	CLASIFICACION		Proctor Modificado		COMPACT. (%)	CBR (%)	MR (psi)	MR Ordenado (psi)	N° de Valores ≥ Mr	% de Valores ≥
			SUCS	AASHTO	MDS (g/cm <sup>3</sup> )	OCH (%)						
35	55+300	0.40-1.50	GP-GM	A-1-a	2,25	6,1	93	36	15.743,3			
36	55+860	0.45-1.50	GP-GM	A-1-a	2,29	6,2	94	48	16.987,8	16.987,8	2,0	33%
37	56+570	0.30-1.50	GP-GC	A-1-a	2,25	7,2	95	35	15.621,4	16.511,9	3,0	50%
38	57+000	0.35-1.50	GW	A-1-a	2,26	5,2	89	43	16.511,9	15.743,3	4,0	67%
39	57+500	0.45-1.50	GP-GW	A-1-a	2,27	5,2	90	48	16.987,8	15.621,4	5,0	83%
40	58+000	0.40-1.50	GC	A-2-4	2,26	7,2	95	28	14.656,1	14.656,1	6,0	100%
<b>Mr de Diseño</b>									<b>16.084,7</b>	<b>15.365,9</b>		
									(Promedio) (Percentil)			

#### NOTAS EXPLICATIVAS

- (1) PORCENTAJE DE COMPACTACION QUE CORRESPONDE A LA DENSIDAD DE CAMPO
- (2) CBR CALCULADO PARA LA DENSIDAD DE CAMPO DEL SUELO Y PARA UNA PENETRACION DE 0.2"
- (3) MODULO DE RESILIENCIA CALCULADO USANDO LOS VALORES DE CBR Y LAS ECUACIONES DE CORRELACION OBTENIDAS EN EL BOLETIN TECNICO "CAMINOS" DEL INSTITUTO PANAMERICANO DE CARRETERAS, SEGUNDO TRIMESTRE 1998 (PUBLICACION N° FHWA-PL-98-029).

**GRAFICO 2.1**  
**DETERMINACION DEL PERCENTIL**  
**MR vs %**



## **CAPITULO III EVALUACION DE PAVIMENTOS**

### **3.1. EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO**

El estudio de suelos y evaluación de pavimento, permitieron conocer la condición de la vía, indispensables para la realización del diseño y proposición de las alternativas de rehabilitación.

#### **3.1.1. EVALUACIÓN DE SUELOS**

Los suelos que forman la estructura de pavimento están constituidos básicamente por carpeta y base, sin que se haya detectado capa de sub-base.

Los suelos que forman la base granular están formados principalmente por gravas bien y mal graduadas con pocos finos limosos y arcillosos, apoyados sobre una subrasante formada igualmente por material granular de características similares al de base, pero con contenido de finos y plasticidad ligeramente mayor. El espesor de la capa de base es variable predominando los valores entre 20 y 30 cm.

El CBR determinado a la densidad in situ es variable, de 28 a 48%. Sin embargo, estos valores se consideran representativos de una subrasante de buena calidad, proporcionando un soporte adecuado al pavimento.

#### **3.1.2. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

El espesor total del pavimento es de 35 cm: 20 cm de base y 15 cm de carpeta. Con un CBR promedio correspondiente a la densidad de campo de 39%.



El pavimento se encuentra en buenas condiciones. Debido a los trabajos de corte para la ampliación de la vía, este sufrirá daños por tal motivo se realizara los trabajos de rehabilitación y mejoramiento.

## **CAPITULO IV DISEÑO DE PAVIMENTOS**

### **4.1. METODO DE DISEÑO**

En este capítulo, se describen los procedimientos para el diseño de pavimentos. El concepto del diseño de pavimentos, es determinar primero el espesor de la estructura basado en el nivel de tránsito como en las propiedades de los materiales; el período de desempeño de un pavimento esta en función de la pérdida de serviciabilidad.

#### **4.1.1. RESEÑA DEL METODO DE DISEÑO AASHTO**

El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), versión 1993, establece que la estructura de un pavimento debe satisfacer un determinado Número Estructural, el cuál se calcula en función:

- a) El tráfico que transcurrirá por la vía, durante un determinado número de años (período de diseño);
- b) La resistencia del suelo que soportará al pavimento; y,
- c) Los niveles de serviciabilidad deseados para la vía, tanto al inicio como al final de su vida de servicio.

Adicionalmente, deben considerarse determinados parámetros estadísticos, que funcionan como factores de seguridad que garantizan que la solución obtenida cumple con un determinado nivel de confianza.

Una vez determinado el Número Estructural requerido, la estructuración del pavimento se realiza por tanteos, asignando dimensiones a cada una de las capas consideradas, y, calculando en función a estas dimensiones y a la calidad de los materiales empleados – expresada

mediante un coeficiente estructural los números estructurales parciales, los que sumados deben satisfacer el valor total requerido.

Los espesores de las capas finales deben cumplir con determinados valores mínimos, por razones constructivas, por razones de tráfico y por razones de tipo estructural.

Dentro de las variables a considerar en este método están:

#### **a) Variables en función al tiempo**

Existen dos variables que deben tomarse en cuenta y son:

- El periodo de diseño.
- La vida útil del pavimento.

**El periodo de diseño**, es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionalmente.

**La vida útil del pavimento**, es el tiempo que transcurre desde la construcción del mismo y el momento que alcanza su mínimo de serviciabilidad. El periodo de diseño puede ser el mismo que la vida útil del pavimento; en los casos que se consideren reconstrucciones ó rehabilitaciones a largo tiempo, el periodo de diseño comprende varios periodos de vida útil que son: el del pavimento original y el de las rehabilitaciones.

#### **b) Variables en función del tránsito**

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso en un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto esta compuesto de vehículos de diferentes pesos y número de ejes y que para efectos del cálculo se les transforma en

un número de ejes equivalentes de 80 KN, que se denomina EAL ( ejes equivalentes)

### c) Confiabilidad (R)

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones.

**CUADRO N° 4.1**  
**CONFIABILIDAD**

Clasificación General	Nivel de Confiabilidad Recomendados	
	Urbano	Rural
Autopistas y Carreteras Interestatales	85.0 – 99.9	80.0 – 99.9
Otras arterias principales	80.0 – 99.0	75.0 – 95.0
Colectoras	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

Para el diseño por etapas se considera para cada etapa una confiabilidad de  $R^{1/n}$ , donde "n" es el número de etapas

### d) Serviciabilidad

La serviciabilidad es la capacidad que tiene el pavimento de servir al tipo y al volumen de tránsito para el cual fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto). Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y final. La inicial ( $P_o$ ) es función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera, la final o terminal ( $P_t$ ) va en función de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del diseñador, los valores que se recomiendan por experiencia son:

**Serviciabilidad Inicial:**

$P_o = 4.5$  para pavimentos rígidos.

$P_o = 4.2$  para pavimentos flexibles.

**Serviciabilidad Final:**

$P_f = 2.5$  o más para caminos principales.

$P_f = 2.0$  para caminos de tránsito menos.

**e) Subrasante**

Es la capa en que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la subrasante, se conoce con el Modulo de Resilencia, es una medida de las propiedades elásticas de los suelos, el cual muestra en mejor forma el comportamiento y lo que sucede debajo del pavimento en lo que respecta a tensiones y deformaciones.

**f) Drenaje**

La humedad es una característica en los pavimentos, ya que esta reviste gran importancia sobre las propiedades de los materiales que forman la estructura de un pavimento y sobre el comportamiento de los mismos. El drenaje de agua, debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. EL exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipan con el tiempo para ocasionar daño a las estructuras del pavimento. El Coeficiente de Drenaje Toma en cuenta los efectos de los distintos niveles de eficiencia del drenaje en el comportamiento de la estructura:

**CUADRO N° 4.2**  
**COEFICIENTES DE DRENAJE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES**  
**(m<sub>x</sub>)**

Calidad del Drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto 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	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

#### 4.1.1.1. DETERMINACION DE ESPESORES

Para el cálculo del Número Estructural Total (SN), que debe satisfacer la estructura del pavimento, el método proporciona la siguiente expresión:

$$\log(N_8) = Z_R * S_0 + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{G_t}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log M_R - 8.07$$

donde,  $G_t = \log\left(\frac{P_i - P_t}{4.2 - 1.5}\right)$

Además

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

$P_i$ : Serviciabilidad inicial.

$P_t$ : Serviciabilidad final.

$M_R$ : Módulo de Resiliencia de la subrasante.

$Z_R$ : Desviación Standard Normal

$S_0$ : Desviación Standard Total

SN : Número Estructural

Esta fórmula se puede resolver en forma manual, lo cual resulta bastante complicado. El número estructural se puede determinar mediante la figura presentada en el Anexo 3 de una manera más práctica.

La fórmula general que relaciona el número estructural (SN) con los espesores de capa es el siguiente:

$$SN_T = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

$SN_T$	:	Número Estructural Total requerido
$a_1, a_2, a_3$	:	Coefficientes estructurales de los materiales
$m_2, m_3$	:	Coefficiente de drenaje de materiales granulares
$D_1, D_2, D_3$	:	Espesores asumidos de las capas

Esta fórmula tiene muchas soluciones, en función de las diferentes combinaciones de espesores; no obstante, existen normativas que tienden a dar espesores de capas que deben ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes, por efecto de las capas superiores de mayor resistencia. Las normas que se deben considerar son las siguientes:

#### a) Estabilidad y factibilidad de la construcción

En la práctica no deben colocarse capas con espesores menores que los mínimos requeridos, ya que las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el objeto de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones para absorber los efectos que producen los suelos expansivos.

Cuando se utilicen como capa de rodadura tratamientos superficiales, no se debe considerar aporte estructural de esta capa; pero tiene un gran efecto en la base y la subbase ya que impermeabiliza la superficie y no permite la entrada de agua a la estructura de pavimento.

En la siguiente tabla se dan valores de los espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito.

**CUADRO N° 4.3**  
**ESPEORES MINIMOS SUGERIDOS**

<b>EAL</b>	<b>Capa Asfáltica</b>	<b>Base Granular</b>
Menos de 50,000	3.0 cm	10.0 cm
50,000 – 150,000	5.0 cm	10.0 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10.0 cm
500,000 – 2'000,000	7.5 cm	15.0 cm
2'000,000 – 7'000,000	9.0 cm	15.0 cm
Más de 7'000,000	10.0 cm	15.0 cm

Fuente: Guía para diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993.

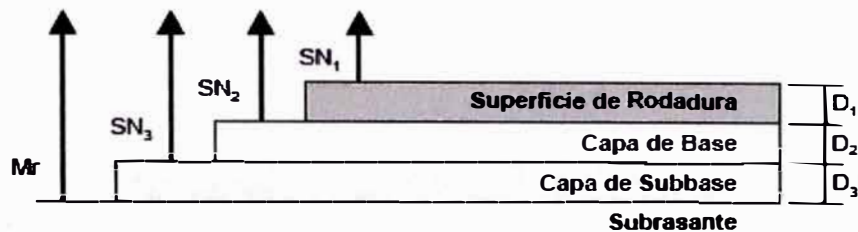
Tales mínimos dependen de las prácticas locales y está condicionado el usarlos; diseñadores pueden encontrar necesario modificar hacia arriba los espesores mínimos por su experiencia obtenida; estos valores son sugeridos y se considera su uso tomando en cuenta que son capas asfálticas sobre bases granulares sin tratar.

**b) Espesores Máximos en función del Número Estructural**

El objeto de este concepto, está basado en que las capas granulares no tratadas, deben de estar perfectamente protegidas de presiones verticales excesivas, que lleguen a producir deformaciones permanentes. El proceso se indica en la figura 4.1.



Figura 4.1



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1.993

$D > SN_1 / a_1$  (valor mínimo requerido para la capa asfáltica)

$D_1^* \geq SN_1 / a_1$  (valor real que debe ser usado)

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

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

- $a$ ,  $D$ ,  $m$  y  $SN$  están definidos en el texto y son los valores máximos requeridos.
- El asterisco "\*" en  $D$  ó  $SN$  indica y representa el valor actualmente usado, que debe ser igual ó mayor al valor requerido.

Se adopta un espesor  $D_1^*$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es:

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^*$$

Para determinar el espesor máximo de la base se entra al ábaco "Diseño de Número Estructural" que se presenta en los anexo, con el  $M_R$  de la subbase y entonces se obtiene el  $SN_2$ , a ser absorbido por el concreto asfáltico y la base. Así :

$$D_2^* \geq (SN_2 - SN_1^*) / a_2 \times m_2$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor,  $D_2^*$ , y el número estructural absorbido será:

$$SN_2' = a_2 \times m_2 \times D_2'$$

Por último para la subbase, se entra con el  $M_R$  correspondiente a la subrasante y se obtiene  $SN_3 = SN$  para todo el paquete estructural calculado o sea la capa asfáltica, base y subbase. En este caso el espesor es:

$$D_3' \geq SN_3 - (SN_1' + SN_2') / (a_3 \times m_3)$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor  $D_3'$  y se obtiene el número estructural absorbido por la subbase.

$$SN_3' = a_3 \times m_3 \times D_3'$$

Como verificación tenemos:

$$SN_1' + SN_2' + SN_3' \geq SN$$

El número estructural total debe ser como mínimo igual ó mayor a la suma de los números estructurales de cada capa, el criterio es que cada capa del paquete estructural queda protegida de los esfuerzos a los cuales va a ser sometida.

En los Anexos se presentan los ábacos para determinar los coeficientes estructurales de la base, subbase y carpeta asfáltica:

- Anexo 4: Se determina el número estructural del asfalto a partir de su modulo elástico.
- Anexo 5: Cuando no se tenga el valor del módulo de elasticidad del asfalto, el coeficiente estructural se puede calcular con base en la estabilidad Marshall,
- Anexo 6: Se determina el coeficiente estructural de la base, en función a su modulo de resiliencia.
- Anexo 7: Cuando se utilicen bases estabilizadas.
- Anexo 8: Se determina el coeficiente estructural de la subbase, en función a su modulo de resiliencia.

#### 4.1.2. RESEÑA DEL METODO DE DISEÑO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

En este procedimiento de diseño, la estructura del pavimento es considerada como un sistema elástico de capas múltiples. El material en cada una de las capas se caracteriza por su modulo de elasticidad.

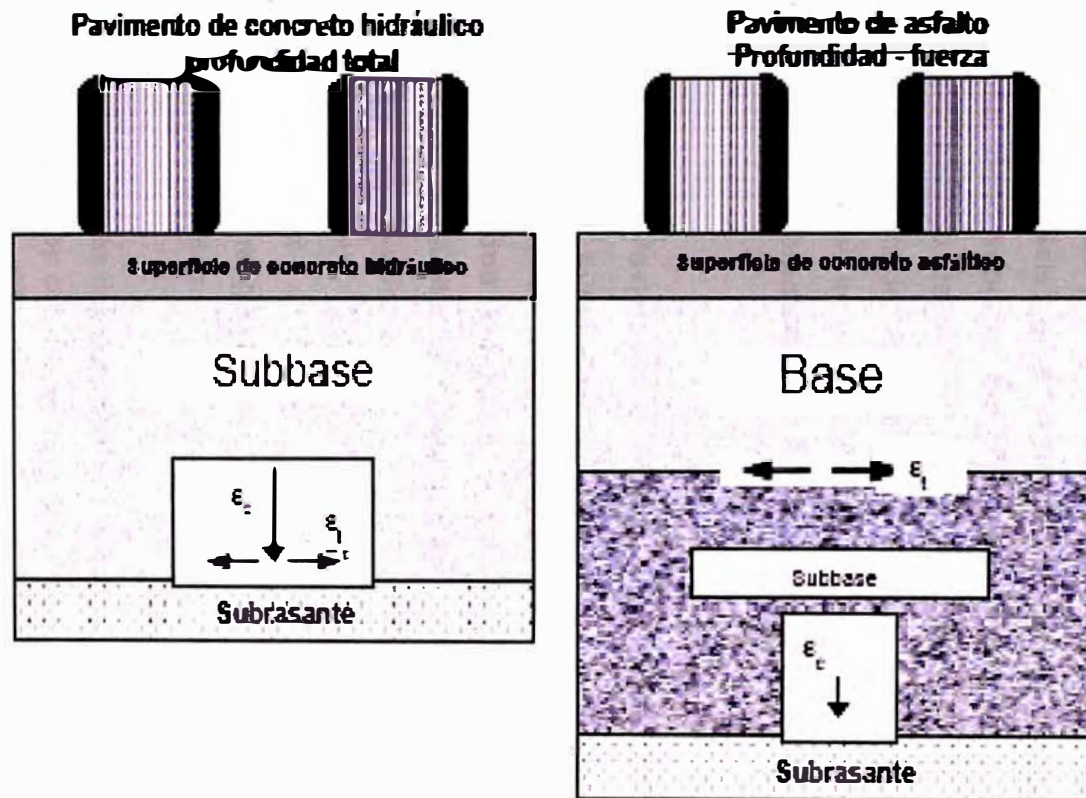
Este procedimiento es usado para el diseño de pavimentos de asfalto compuesto de combinaciones de capa asfáltica, base y subbase sin ningún tratamiento, la subrasante es la capa subyacente más baja y es asumida infinita en el sentido vertical de arriba hacia abajo y en dirección horizontal; las otras capas de un espesor finito, se asumen infinitas hasta cierto punto en el sentido horizontal. Una continuidad o fricción total, es asumida en la unión entre cada una de las capas para efecto de diseño.

En la metodología adoptada por este método, las cargas sobre la superficie del pavimento producen dos esfuerzos de tensión que son críticos para propósitos del diseño:

- a) Esfuerzo de tensión horizontal  $E_t$ , en el fondo de la capa asfáltica mas profunda.
- b) Esfuerzo de compresión vertical  $E_c$ , en la superficie de la subrasante.

En la figura 4.2 se muestra la grafica de las deformaciones. Si la fuerza de tensión horizontal  $E_t$  es excesiva pueden resultar grietas en la capa; si la fuerza de compresión horizontal  $E_c$  es excesiva, resultan deformaciones permanentes en la superficie de la estructura de pavimento por las sobrecargas en la subrasante. Excesivas deformaciones en las capas tratadas, pueden ser controladas por las calidades a que están sujetas las propiedades de los materiales.

Figura 4.2: Ubicación de las deformaciones consideradas en el procedimiento de diseño



Fuente: Instituto del Asfalto, MS-1, 1,991

Dentro de las variables a considerar en este método están:

**a) Estimación del Tránsito**

En este método se define la diferencia entre “Periodo de Diseño” y “Periodo de Análisis”, en la siguiente forma: Un pavimento debe ser diseñado para soportar los efectos acumulados del tránsito en cualquier periodo de tiempo; el periodo seleccionado, en años, se define como “Periodo de Diseño”, al termino de este, es posible que el pavimento necesite de una acción de rehabilitación mayor, lo cual debe ser una sobrecapa de refuerzo para restaurarlo a su condición original.

La “Vida útil del Pavimento” o “Periodo de Análisis”, es el tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que este alcanza las mínimas condiciones de transitabilidad y se puede extender en forma indefinida a través de sobrecapas u otras acciones de rehabilitación, hasta que la carretera sea obsoleta debido a cambios significativos como:

Pendientes

Alineamiento geométrico

Otros factores.

Como los vehículos tipo camión son los que más daño ocasionan en las carreteras, se debe considerar este tipo de flujo vehicular sobre el carril de diseño, por lo que se utilizan los valores dados en la cuadro 4-4.

**CUADRO N° 4.4****Porcentaje del Tráfico Total de Camiones en el Carril de Diseño**

<b>Número de Carriles (dos direcciones)</b>	<b>Porcentaje de Camiones en el Carril de Diseño</b>
2	50
4	45 (35 – 48)*
6 ó más	40 (25 – 48)*

- Rango Probable

**b) Materiales**

En el diseño de espesores de una estructura de pavimento flexible, el Método del Instituto del Asfalto, considera como parámetro fundamental la evaluación de los materiales para obtener el Modulo de Resiliencia ( $M_R$ ).

Los valores de ensayos individuales de los suelos de subrasante, son utilizados para determinar el Modulo de Resiliencia de Diseño de la Subrasante. Para cada grupo de valores de  $M_R$ , debe ser seleccionado en función del tráfico, cuanto mayor es el tráfico menor es el valor de  $M_R$ . Esto se hace para asegurar un diseño más conservador en una vía con mayores volúmenes de tráfico.

Como no es fácil tener el equipo adecuado para llevar a cabo este tipo de pruebas, se han establecido factores de correlación entre el Módulo de resiliencia ( $M_R$ ) y la prueba del CBR ( AASHTO T-193 ); los valores obtenidos son bastante aproximados, sin embargo, para obtener resultados más precisos es necesario llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia ( $M_R$ ) de la Subrasante.

**El Modulo de Resiliencia de Diseño de la Subrasante ( $M_R$ )** se define como el valor del Modulo de Resiliencia que es menor que el 60%, el 75% o el 87.5% del total de los valores analizados en la

sección. Estos porcentajes se conocen como Valores Percentiles y están relacionados con el tráfico como se indica en el cuadro 4.5.

**CUADRO N° 4.5**  
**Limites de Diseño para Subrasante**

<b>Nivel de Tráfico (EAL)</b>	<b>Percentil de Diseño (%)</b>
10 <sup>4</sup> ó menos	60
Entre 10 <sup>4</sup> y 10 <sup>6</sup>	75
10 <sup>6</sup> ó más	87.5

Para correlacionar los valores del Módulo Resiliente con los valores de CBR se utilizan las siguientes expresiones:

Para suelos finos con  $CBR < 7.2\%$ ,  $M_R = 1500 \times CBR \dots (1)$

Para suelos finos con  $7.2 < CBR < 20\%$ ,  $M_R = 3000 CBR^{0.65} \dots (2)$

Para suelos granulares,  $M_R = 4326 \ln CBR + 241 \dots (3)$

Estas formulas han sido utilizadas con los valores de CBR de laboratorio. Estas formulaciones se han tomado de la Publicación N° FHWA-PL-98-029. Caminos, Segundo Trimestre 1998, I.P.C.

Es importante señalar también incluye factores de medio ambiente y diferentes clases a tipos de asfalto, para el caso se consideran tres diferentes temperaturas dependiendo de la región o zona donde se pretenda construir el pavimento, climas fríos (7° C), templados (15.5° C) y cálidos (24° C) .

Para espesores mínimos en función de la cantidad de tránsito de ejes equivalentes, este método recomienda los siguientes valores

para superficies de rodaduras construidas sobre bases granulares normales sin ningún proceso de estabilización:

**CUADRO N° 4.6**  
**Espesores mínimos de capas asfálticas**

<b>Cantidad de ejes Equivalentes</b>	<b>Condición del Tránsito</b>	<b>Espesores mínimos de la Capa Asfáltica, en cm</b>
Hasta $10^4$	Ligero	7.50
Entre $10^4$ y $10^6$	Mediano	10.0
$10^6$ ó más	Pesado	12.5 ó más

### c) **Espesores de Diseño**

Este método del Instituto de Asfalto, proporciona para el diseño final de los espesores de una estructura de pavimento, figuras de diseño, las cuales cubren todas las variables que se puedan involucrar en el diseño y que fueron analizadas en párrafos anteriores.

Las figuras se presentan en escalas logarítmicas para los siguientes parámetros:

- Las tres condiciones climáticas consideradas en la Temperatura Media Anual del Aire.
- Total de ejes equivalentes acumulados durante el período de diseño.
- Módulo de Resiliencia de la subrasante.
- Capa de Concreto Asfáltico de una sola capa ó espesor total.
- Para cuando se tiene una capa de base sin estabilizar de 15 cm



- Para cuando se tiene una capa de base sin estabilizar de 30 cm

#### **4.1.3. CALCULO DE REFUERZO POR EL METODO DE DISEÑO AASHTO**

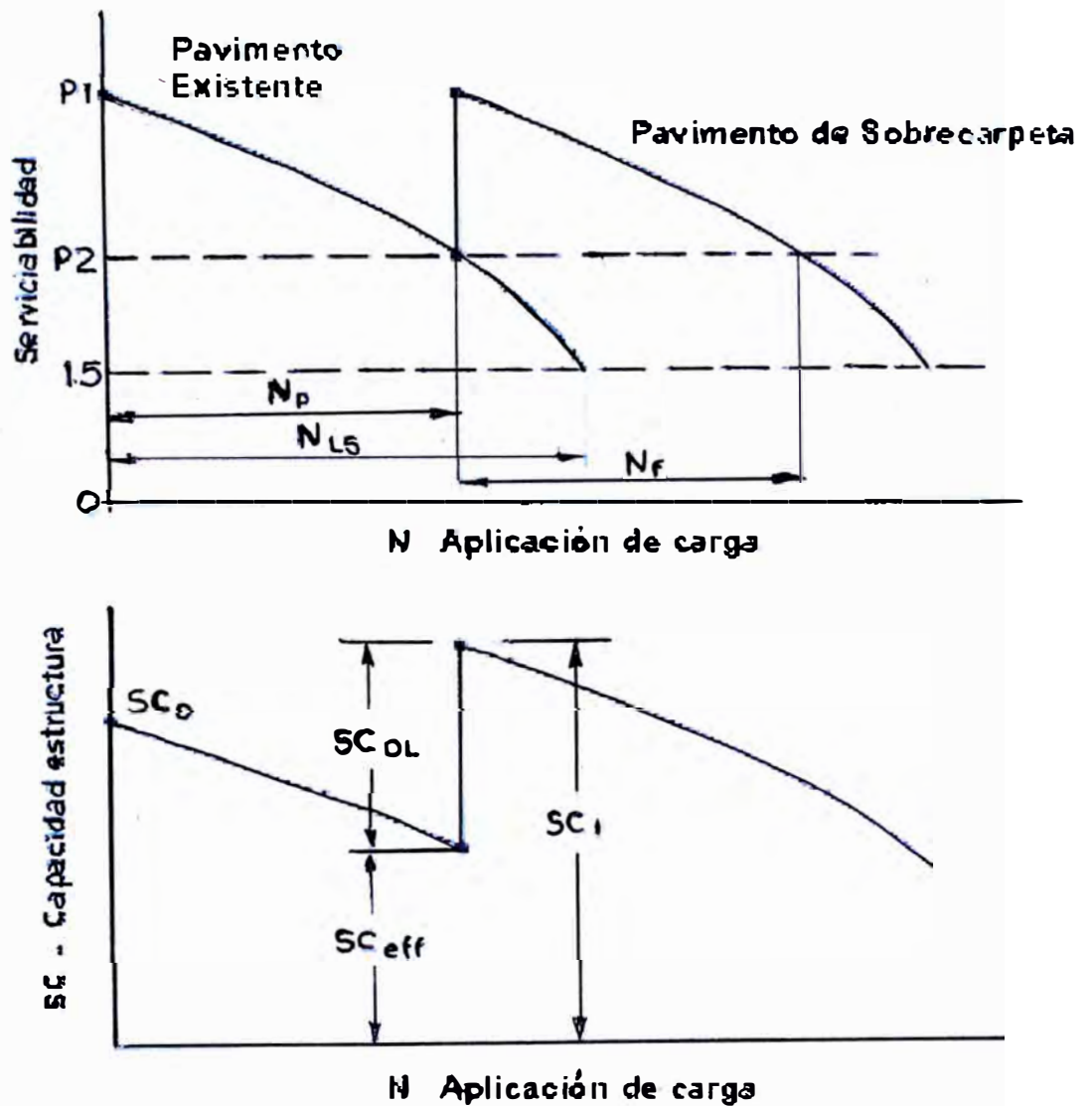
Los métodos de rehabilitación de pavimentos por colocación de una sobrecapa o recapeo sobre la estructura existente son muy variados, en función del tipo y deterioro de la estructura y superficie existente.

El objeto de estos recapeos tiene dos funciones, dependiendo de cual de las dos condiciones es la que se quiere recuperar o si es combinado, ya que una de las funciones es la capacidad estructural y la otra es la serviciabilidad.

La primera aplica cuando las condiciones de la estructura de pavimento esta llegando a su periodo de diseño y es necesario el refuerzo de la estructura para soportar el crecimiento del tránsito y por ende de las cargas; la segunda aplica cuando las condiciones de la superficie del pavimento ha llegado a su vida útil y sufrido tal deterioro que no permita el desplazamiento normal de los vehículos.

En las figura 4-3 se observa como se recupera un pavimento a su condición original al efectuar un recapeo, en el aspecto de serviciabilidad y capacidad estructural respectivamente.

**FIGURA 4.3 : Pérdida de Capacidad Estructural después de Tiempo y Tránsito**



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993.

Dónde :

$N_p$  : Tiempo de servicio.

$N_{L5}$  : Estimado sin rehabilitación

$N_f$  : Vida Total del Pavimento Rehabilitado.

#### **4.1.3.1. CALCULO DEL REFUERZO**

Para el cálculo de la estructuración del pavimento se aplica en forma inversa: se tiene un pavimento que ya tiene una estructura determinada y se quiere saber si dicha estructura cumple con el Número Estructural requerido, de no ser así se debe diseñar un refuerzo.

En primer lugar se debe determinar la capacidad estructural del pavimento, o, en términos del método AASHTO, se debe encontrar el Número Estructural efectivo del pavimento existente. La diferencia entre el Número Estructural Total requerido (SN req) y el Número Estructural efectivo (SN eff), será el Número Estructural del refuerzo (SN ref).

#### **4.1.3.2. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO DEL PAVIMENTO**

De acuerdo a la metodología AASHTO, hay tres métodos para calcular el Número Estructural del Pavimento:

- Utilizando resultados de ensayos no-destructivos
- Utilizando análisis por componentes
- Estimando la vida remanente del pavimento

##### **a. Utilizando resultados de ensayos no-destructivos**

El Número Estructural efectivo del pavimento existente se determina en función del Espesor Equivalente (Heq), determinado del análisis elástico de las curvas de deflexiones medidas, y el coeficiente estructural ponderado del pavimento calculado utilizando los coeficientes estructurales de los materiales originales constituyentes de las capas, evaluados de acuerdo a los resultados de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio. El espesor equivalente del pavimento existente es el parámetro que cuantifica la capacidad

estructural actual del pavimento, de tal manera que, un espesor equivalente menor que el espesor geométrico significa un comportamiento estructural inferior a lo requerido para las condiciones de soporte de la subrasante e interrelación de capas, caso contrario si es espesor equivalente calculado resulta mayor que el geométrico. Este método es similar al recomendado en el manual de diseño del método AASHTO, que relaciona el espesor  $D$  del pavimento con un factor de corrección en función al módulo del pavimento  $E_p$ .

#### **b. Utilizando análisis por componentes**

El Número Estructural efectivo del pavimento se determina analizando la condición de cada una de las capas y materiales que componen la estructura del pavimento, asumiendo de acuerdo a su estado de deterioro o contaminación sus respectivos coeficientes estructurales, para los cuales el método da un determinado rango de variación. La sumatoria de los productos parciales de los espesores de cada capa por su respectivo coeficiente estructural, resulta ser el Número Estructural efectivo del pavimento.

#### **c. Determinando la vida remanente del pavimento**

La vida remanente del pavimento se calcula mediante la siguiente formula:

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

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

( $p_t = 1.5$ )

Con el cálculo de la vida remanente se obtiene un factor de condición CF, el cuál se determina gráficamente mediante un

nomograma proporcionado por el manual de diseño de la AASHTO. Con la finalidad de computarizar los cálculos el Consultor ha determinado la siguiente expresión para el cálculo del factor de condición CF:

$$CF = 1 - 0.0018 (100 - RL), \text{ para } 75 < RL < 100$$

donde,

CF	Factor de condición
RL	Vida remanente, %

El Número Estructural Efectivo del pavimento se obtiene mediante la siguiente fórmula:

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

donde,

$SN_{\text{eff}}$	Número Estructural efectivo del pavimento
CF	Factor de condición
$SN_0$	Número Estructural del pavimento en el año cero

Para el presente estudio se utilizara el método de análisis de componentes.

## 4.2. PARAMETROS DE DISEÑO

### 4.2.1. TRAFICO DE DISEÑO

De acuerdo al estudio de tráfico realizado para el tramo Puente Ricardo Palma - Matucana, el número total de ejes equivalentes a 18 kips, considerando el carril mas cargado de la carretera y tránsito sin control de cargas, es:

Período 2002-2011 (10 años): 12,397,071 ejes equivalentes

Período 2012-2021 (10-20 años): 19,517,273 ejes equivalentes

Período 2001-2021 (20 años): 31,914,344 ejes equivalentes

Estos tráficos han sido calculados siguiendo la metodología AASHTO, para un  $P_T = 2.5$ .

### 4.2.2. FACTORES HIDROMETEREOLÓGICOS

Para determinar como afectan los factores hidrometeorológicos de la zona en el diseño de pavimento, se ha analizado la altitud, precipitación y temperaturas en el tramo en estudio.

Este tramo se encuentra comprendido entre los 1,401 y 2379 msnm. y presenta las siguientes características:

#### a) Control Pluviométrico

La precipitación pluvial total anual fluctúa entre 125 y 255 mm cuando alcanza altitudes hasta de 1900 m y entre 250 y 450 mm cuando alcanza altitudes hasta de 2379 m.

#### b) Control de Temperaturas

El clima de la zona es semicálido - árido a templado cálido - semiárido, con una temperatura media anual que varía entre 19 y 20°C cuando alcanza altitudes hasta de 1900 m y entre 12 y 17°C cuando alcanza altitudes hasta de 2,379.

#### 4.2.3. SOPORTE DEL SUELO PARA DISEÑO

De acuerdo al método AASHTO, para caracterizar la capacidad de soporte del suelo se emplea el Módulo Elástico o Módulo Resiliente ( $M_R$ ).

Para correlacionar los valores del Módulo Resiliente con los valores de CBR se utilizan las siguientes expresiones:

Para suelos finos con  $CBR < 7.2\%$ ,  $M_R = 1500 \times CBR \dots(1)$

Para suelos finos con  $7.2 < CBR < 20\%$ ,  $M_R = 3000 CBR^{0.65} \dots(2)$

Para suelos granulares,  $M_R = 4326 \ln CBR + 241 \dots(3)$

Estas formulas han sido utilizadas con los valores de CBR de laboratorio. Los resultados del Módulo Resiliente se presentan en el cuadro 2.3 del Capitulo "Estudio Geotécnico"

El nivel de tráfico es mayor a  $10^7$ , el percentil de diseño es 87.5% según el cuadro 8.4, para este porcentaje el resultado de  $M_R$  es de 15,365.9 psi y el promedio es de 16,084.7 psi.

#### 4.2.4. CALIDAD DE LOS MATERIALES A EMPLEARSE

Para el diseño del pavimento, se considerará el uso de los siguientes materiales:

Concreto asfáltico, con un coeficiente estructural igual a 0.44/pulgada, valor recomendado por AASHTO para carpetas asfálticas en caliente.

Base granular, con un coeficiente estructural igual a 0.14/pulgada, un coeficiente de drenaje de 0.9 y un Módulo Resiliente igual a 30 ksi. El coeficiente estructural se determina mediante el ábaco del Anexo 6.

Sub-base granular, con un coeficiente estructural igual a 0.11/pulgada, un coeficiente de drenaje de 0.9 y un Módulo Resiliente de 15 ksi. El coeficiente estructural se determina mediante el ábaco del Anexo 8.

El coeficiente de drenaje de 0.9 adoptado corresponde a una calidad de drenaje regular expuesto a niveles de humedad que se aproximan a una humedad que varía entre 5 a 25% del nivel de saturación.

### 4.3. DISEÑO DE PAVIMENTOS

#### 4.3.1. APLICACIÓN DEL METODO DE DISEÑO AASHTO

##### 4.3.1.1 DEFINICION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO DEL METODO

El método AASHTO contempla el uso de ciertos parámetros relacionados con la confiabilidad del diseño y la serviciabilidad inicial y final del pavimento, para los cuales es necesario fijar valores.

De acuerdo a las características e importancia de la vía, por tratarse de una carretera troncal, se adoptará de acuerdo a las recomendaciones de la AASHTO, los siguientes valores:

Nivel de Confiabilidad ( $F_R$ )	95%
Standard Normal Deviate ( $Z_R$ )	-1.645
Standard Deviation ( $S_o$ )	0.45
Serviciabilidad inicial ( $p_i$ )	4.2
Serviciabilidad final ( $p_t$ )	2.5

La serviciabilidad inicial ha sido definida igual a 4.2 y la serviciabilidad final igual a 2.5 de acuerdo a las recomendaciones de la AASHTO para vías de importancia como es el caso de la Carretera Central.



#### **4.3.1.2. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL TOTAL REQUERIDO Y DE LOS ESPESORES ASUMIDOS**

En la práctica no deben colocarse capas con espesores menores que los mínimos requeridos, ya que las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el objeto de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones para absorber los efectos que producen los suelos expansivos.

En el cuadro 4.7, 4.8 y 4.9 se presentan los cálculos de espesores para los periodos de diseño de 10 años, de 10 a 20 años y de 20 años respectivamente.

#### **4.3.2. APLICACIÓN DEL METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO**

##### **4.3.2.1. DEFINICION DE LOS PARAMETROS DE DISEÑO DEL METODO**

El Método del Instituto del Asfalto contempla los siguientes parámetros:

El Módulo de Resiliencia de la subrasante es 15,365.9 psi .

Para un periodo de 20 años se tiene 31,914,344 ejes equivalentes.

El clima de la zona es semicálido - árido a templado cálido - semiárido, con una temperatura media anual que varía entre 19 y 20°C cuando alcanza altitudes hasta de 1900 m y entre 12 y 17°C cuando alcanza altitudes hasta de 2379.

**CUADRO N° 4.7  
DISEÑO DEL PAVIMENTO  
METODO AASHTO  
10 AÑOS**

**1. PROPIEDADES DE MATERIALES**

A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN <sup>2</sup> )	30,00
B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	15,00

**2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1,24E+07
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	95%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1,645
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	15,36
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2,5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	10

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>	
Concreto Asfáltico (a1)	0,44
Base granular (a2)	0,14
Subbase (a3)	0,11
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>	
Base granular (m2)	0,90
Subbase (m3)	0,90

**Numero Estructural**

	SN REQUERIDO
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> )	4,22
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )	3,29
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )	0,97
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )	-0,04

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO :**

	H (pulg)	H (cm)	ASUMIR	
CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> )	7,48	18,99	20,00	cm
CAPA BASE (D <sub>2</sub> )	7,70	19,55	20,00	cm
SUB-BASE (D <sub>3</sub> )	-0,40	-1,03	0,00	cm

**CUADRO N° 4.8**  
**DISEÑO DEL PAVIMENTO**  
**METODO AASHTO**  
**10 - 20 AÑOS**

**1. PROPIEDADES DE MATERIALES**

A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN <sup>2</sup> )	30,00
B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	15,00

**2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	1,95E+07
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD ( R ), se considera un diseño en dos etapas	97%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1,883
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)	15,36
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	2,5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	10-20

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>	
Concreto Asfáltico (a1)	0,44
Base granular (a2)	0,14
Subbase (a3)	0,11
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>	
Base granular (m2)	0,90
Subbase (m3)	0,90

**Numero Estructural**

	SN REQUERIDO
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> )	4,70
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )	3,70
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )	1,03
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )	-0,03

**DISEÑO 2DA ETAPA****Cálculo de Refuerzo para el año 10**

$$SN_{EFEC} = D1 \times C1 + D2 \times C2$$

Donde:

- D1= Espesor Carpeta de Rodadura diseñada para 10 años  
 C1\*= Coeficiente de la carpeta asfáltica, en función de su estado a los 10 años  
 D2= Espesor Capa Base diseñada para 10 años  
 C2\*= Coeficiente de capa base, en función de su estado a los 10 años

$$SN_{EFEC} = 7,48 \times 0,35 + 7,7 \times 0,12 \times 0,9 = 3,45$$

$$SN_{REF} = SN_{REQ} - SN_{EFEC} = 4,70 - 3,45 = 1,25$$

$$\text{Espesor de Refuerzo} = 1,25 / 0,44 = 2,84 \text{ pulg} = 7,22 \text{ cm}$$

**CUADRO N° 4.9  
DISEÑO DEL PAVIMENTO  
METODO AASHTO  
20 AÑOS**

**1. PROPIEDADES DE MATERIALES**

A. MODULO DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN <sup>2</sup> )	30,00
B. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE	15,00

**2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE**

A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)	3,19E+07
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	95%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Z <sub>r</sub> )	-1,645
OVERALL STANDARD DEVIATION (S <sub>o</sub> )	0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (M <sub>r</sub> , ksi)	15,36
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (p <sub>i</sub> )	4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (p <sub>f</sub> )	2,5
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	20

**3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO**

<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>	
Concreto Asfáltico (a <sub>1</sub> )	0,44
Base granular (a <sub>2</sub> )	0,14
Subbase (a <sub>3</sub> )	0,11
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>	
Base granular (m <sub>2</sub> )	0,90
Subbase (m <sub>3</sub> )	0,90

**Numero Estructural**

	SN REQUERIDO
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>TOTAL</sub> )	4,87
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN <sub>1</sub> )	3,84
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN <sub>2</sub> )	1,06
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S.BASE (SN <sub>3</sub> )	-0,03

**ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO :**

	H (pulg)	H (cm)	ASUMIR	
CARPETA DE RODADURA (D <sub>1</sub> )	8,73	22,17	<b>23,00</b>	cm
CAPA BASE (D <sub>2</sub> )	8,41	21,37	<b>22,00</b>	cm
SUB-BASE (D <sub>3</sub> )	-0,30	-0,77	<b>0,00</b>	cm

#### **4.3.2.2. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL TOTAL REQUERIDO Y DE LOS ESPESORES REQUERIDOS**

Para el cálculo se empleo la Carta de Diseño A-7 del Instituto del Asfalto, la cual se presenta en el Anexo 9, cuyas condiciones son el empleo de concreto asfáltico en todo su espesor de espesor y una temperatura de 15.5 °C. Siendo el resultado de 39 cm. de espesor de asfalto. Este cálculo se realizó con los parámetros presentados en el ítem anterior.

#### **4.4. APLICACIÓN DEL METODO DE DISEÑO DEL AASHTO PARA RECAPEO**

Debido a los trabajos a realizar para la construcción de la berma lateral, así como el carril de ascenso, la estructura existente sufrirá ciertos daños, por tal motivo se realiza el recapeo.

##### **4.4.1. CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL TOTAL REQUERIDO ( $SN_{req}$ )**

El Número Estructural Total requerido ( $SN_{req}$ ) se presenta para un periodo de 10 años, ya que dicha estructura solo sufrirá daños superficiales, en la carpeta asfáltica. Por otro lado dicho pavimento tiene 3 años de rehabilitado, y no presenta deterioro visibles.

Según el cuadro N° 4.7 el número estructural requerido es de 4.22.

##### **4.4.2. CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO DEL PAVIMENTO ( $SN_{eff}$ )**

Los resultados del Número Estructural efectivo del pavimento existente se presentan en el Cuadro 4.10.

Se ha estimado el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica, empleando los criterios que da la AASHTO para tal fin, los coeficientes se presentan en el anexo 10. Cada espesor de capa se multiplica por su respectivo coeficiente, sumando luego los productos para encontrar finalmente el Número Estructural Efectivo del pavimento. Se considera

**CUADRO N° 4.10  
NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO DEL PAVIMENTO**

CARRETERA COCACHACRA-MATUCANA

TRAMO : KM 55+000 AL 58+000

UBICACIÓN (km)	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
	CARPETA ASFALTICA (cm)	COEF. ESTRUCT. (a <sub>1</sub> )	BASE GRANULAR (cm)	COEF. ESTRUCT. (a <sub>2</sub> )	SUBBASE GRANULAR (cm)	COEF. ESTRUCT. (a <sub>3</sub> )	SN <sub>EFF</sub>
55+000 - 58+000	15,0	0,40	20,0	0,14	0,0	0,10	3,46

**NOTAS ACLARATORIAS**

(1)(3)(5) Espesores geométricos de las capas del pavimento existente

(2)(4)(6) Coeficientes estructurales de los materiales actuales, asumidos de acuerdo al estado de deterioro o contaminación

(7) Número Estructural Efectivo del pavimento actual  $(1) \times (2) + (3) \times (4) + (5) \times (6)$

Todos los espesores se convierten a pulgadas.

que la capa sub- base no sufre daño alguno debido a los trabajos a realizar, por tal motivo su coeficiente estructural es 0.14.

#### **4.4.3. CALCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL DE REFUERZO ( $SN_{ref}$ )**

El Número Estructural del refuerzo requerido es la diferencia entre el Número Estructural Total Requerido ( $SN_{req}$ ) y el Número Estructural Efectivo ( $SN_{eff}$ ). Los resultados de dicha diferencia se presentan en el Cuadros 4.11.

**CUADRO N° 4.11**  
**CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL DEL REFUERZO**

CARRETERA: COCACHACRA - MATUCANA

TRAMO KM 55+000 - 58+000

PERIODO : 10 AÑOS

TRAFICO :  $EAL_{10}$  12.397.071,00

UBICACIÓN (km)	$SN_{REQ}$ TOTAL	$SN_{EFF}$	$SN_{REF}$	ESPESOR REFUERZO (pulg)	ESPESOR REFUERZO (cm)
55+000 - 56+000	4,22	3,46	0,8	1,7	4,4



## CAPITULO V

### ALTERNATIVAS DE DISEÑO

#### 5.1. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

De los resultados obtenidos se puede concluir que la estructura suelo-pavimento presenta características estructurales buenas. Los suelos en el tramo son fundamentalmente granulares de partículas gruesas, con un buen ángulo de fricción interna y con una capacidad de deformación bastante baja. Por otro lado, el pavimento cuenta con espesores de capas asfálticas significativos y capas granulares con alto grado de fricción interna (partículas rugosas y fracturadas), lo que determina que los esfuerzos aplicados por las cargas de tráfico se distribuyan mayormente en las capas superiores y el nivel de esfuerzos que llega a la subrasante sea bajo. Los espesores de refuerzo bastante bajos calculados con dichos parámetros, que son un reflejo de la buena condición estructural que presenta el pavimento.

La estructura será afectada por los trabajos de corte que se realizaran para la construcción del carril de ascenso. Para la rehabilitación se plantean dos alternativas:

- (a) **Alternativa 1**, considerando una capa asfáltica nivelante y una carpeta de rodadura.
- (b) **Alternativa 2**, considerando una operación de fresado para la nivelación de la superficie asfáltica del pavimento y la colocación de una nueva carpeta asfáltica.

## CAPITULO V ALTERNATIVAS DE DISEÑO

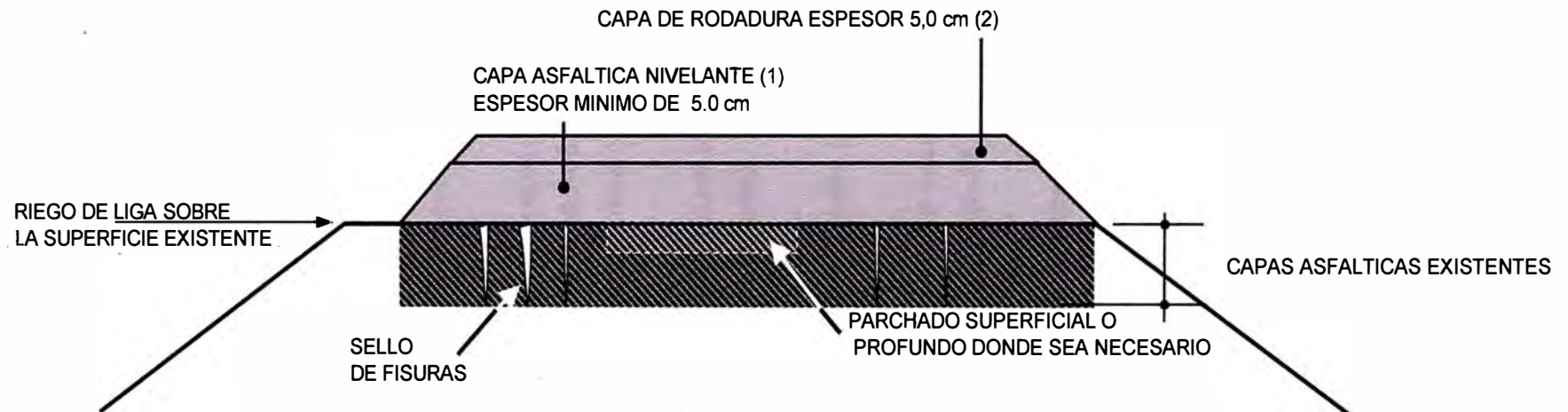
### 5.1. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

De los resultados obtenidos se puede concluir que la estructura suelo-pavimento presenta características estructurales buenas. Los suelos en el tramo son fundamentalmente granulares de partículas gruesas, con un buen ángulo de fricción interna y con una capacidad de deformación bastante baja. Por otro lado, el pavimento cuenta con espesores de capas asfálticas significativos y capas granulares con alto grado de fricción interna (partículas rugosas y fracturadas), lo que determina que los esfuerzos aplicados por las cargas de tráfico se distribuyan mayormente en las capas superiores y el nivel de esfuerzos que llega a la subrasante sea bajo. Los espesores de refuerzo bastante bajos calculados con dichos parámetros, que son un reflejo de la buena condición estructural que presenta el pavimento.

La estructura será afectada por los trabajos de corte que se realizaran para la construcción del carril de ascenso. Para la rehabilitación se plantean dos alternativas:

- (a) **Alternativa 1**, considerando una capa asfáltica nivelante y una carpeta de rodadura.
- (b) **Alternativa 2**, considerando una operación de fresado para la nivelación de la superficie asfáltica del pavimento y la colocación de una nueva carpeta asfáltica.

**FIGURA 5.1**  
**DISEÑO CONVENCIONAL DEL PAVIMENTO**  
**PROPUESTA DE ESTRUCTURA PARA LA REHABILITACION DEL PAVIMENTO**



## 5.2. ALTERNATIVA 1: DISEÑO CONVENCIONAL

Está alternativa contempla las actividades que se muestran en la figura 5.1.

Reparación de las fallas existentes del pavimento incluyendo:

- a. Sellado de fisuras longitudinales y transversales.
- b. Recubrimiento superficial de las fisuras longitudinales y transversales.
- c. Ejecución de parchado superficial de aquellas zonas con fallas de magnitud leve a moderada.

Riego de liga sobre la superficie del pavimento completamente limpia.

Colocación de una capa nivelante y una carpeta de rodadura (refuerzo), de espesor conjunto en función a:

- a. Un espesor mínimo de 5 cm, por capa, de acuerdo al tamaño máximo del agregado ( $TM = \frac{1}{2}$ ”).
- b. De espesor suficiente para nivelar las irregularidades del pavimento.
- c. Acondicionar el perfil longitudinal y las secciones transversales para cumplir con las normas de diseño geométrico.
- d. La carpeta de rodadura según el cuadro N° 4.11 es de 4.4 cm → para un periodo de 10 años.
- e. En conclusión se colocará 5 cm para nivelar las irregularidades más 5.0 cm de refuerzo.

### 5.3. ALTERNATIVA 2: DISEÑO CON FRESADO

Fresado mecanizado de la superficie asfáltica para nivelación, con un espesor mínimo de 5 cm y una tolerancia de 0.5 cm. El espesor máximo a fresar no será mayor a 6 cm. El fresado eliminará las fisuras longitudinales y transversales de magnitud leve, fallas que permanezcan después de fresar serán tratadas como se indica a continuación.

Luego del fresado se ejecutarán trabajos de parchado superficial y parchado profundo localizados. Las zonas específicas en donde se ejecutarán estos trabajos se determinarán en base a una evaluación visual. La reparación de las fallas existentes del pavimento incluirá:

- a. Ejecución de parchado superficial localizado.
- b. Riego de liga sobre la superficie del pavimento completamente limpia.

Colocación de una capa nivelante de espesor similar al asfalto eliminado por el fresado y una carpeta de rodadura, de espesor conjunto determinado en función a:

- a. Un espesor mínimo de 5 cm, por capa, de acuerdo al tamaño máximo del agregado ( $TM = \frac{1}{2}$ "") para nivelar las irregularidades del pavimento y abatir la rugosidad al mínimo.
- b. Acondicionar el perfil longitudinal y las secciones transversales para cumplir con las normas de diseño geométrico.
- c. Colocación de la segunda capa asfáltica, con lo que se obtiene un espesor total de capa asfáltica mínimo.
- d. La carpeta de rodadura según el cuadro N° 4.11 es de 4.4 cm  
→ para un periodo de 10 años.

- e. En conclusión se colocará 5 cm para nivelar las irregularidades más 5.0 cm de refuerzo.

#### **5.4. ANALISIS DE ALTERNATIVAS**

Se ha efectuado un análisis comparativo de las ventajas y desventajas que tiene cada una de las propuestas, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 5.1.

Del análisis efectuado se encuentra que la alternativa 1, es la más recomendable para la rehabilitación del Tramo, debido a que los daños a ocasionarse no serán de consideración.

**CUADRO N° 5.1.  
COMPARATIVO DE TIPOS DE DISEÑO**

<b>METODO POR FRESADO (Fresado + capa nivelante +carpeta de rodadura)</b>	<b>METODO CONVENCIONAL (Capa nivelante + carpeta de rodadura)</b>
<p align="center"><u>VENTAJAS</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Permite mantener el ancho actual de la carretera.</li> <li>2. Menor costo constructivo.</li> <li>3. Proceso constructivo rápido.</li> <li>4. Se emplea una menor cantidad de asfalto.</li> <li>5. Alta contribución para disminuir la rugosidad del pavimento a un menor costo.</li> <li>6. Menor interrupción del tráfico. El tráfico puede fluir inmediatamente después de concluido el trabajo.</li> <li>7. En el futuro se puede continuar con el mantenimiento periódico de la carretera.</li> <li>8. La altura de la carretera no se incrementa significativamente.</li> </ol>	<p align="center"><u>VENTAJAS</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contratistas pueden participar en la licitación, en forma indiscriminada.</li> <li>2. Procedimientos de trabajo familiares.</li> </ol>
<p align="center"><u>DESVENTAJAS</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es difícil encontrar compañías locales en el Perú que compitan en el proceso de licitación debido a : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grupo limitado de compañías cuentan con el equipo para fresado.</li> <li>• Falta de contratistas calificados.</li> <li>• Poca experiencia en este tipo de procedimiento.</li> </ul> </li> <li>2. Es posible que el monto total de construcción no sea atractivo al contratista debido a la corta longitud de las obras.</li> <li>3. La alternativa necesita de trabajo con conocimiento profesional y especializado.</li> </ol>	<p align="center"><u>DESVENTAJAS</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Costo de construcción elevado.</li> <li>2. El incremento del espesor del pavimento trae los siguientes problemas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El nivel final de la rasante está llegando al máximo.</li> <li>• Menor ancho de carretera.</li> <li>• Profundidad de cunetas es peligrosa para los vehículos que se salen de la vía.</li> <li>• Nueva elevación de rasante no permitirá un mantenimiento adecuado (recapeo) en el futuro.</li> <li>• En el futuro se puede continuar con el mantenimiento periódico de la carretera.</li> </ul> </li> </ol>

## CONCLUSIONES

Cuando se emplea el método del Instituto del Asfalto para determinar espesores, el espesor de la carpeta asfáltica aumenta cuando el tráfico (EAL) o las condiciones ambientales aumentan, por lo contrario se produce el mismo efecto cuando las características del suelo (CBR) disminuye.

Cuando se emplea Método del AASHTO para determinar espesores, el espesor de la Base Granular aumenta cuando el tráfico (ESAL) o el nivel de confiabilidad ( R ) aumentan, por el contrario se produce el mismo efecto cuando las características del suelo (CBR) o la pérdida de serviciabilidad disminuyen.

Para el cálculo del  $M_R$ , se utilizo el CBR para la densidad de campo y para una penetración de 0.2", debido a que este valor resulto significativamente mayor que el valor para penetración de 0.1".

Analizadas las diversas alternativas para el recapeo del pavimento existente, considerando tanto un diseño convencional como un diseño con fresado, se concluye que la opción más favorable en este caso es la primera alternativa, correspondiente a un diseño convencional, el cual consiste en colocar una capa nivelante y una capa de refuerzo.

Para el carril de ascenso de la vía en estudio, se ha estructurado el pavimento teniendo en cuenta los espesores existentes (vía principal) para obtener así una concordancia geométrica. El pavimento existente tiene un espesor de 15 cm de carpeta asfáltica y 20 cm de base. Según el cálculo para el diseño de 10 años, el espesor máximo de carpeta asfáltica es de 20 cm y el mínimo 10 cm. De acuerdo a lo anterior para la primera estapa se a propuesto un espesor de 20 cm de base y 15 de carpeta asfáltica.



Para la segunda etapa, la carpeta asfáltica de refuerzo a aplicar en el año 10 es de 7.22 cm ==> 7.50 cm

## RECOMENDACIONES

Los pavimentos son estructuras diseñadas para ofrecer a los usuarios comodidad y seguridad, por tal motivo la carreteras deben poseer durante su periodo de diseño un nivel de servicio acorde a la demanda que garantice estas características.

Dado que el pavimento se deteriora en forma gradual, es imprescindible que la evaluación se lleve a cabo en forma periódica, para poder realizar un mantenimiento preventivo, de esa manera alargar su vida útil.

Para efectos de mantenimiento es necesario tener en cuenta el estado en que se encuentra el Pavimento a fin de poder determinar y recomendar lo más conveniente tanto económicamente, como también el mejor proceso de rehabilitación.

Una de las causas principales del deterioro de la superficie de rodadura, en las carreteras es la falta de un adecuado sistema de drenaje, ya que el agua y las filtraciones la deterioran.

Se recomienda limpieza constante de las cunetas, debido a que estas cunetas tienen como función principal transportar el agua hacia las alcantarillas evacuando el agua hacia lugares en los cuales no pueda dañar a la carretera. Estas cunetas deberán ser conservadas periódicamente, para asegurar su funcionalidad y mantener en buen estado la vía.

Se debe establecer un control de tránsito de tal manera que la utilización de la vía corresponda al diseño para lo cual fue proyectada, ya que mucho de los pavimentos falla por exceso de carga.

El Método del AASHTO, concuerda con la tecnología, materiales y equipos utilizados en la construcción de pavimentos en nuestro medio, razón por la cual debe ser él utilizado para la determinación de los espesores de las capas del pavimento.

## BIBLIOGRAFIA

Montejo Fonseca, Alfonso; INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS; Colombia, Universidad de Colombia, 1998

Echegaray Del Solar, Manuel Enrique; MANUAL DE DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS ASFALTICOS DEL INSTITUTO DEL ASFALTO; Perú, Universidad Nacional de Ingeniería, 1969.

Colegio de Ingenieros del Perú, Capítulo de Ingeniería Civil; REHABILITACION Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS DEL PERU; Perú, CIP, 1992.

Wright, Paúl H.; Paquette, Radnor J.; INGENIERIA DE CARRETERAS; México, Limusa Noriega Editores, 1993.

Vivar Romero, Germán; DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS; Perú, Colegio de Ingenieros del Perú, 1995

Hale, Gordon; PAVIMENTOS; España-Barcelona, Blume, 1976

- Asociación Peruana de Caminos; V CONGRESO NACIONAL DE ASFALTO, 2002.

Juarez Badillo, Eulalio; Rico Rodríguez, Alfonso; Mecánica de Suelos: Teoría y aplicaciones de la Mecánica de Suelos; México, Limusa, 1999.

### INTERNET

- o [www.cpasfalto.com/trabajos](http://www.cpasfalto.com/trabajos)
- o [www.construaprende.com/trabajos](http://www.construaprende.com/trabajos)
- o [www.sieca.org.gt/Publico/Transporte/Manuales/Vulnerabilidad/Manual\\_normas/Manual de Pavimentos.pdf](http://www.sieca.org.gt/Publico/Transporte/Manuales/Vulnerabilidad/Manual_normas/Manual_de_Pavimentos.pdf)
- o [www.monografias.com/trabajos](http://www.monografias.com/trabajos)

## ANEXOS

**ANEXO -1  
ESTUDIO GEOLOGICO  
HOJAS DE CAMPO**

**HOJA DE CAMPO N° 01**

**UBICACIÓN:**

Tramo: Cocachacra – Matucana

Progresiva: Km 58+000-57+900



**Descripción:** Se presenta material del tipo coluvio-aluvional, hasta el tunel. Dicho material presenta bloques angulosos que varían de 20 a 30 cm sobre una matriz de material fino, formado por arena y limos, La proporción de este material angulos con respecto a la matriz areno-limosa es de aproximadamente de 35%.

En dicho sector se apreciar que los bloques tienen una adherencia particular a la matriz, esto se debe a que dicha matriz presenta arenas angulosas. No existe material ligante (arcilla), por lo que la capacidad cementante que une los bloques angulosos con la matriz no responde a ninguna propiedad de plasticidad sino a la angulosidad de las arenas.



**HOJA DE CAMPO N° 02****UBICACIÓN:**

Tramo: Cocachacra – Matucana  
Progresiva: Km 57+700



**Descripción:** Roca ígnea del tipo andesita de característica gris verdosa porfirica. Se aprecia notorios sistemas de fracturamiento separados aproximadamente 0.50 m, el cual no genera riesgo.



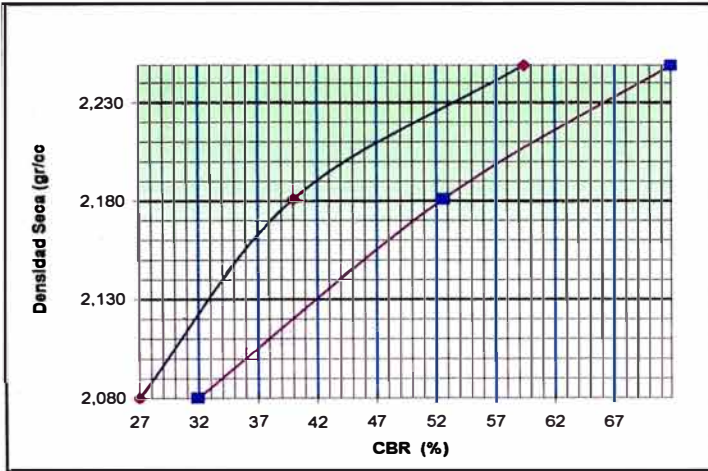
HOJA DE CAMPO N° 03	
<b>UBICACIÓN:</b> Tramo: Cocachacra – Matucana Progresiva: Km 57+450	
	
<b>Descripción:</b> Talud inestable, desprendimiento.	
HOJA DE CAMPO N° 04	
<b>UBICACIÓN:</b> Tramo: Cocachacra – Matucana Progresiva: Km 56+900	
	
<b>Descripción:</b> Contacto de roca ígnea con material coluvial. Posible desprendimiento de piedras, por lo que se prevé un desquinche de taludes rocosos.	

# **ANEXOS ENSAYO DE SUELOS**



**CALICATA:** 35  
**KM:** 55+300  
**MUESTRA :** 2 Prof.0.40-1.50

**ENSAYO C.B.R.**  
**ASTM D1883**



**METODO DE COMPACTACION :**  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc):**

**AASHTO MODIFICADA**  
 2,250

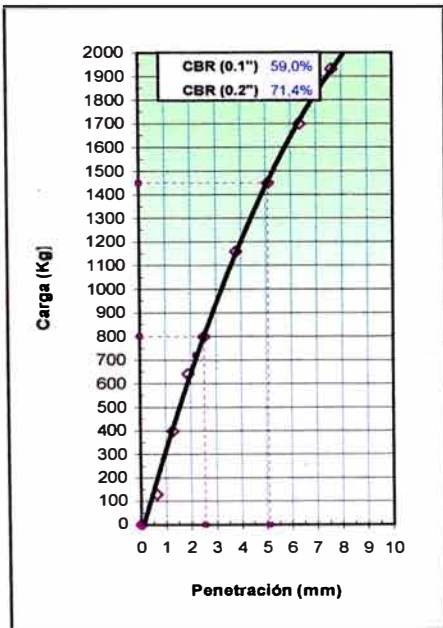
**COMPACTACION DEL LUGAR (%):**  
**SUCS:**  
**AASHTO:**

0  
 GP-GM  
 A-1-a

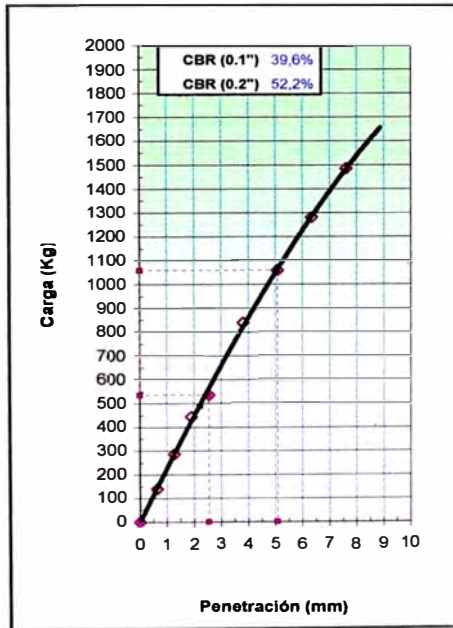
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 59,0	0.2": 71,0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 34,0	0.2": 44,0

**OBSERVACIONES:**

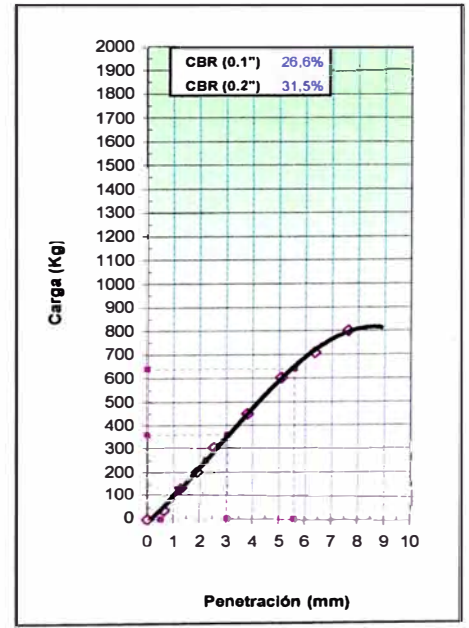
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



FUENTE :CESEL

## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

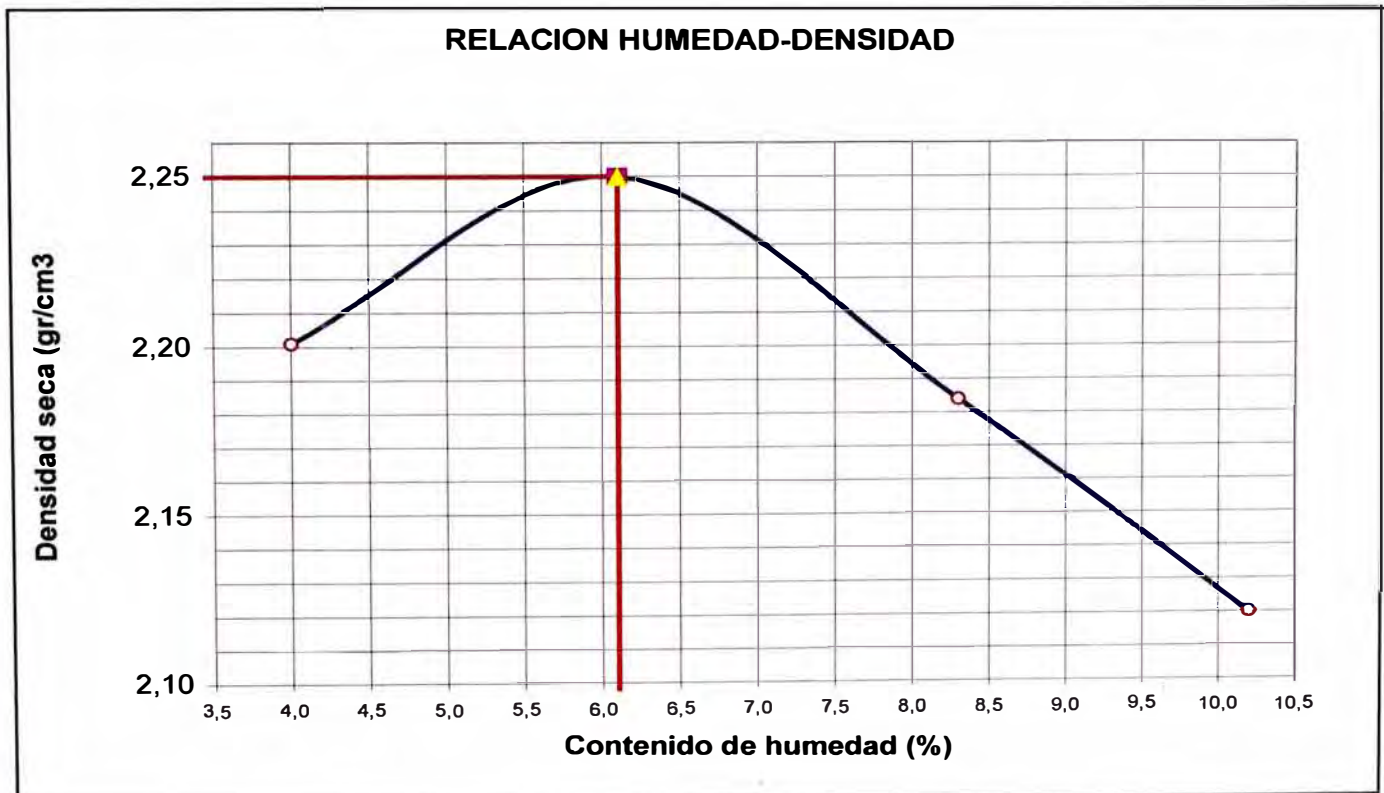
### PROCTOR MODIFICADO

#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA 35  
MUESTRA 2  
PROF. (m) 0.40-1.50

PROGRESIVA 55+300  
MOLDE N° 1  
METODO Modificado

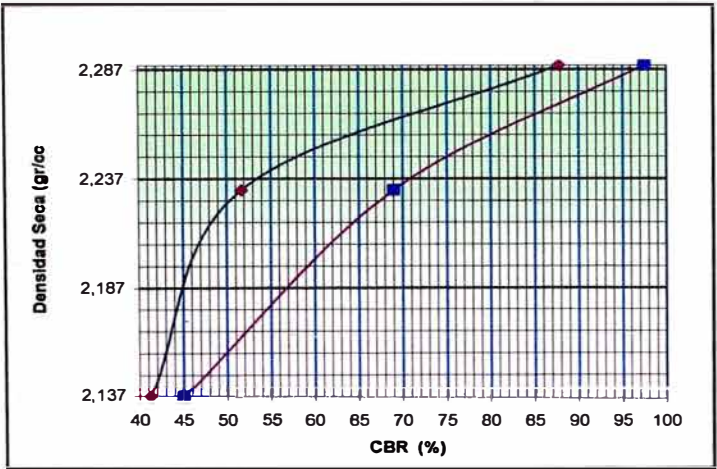
Peso suelo + molde	gr	12041	12247	12201	12140	
Peso molde	gr	7230	7230	7230	7230	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4811	5017	4971	4910	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2,29	2,39	2,37	2,34	
Recipiente	Nº					
Peso del suelo húmedo+tara	gr	540,4	526,4	560,5	570,5	
Peso del suelo seco + tara	gr	519,6	496,2	517,5	517,7	
Peso de tara	gr					
Peso de agua	gr	20,8	30,2	43,0	570,5	
Peso del suelo seco	gr	519,6	496,2	517,5	517,7	
Contenido de agua	%	4,00	6,10	8,30	10,20	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2,20	2,25	2,18	2,12	
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						2,25
Humedad óptima (%)						6,10



FUENTE : CESEL

**CALICATA:** 36  
**KM:** 55+860  
**MUESTRA :** 2 Prof: 0.45-1.50

**ENSAYO C.B.R.**  
**ASTM D1883**

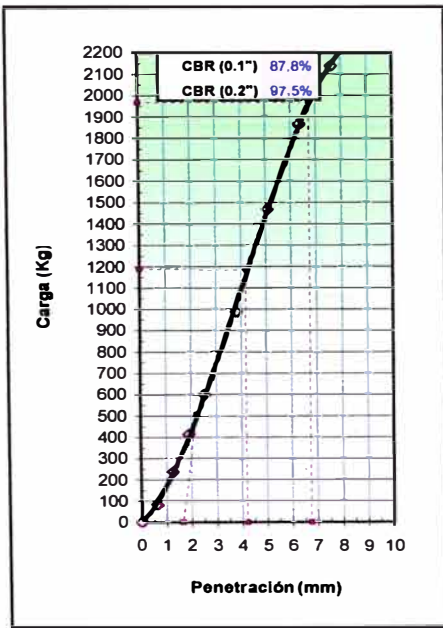


**METODO DE COMPACTACION :** AASHTO MODIFICADA  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc):** 2,290  
**COMPACTACION DEL LUGAR (%):** 0  
**SUCS:** GP-GM  
**AASHTO:** A-1-a

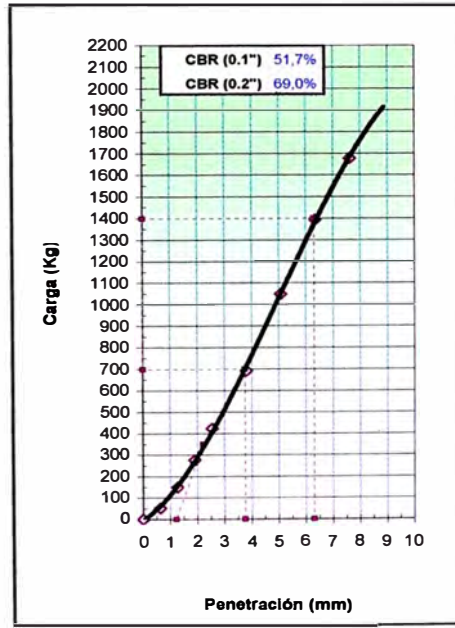
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 88,0	0.2": 98,0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 44,0	0.2": 64,0

**OBSERVACIONES:**

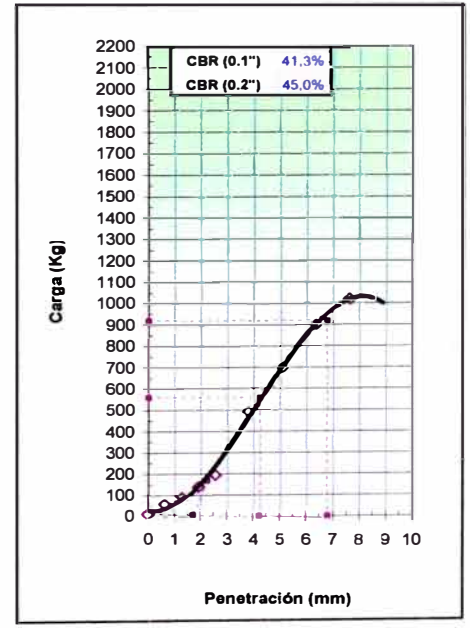
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



FUENTE : CESEL



## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

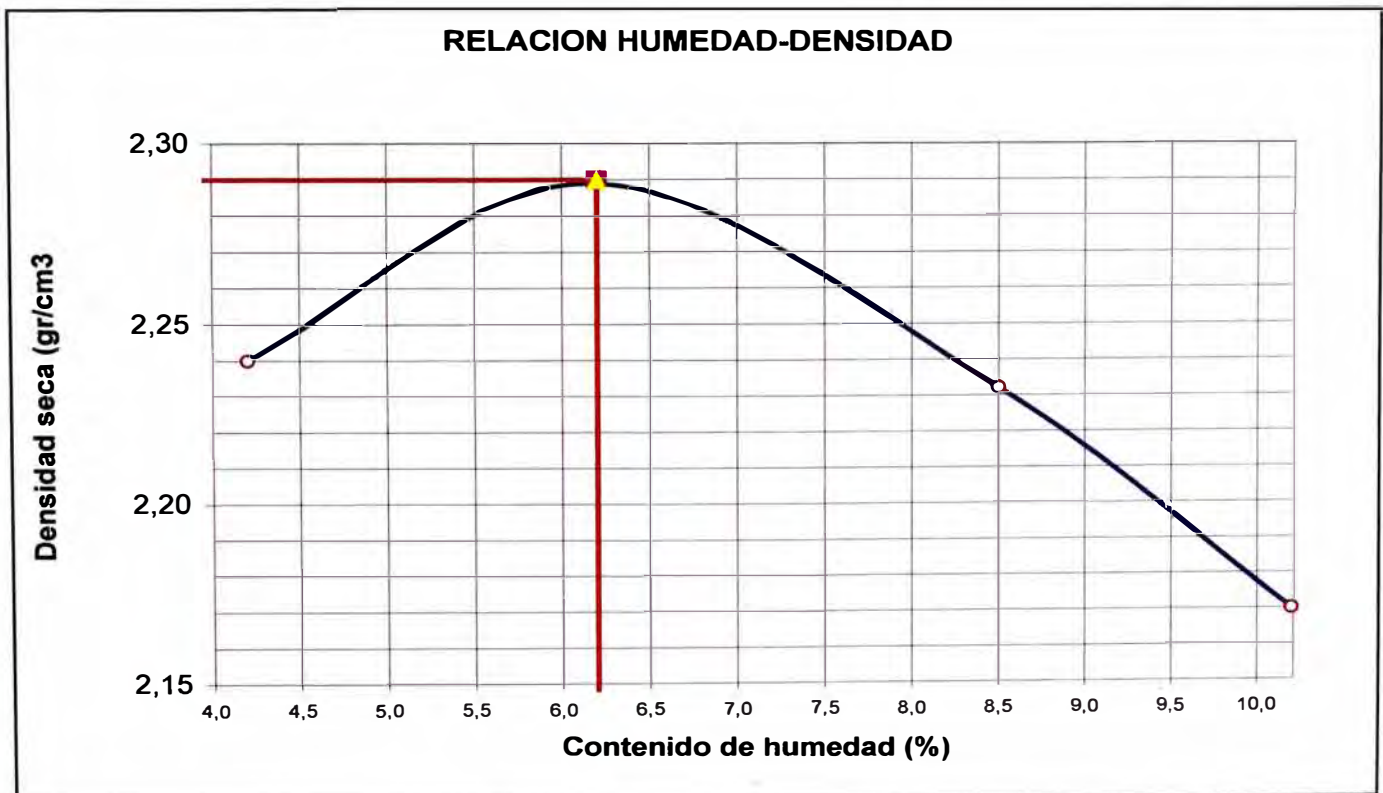
### PROCTOR MODIFICADO

#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA 36  
MUESTRA 2  
PROF. (m) 0.45-1.50

PROGRESIVA 55+860  
MOLDE N° 1  
METODO Modificado

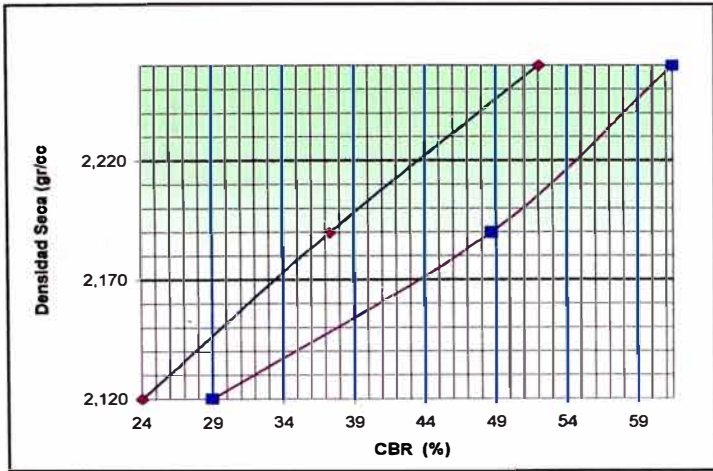
Peso suelo + molde	gr	12138	12340	12321	12258	
Peso molde	gr	7230	7230	7230	7230	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4906	51100	5091	5026	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2,33	2,43	2,42	2,39	
Recipiente	Nº					
Peso del suelo húmedo+tara	gr	500,0	500,0	500,0	500,0	
Peso del suelo seco + tara	gr	479,8	470,8	460,8	453,7	
Peso de tara	gr					
Peso de agua	gr	20,2	29,2	39,2	46,3	
Peso del suelo seco	gr	479,8	470,8			
Contenido de agua	%	4,20	6,20	8,50	10,20	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2,24	2,29	2,23	2,17	
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						2,29
Humedad óptima (%)						6,20



FUENTE : CESEL

**CALICATA:** 37  
**KM:** 56+570  
**MUESTRA :** 2 Prof : 0.30-1.50

**ENSAYO C.B.R.**  
**ASTM D1883**



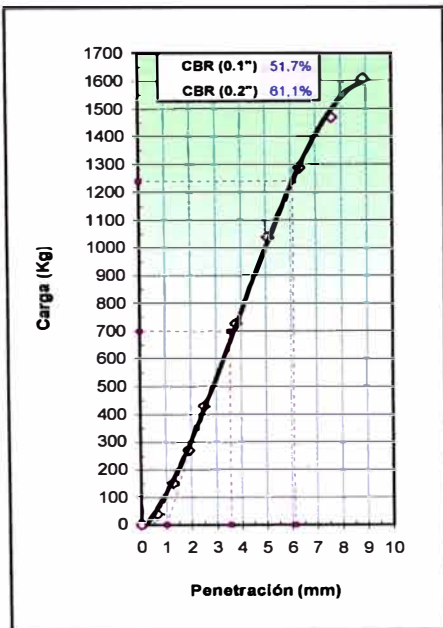
**METODO DE COMPACTACION :** AASHTO MODIFICADA  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc):** 2,250  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):** 7.2

**SUCS:** GP-GC  
**AASHTO:** A-1-a

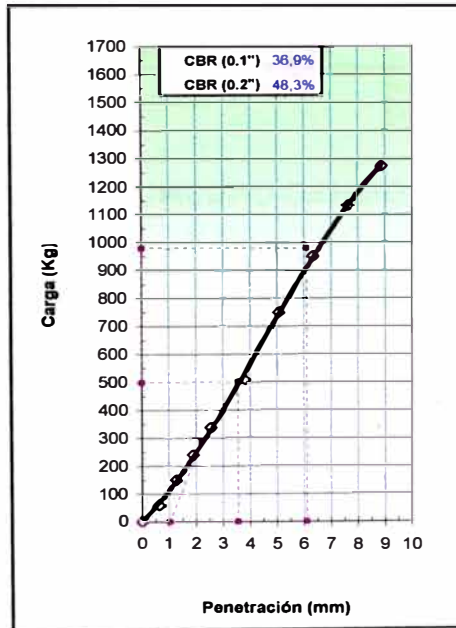
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 52,0	0.2": 61,0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 27,0	0.2": 36,0

**OBSERVACIONES:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

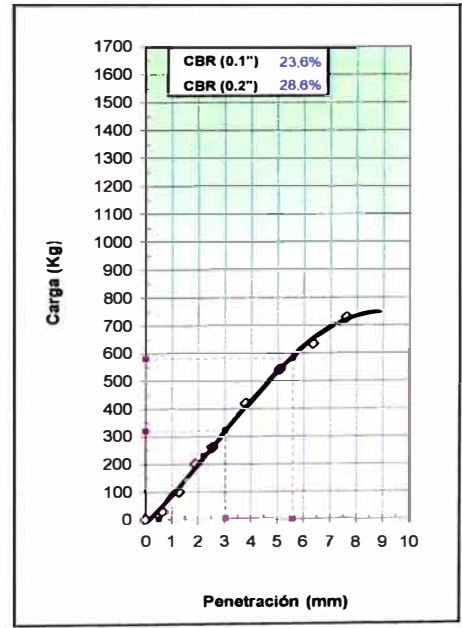
**EC = 56 GOLPES**



**EC = 25 GOLPES**



**EC = 12 GOLPES**



FUENTE : CESEL

## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

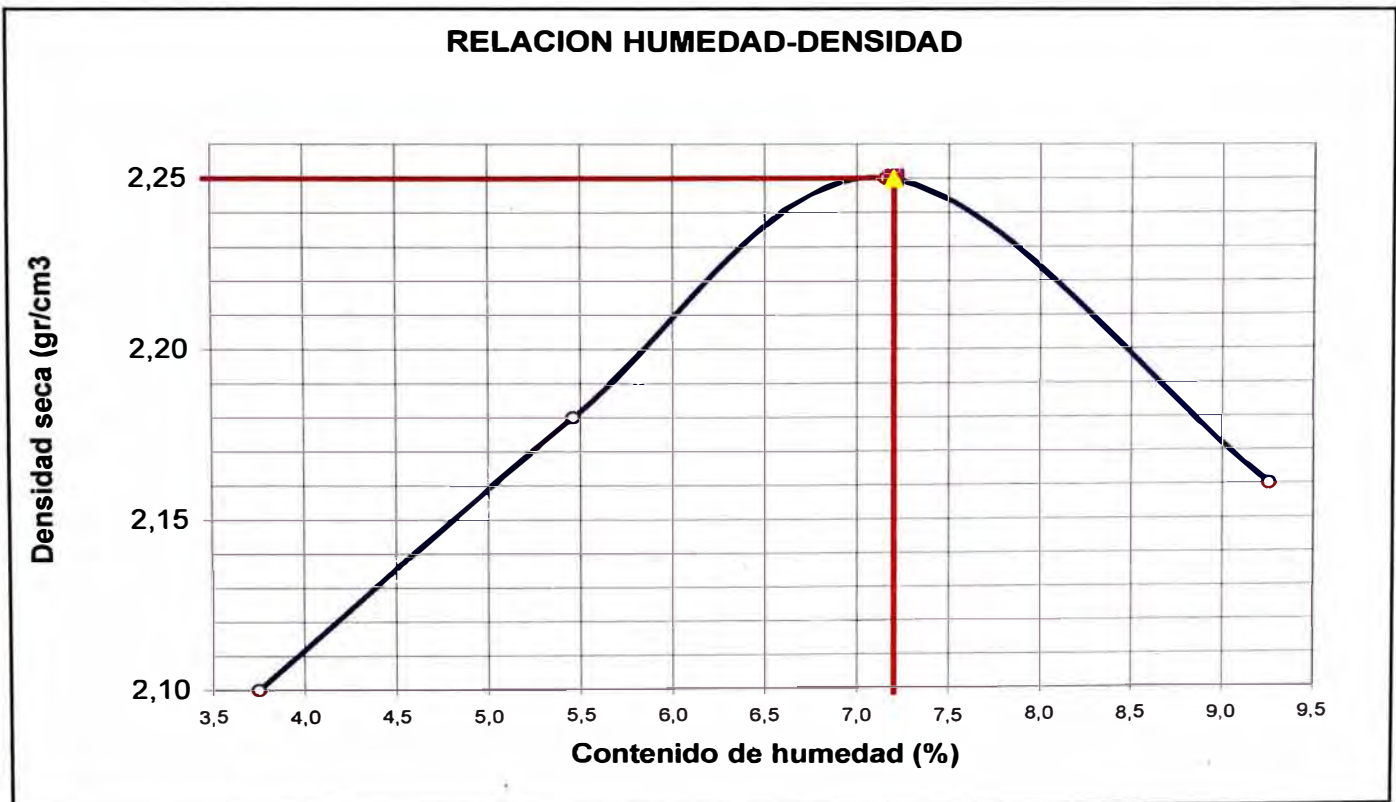
### PROCTOR MODIFICADO

#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA 37  
MUESTRA 2  
PROF. (m) 0.30-1.50

PROGRESIVA 56+570  
MOLDE N° 1  
METODO Modificado

Peso suelo + molde	gr	11812	12065	12296	12191	
Peso molde	gr	7230	7230	7230	7230	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4582	4835	5066	4961	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2,18	2,30	2,41	2,36	
Recipiente	Nº					
Peso del suelo húmedo+tara	gr	301,5	316,5	386,2	263,1	
Peso del suelo seco + tara	gr	290,6	300,1	360,4	240,8	
Peso de tara	gr					
Peso de agua	gr	10,9	16,4	25,8	22,3	
Peso del suelo seco	gr	290,6	300,1	360,4	240,8	
Contenido de agua	%	3,75	5,46	7,16	9,26	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2,10	2,18	2,25	2,16	
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						2,25
Humedad óptima (%)						7,20

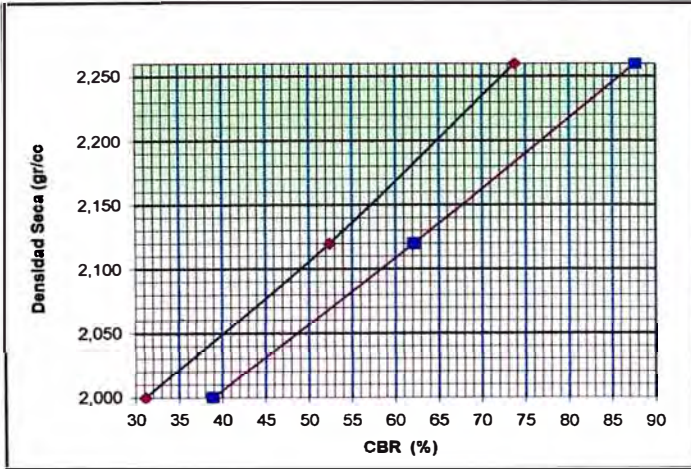


FUENTE : CESEL



**CALICATA:** 38  
**KM:** 57+000  
**MUESTRA :** 2 Prof :0.35-1.50

**ENSAYO C.B.R.**  
**ASTM D1883**



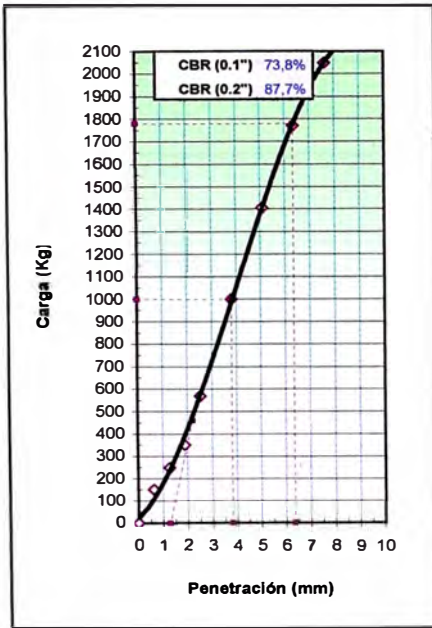
**METODO DE COMPACTACION :** AASHTO MODIFICADA  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc):** 2,260  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):** 5,2

**SUCS:** GW  
**AASHTO:** A-1-a

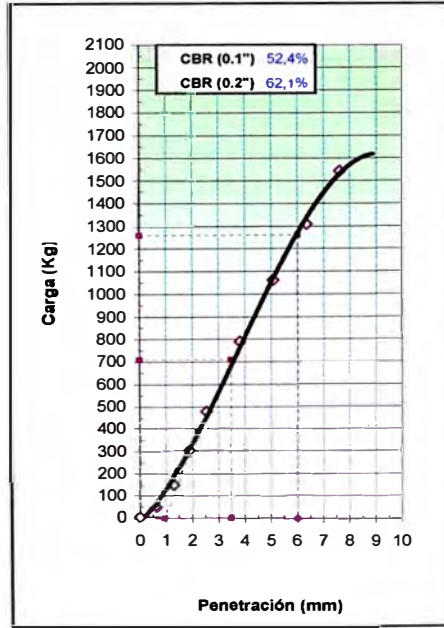
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 74,0	0.2": 88,0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 66,0	0.2": 68,0

**OBSERVACIONES:**

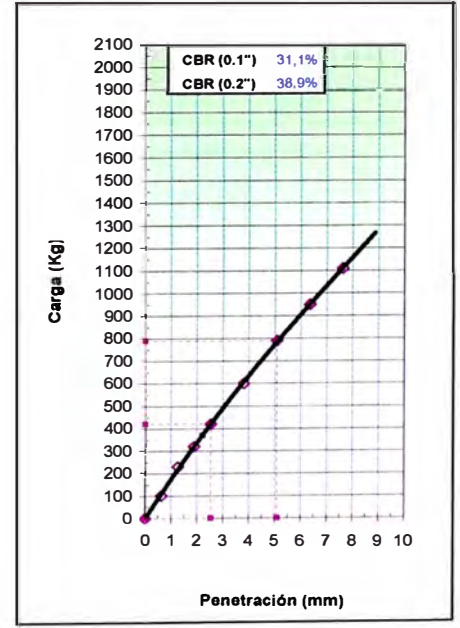
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



FUENTE : CESEL

## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

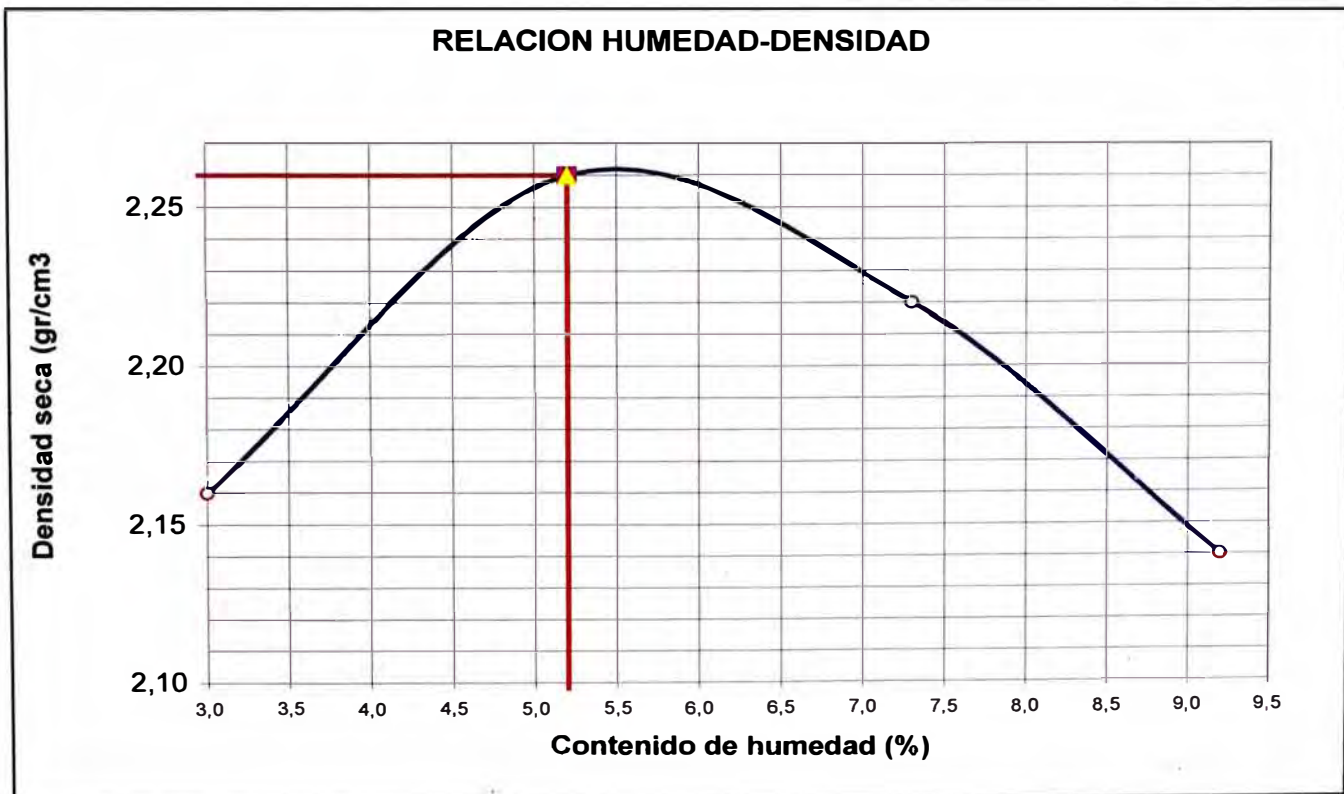
### PROCTOR MODIFICADO

#### DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA 38  
MUESTRA 2  
PROF. (m) 0.35-1.50

PROGRESIVA 57+000  
MOLDE N° 1  
METODO Modificado

Peso suelo + molde	gr	11907	12229	12237	12142	
Peso molde	gr	7230	7230	7230	7230	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4677	4999	5007	4912	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2,23	2,38	2,38	2,34	
Recipiente	N°					
Peso del suelo húmedo+tara	gr	500,0	500,0	500,0	500,0	
Peso del suelo seco + tara	gr	485,4	475,3	466	457,9	
Peso de tara	gr					
Peso de agua	gr	14,6	24,7	34,0	42,1	
Peso del suelo seco	gr	485,4	475,3	466	457,9	
Contenido de agua	%	3,00	5,20	7,30	9,20	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2,16	2,26	2,22	2,14	
					Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,26
					Humedad óptima (%)	5,20



FUENTE : CESEL



**CALICATA:** 39  
**KM:** 57+500  
**MUESTRA :** 2 Prof : 0.45-1.50

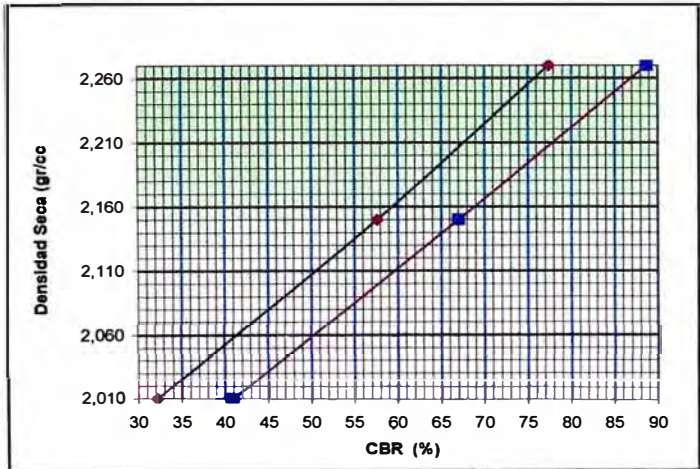
**ENSAYO C.B.R.**  
**ASTM D1883**

**METODO DE COMPACTACION :** AASHTO MODIFICADA  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc):** 2,270  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):** 5,2

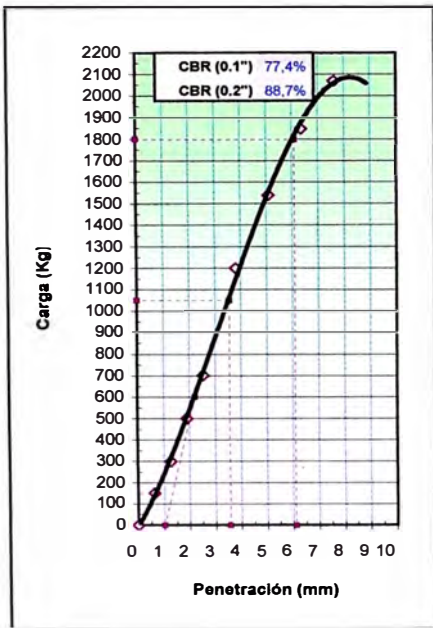
**SUCS:** GP-GW  
**AASHTO:** A-1-a

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 77,0	0.2": 89,0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 69,0	0.2": 69,0

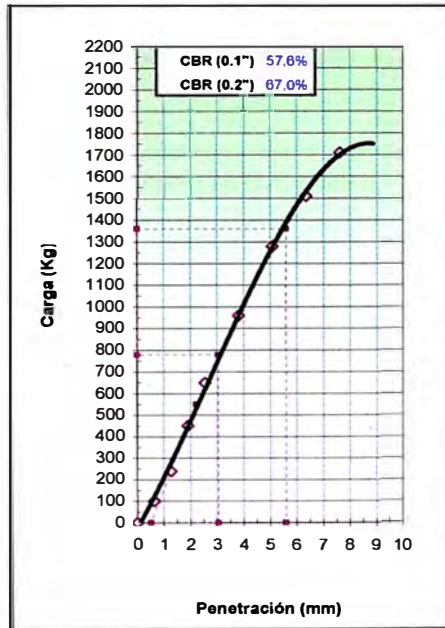
**OBSERVACIONES:**



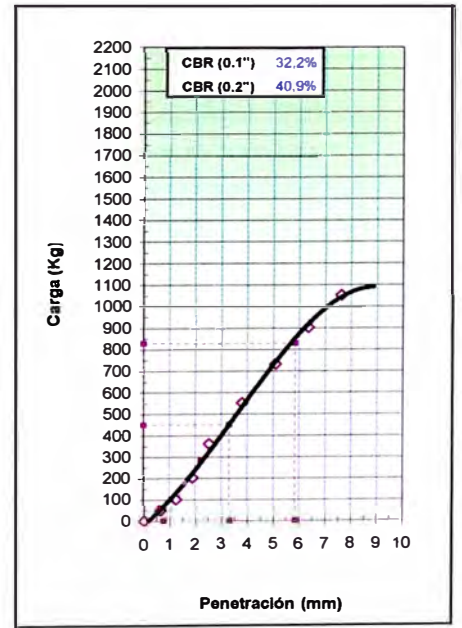
**EC = 56 GOLPES**



**EC = 25 GOLPES**



**EC = 12 GOLPES**



FUENTE : CESEL

## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

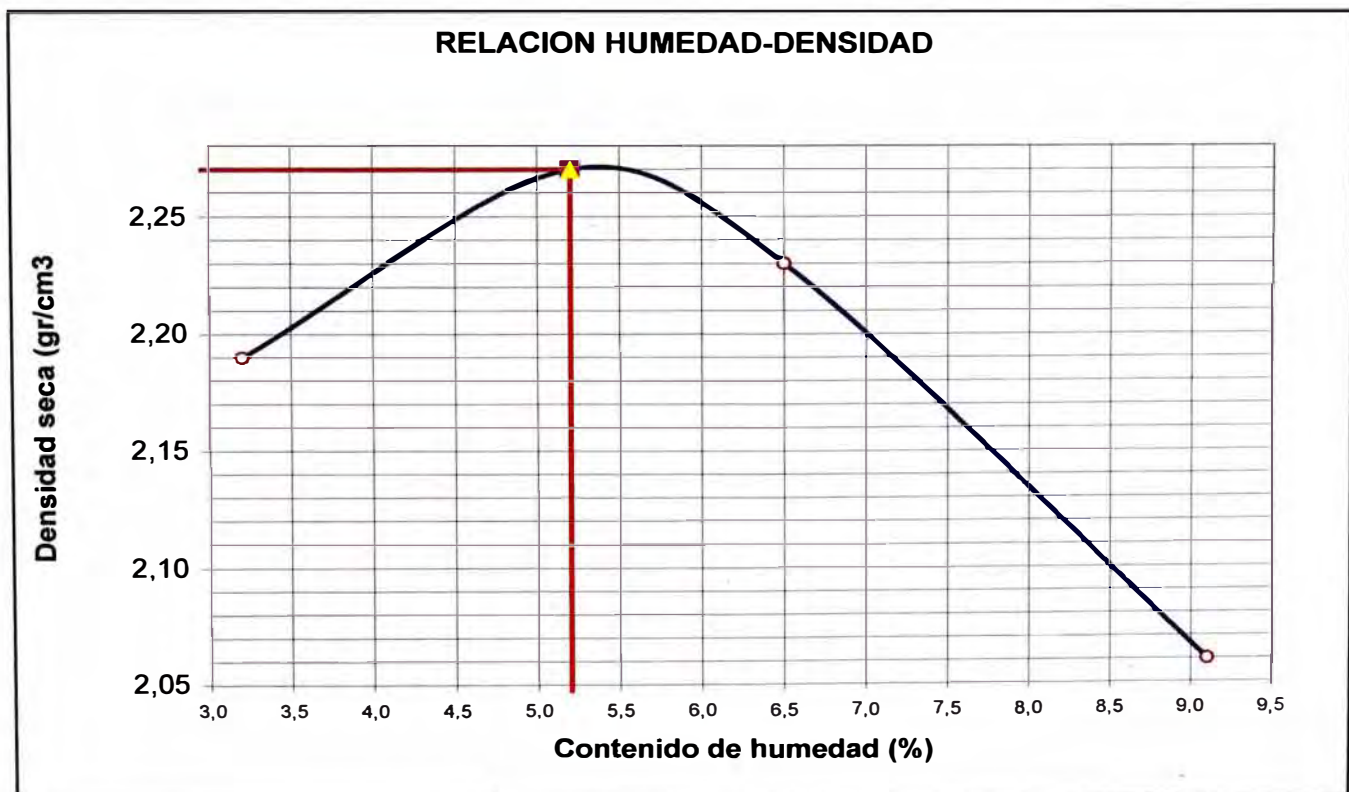
### PROCTOR MODIFICADO

#### DATOS DE LA MUESTRA

**CALICATA 39**  
**MUESTRA 2**  
**PROF. (m) 0.45-1.50**

**PROGRESIVA 57+500**  
**MOLDE N° 1**  
**METODO Modificado**

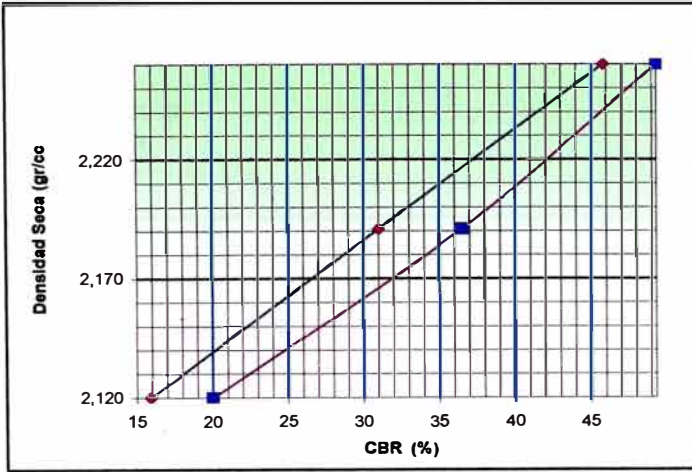
Peso suelo + molde	gr	11981	12250	12260	11953	
Peso molde	gr	7230	7230	7230	7230	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4751	5020	5030	4723	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2,26	2,39	2,39	2,25	
Recipiente	Nº					
Peso del suelo húmedo+tara	gr	500,0	500,0	500,0	500,0	
Peso del suelo seco + tara	gr	484,5	475,3	466	458,3	
Peso de tara	gr					
Peso de agua	gr	15,5	24,7	34,0	41,7	
Peso del suelo seco	gr	484,5	475,3	466	458,3	
Contenido de agua	%	3,20	5,20	7,30	9,10	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	2,19	2,27	2,23	2,06	
					Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	2,27
					Humedad óptima (%)	5,20



FUENTE : CESEL

**CALICATA:** 40  
**KM:** 57+910  
**MUESTRA :** 2 Prof : 0.40-1.50

**ENSAYO C.B.R.**  
**ASTM D1883**



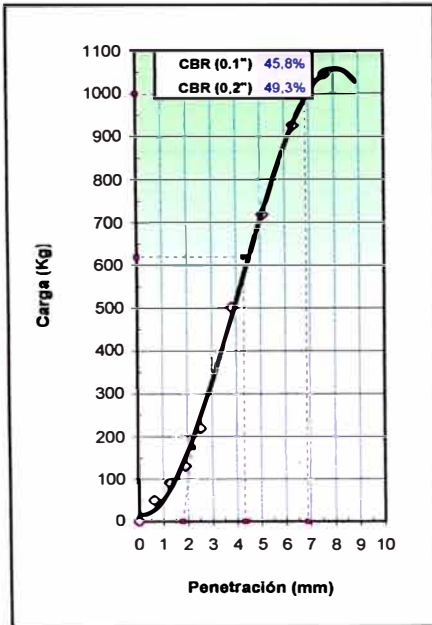
**METODO DE COMPACTACION :** AASHTO MODIFICADA  
**MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cc):** 2,260  
**OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%):** 7,2

**SUCS:** GC  
**AASHTO:** A-2-4

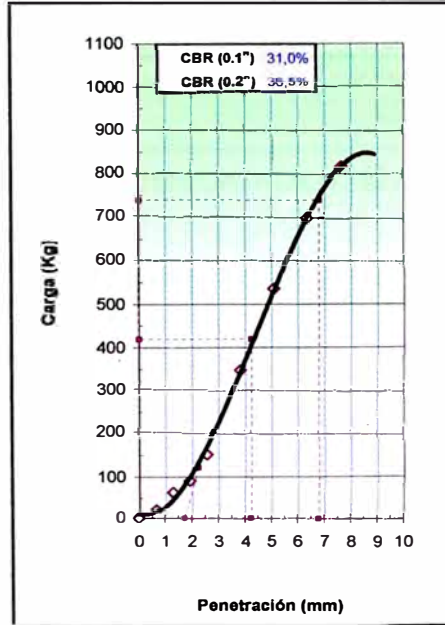
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 46,0	0.2": 49,0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 23,0	0.2": 28,0

**OBSERVACIONES:**

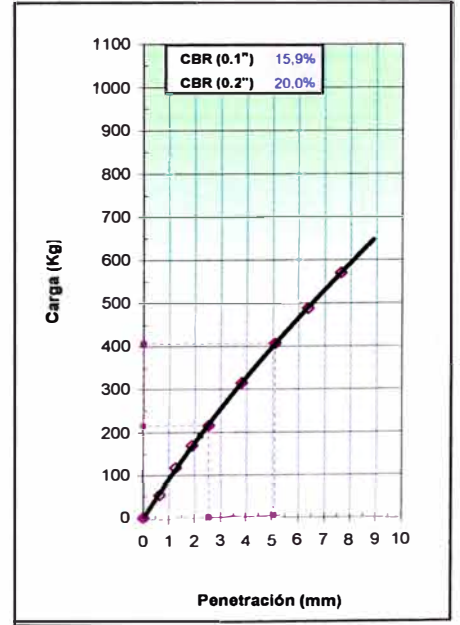
**EC = 56 GOLPES**



**EC = 25 GOLPES**



**EC = 12 GOLPES**



FUENTE: CESEL



## LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

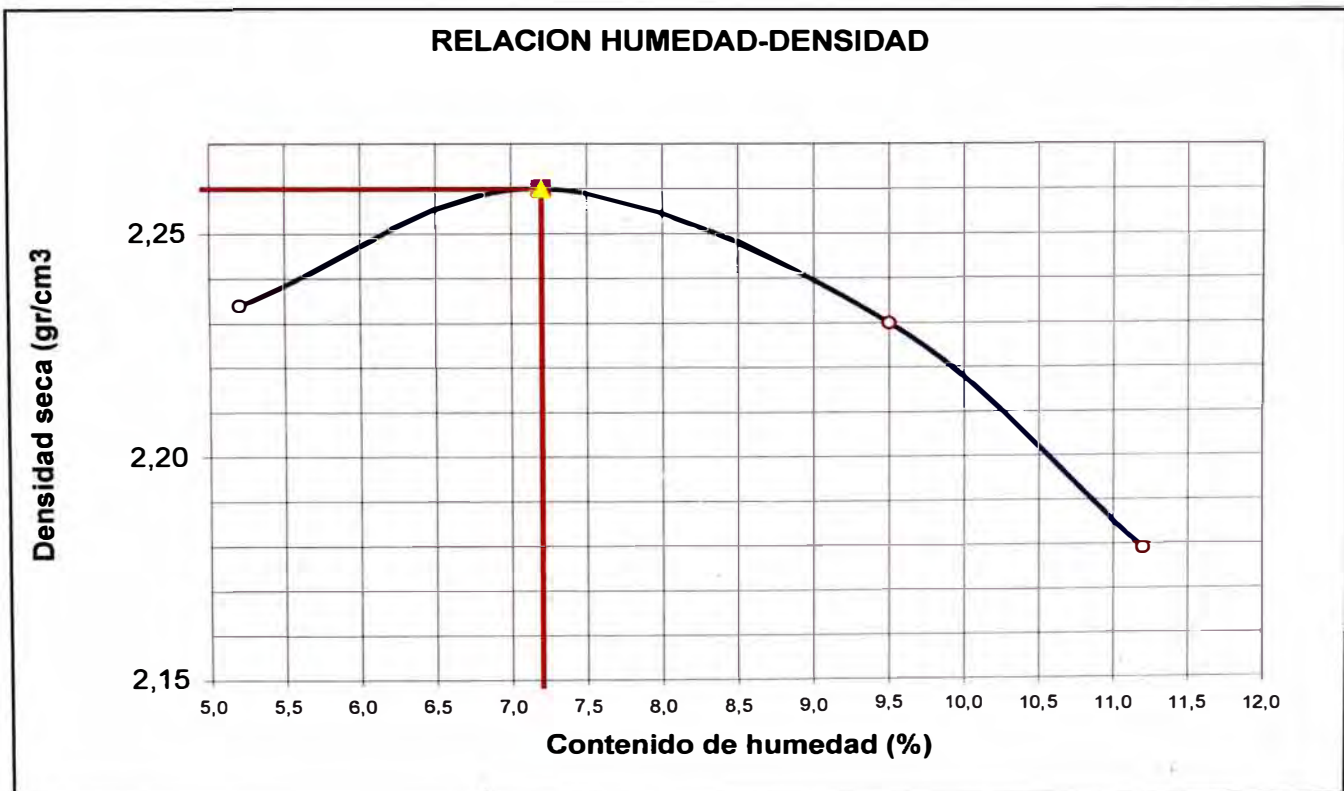
### PROCTOR MODIFICADO

#### DATOS DE LA MUESTRA

**CALICATA 40**  
**MUESTRA 2**  
**PROF. (m) 0.40-1.50**

**PROGRESIVA 57+910**  
**MOLDE N° 1**  
**METODO Modificado**

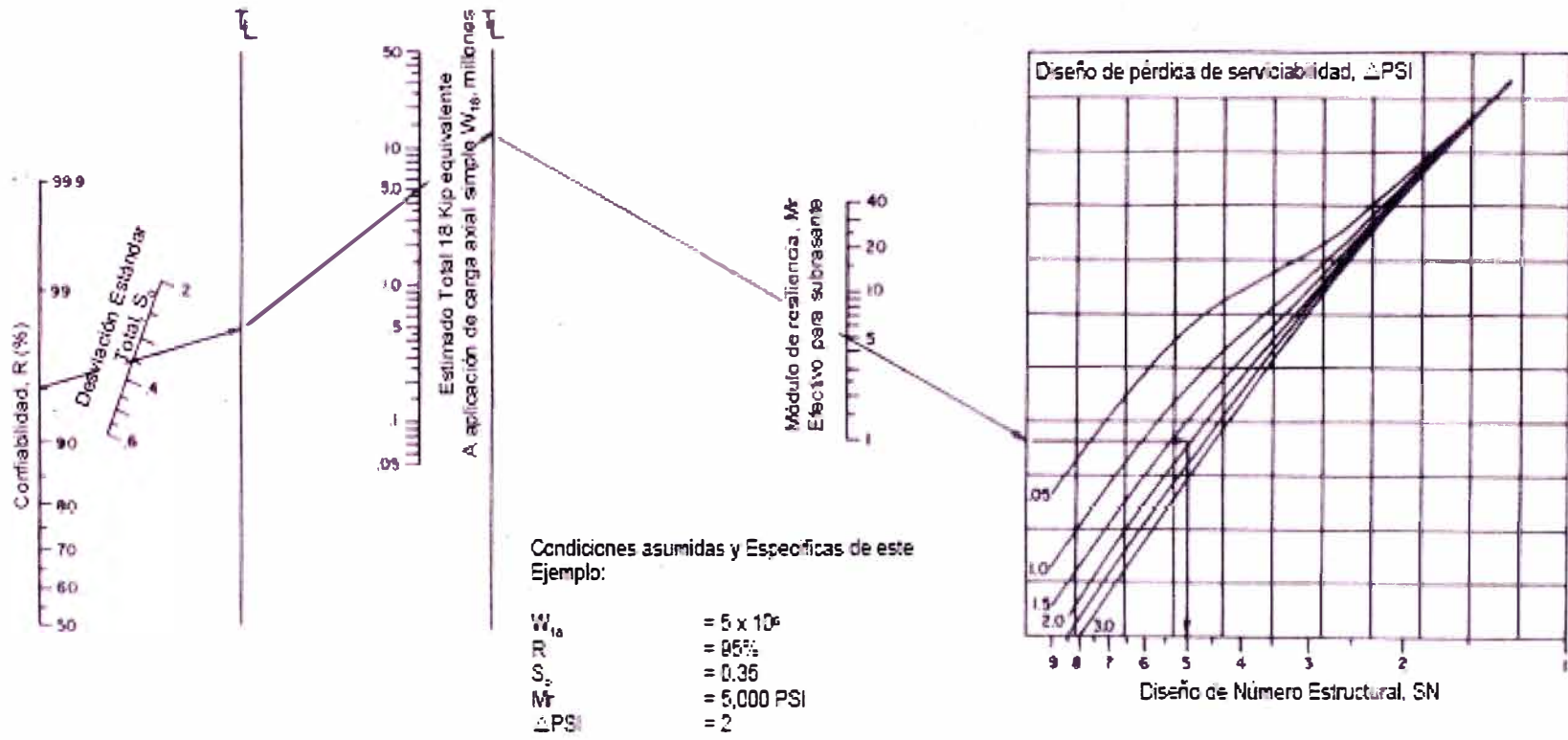
Peso suelo + molde	gr	12170	12323	12363	12323	
Peso molde	gr	7230	7230	7230	7230	
Peso suelo húmedo compactado	gr	4940	5093	5133	5093	
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>					
Peso volumétrico húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	2,35	2,42	2,44	2,42	
Recipiente	Nº					
Peso del suelo húmedo+tara	gr	500,0	500,0	500,0	500,0	
Peso del suelo seco + tara	gr	475,3	466,4	456,6	449,6	
Peso de tara	gr					
Peso de agua	gr	24,7	33,6	43,4	50,4	
Peso del suelo seco	gr	475,3	466,4	456,6	449,6	
Contenido de agua	%	<b>5,20</b>	<b>7,20</b>	<b>9,50</b>	<b>11,20</b>	
Peso volumétrico seco	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,23</b>	<b>2,26</b>	<b>2,23</b>	<b>2,18</b>	
Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )						<b>2,26</b>
Humedad óptima (%)						<b>7,20</b>



FUENTE : CESEL

### ANEXO 3

## Diseño de Número Estructural



Condiciones asumidas y Especificas de este Ejemplo:

- $W_{18}$  =  $5 \times 10^6$
- $R$  = 95%
- $S_e$  = 0.36
- $M_r$  = 5,000 PSI
- $\Delta PSI$  = 2

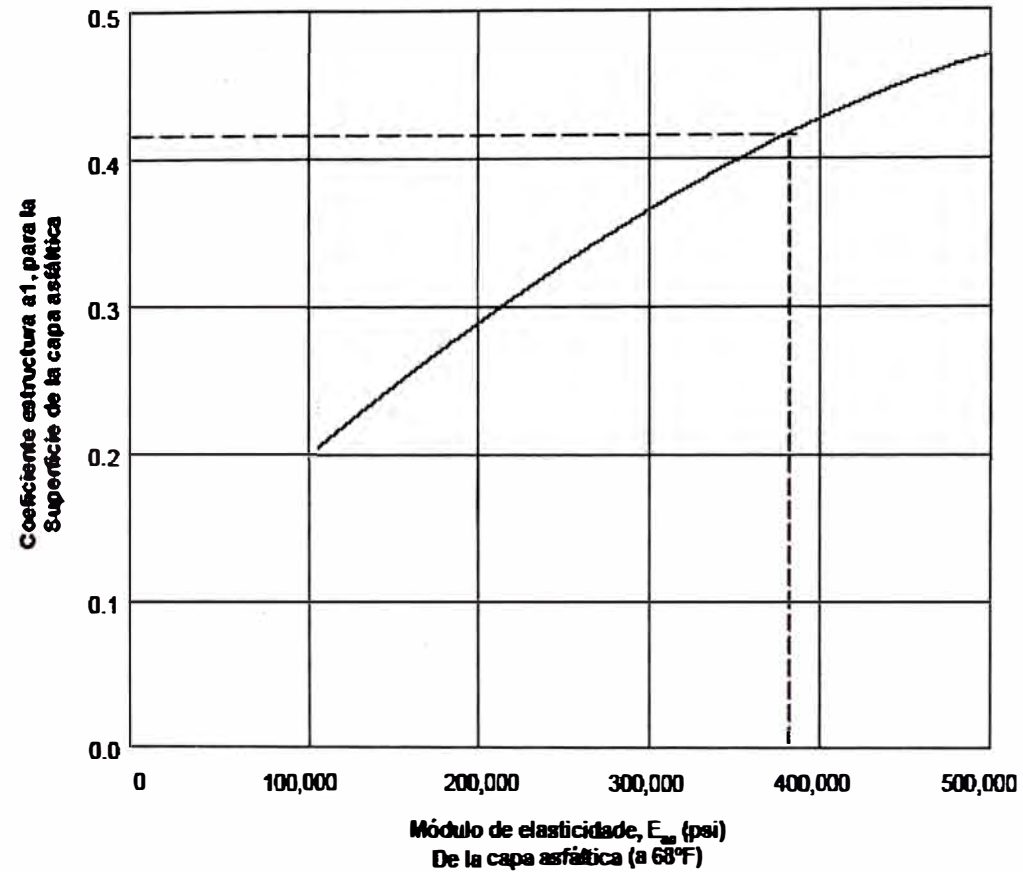
Solución:

SN = 5.0

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

## ANEXO 4

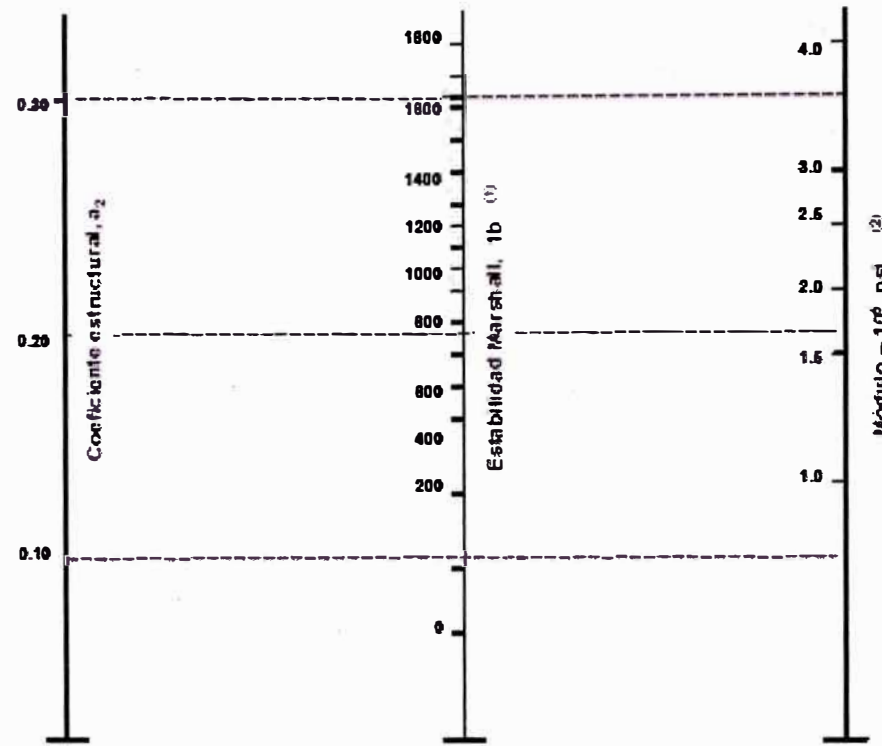
Coeficiente estructural a partir del Módulo elástico del concreto asfáltico



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos. AASHTO, 1.993

### ANEXO 5

Variación en el coeficiente estructural de la capa de concreto asfáltica

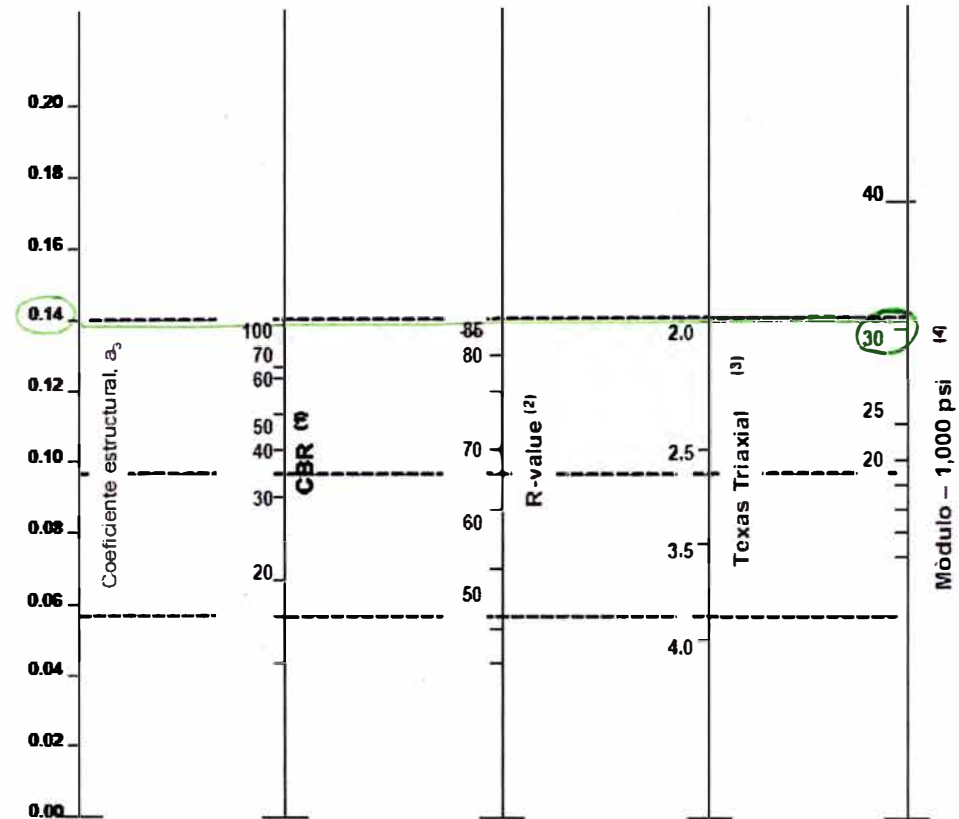


- (1) La escala deriva por correlación obtenida de Illinois
- (2) La escala derivó en el proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

## ANEXO 6

Variación en el coeficiente estructural de la capa de base



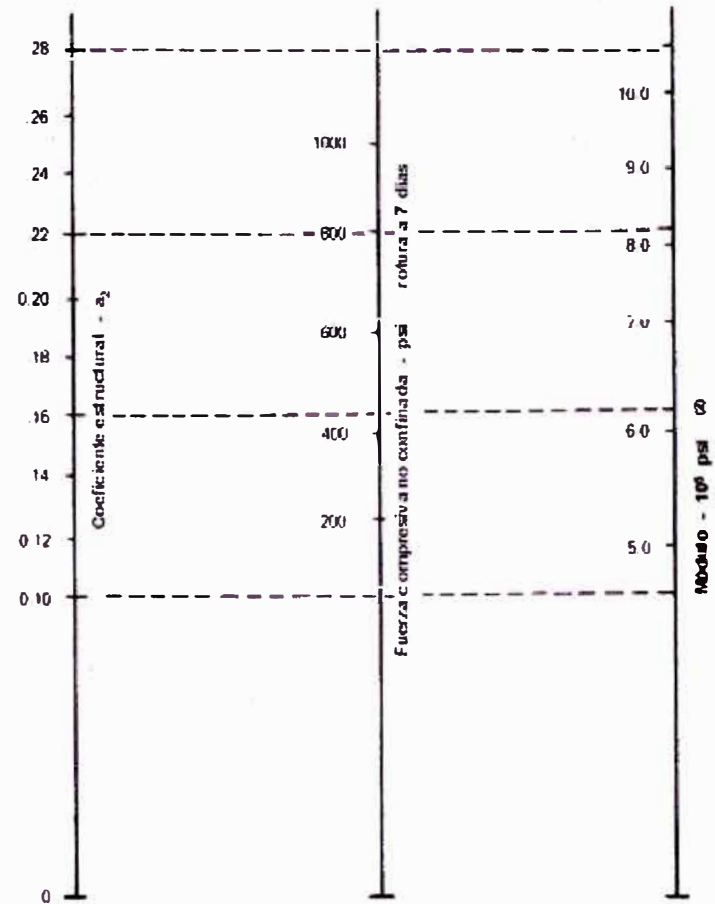
- (1) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de Illinois
- (2) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de California, New México y Wyoming
- (3) La escala derivó haciendo un promedio de las correlaciones obtenidas de Texas
- (4) La escala derivó en el proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos. AASHTO. 1.993



## ANEXO 7

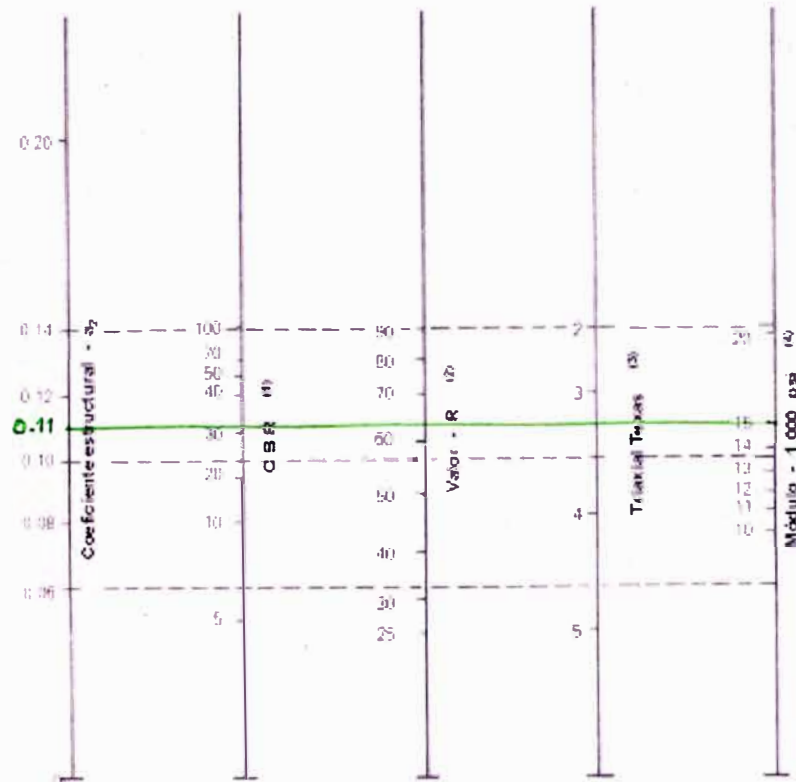
Variación en el coeficiente estructural de la capa de base estabilizada



(1) Escala derivada de los porcentajes obtenidos de las correlaciones de Illinois, Louisiana y Texas  
 (2) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

### ANEXO 8

Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase

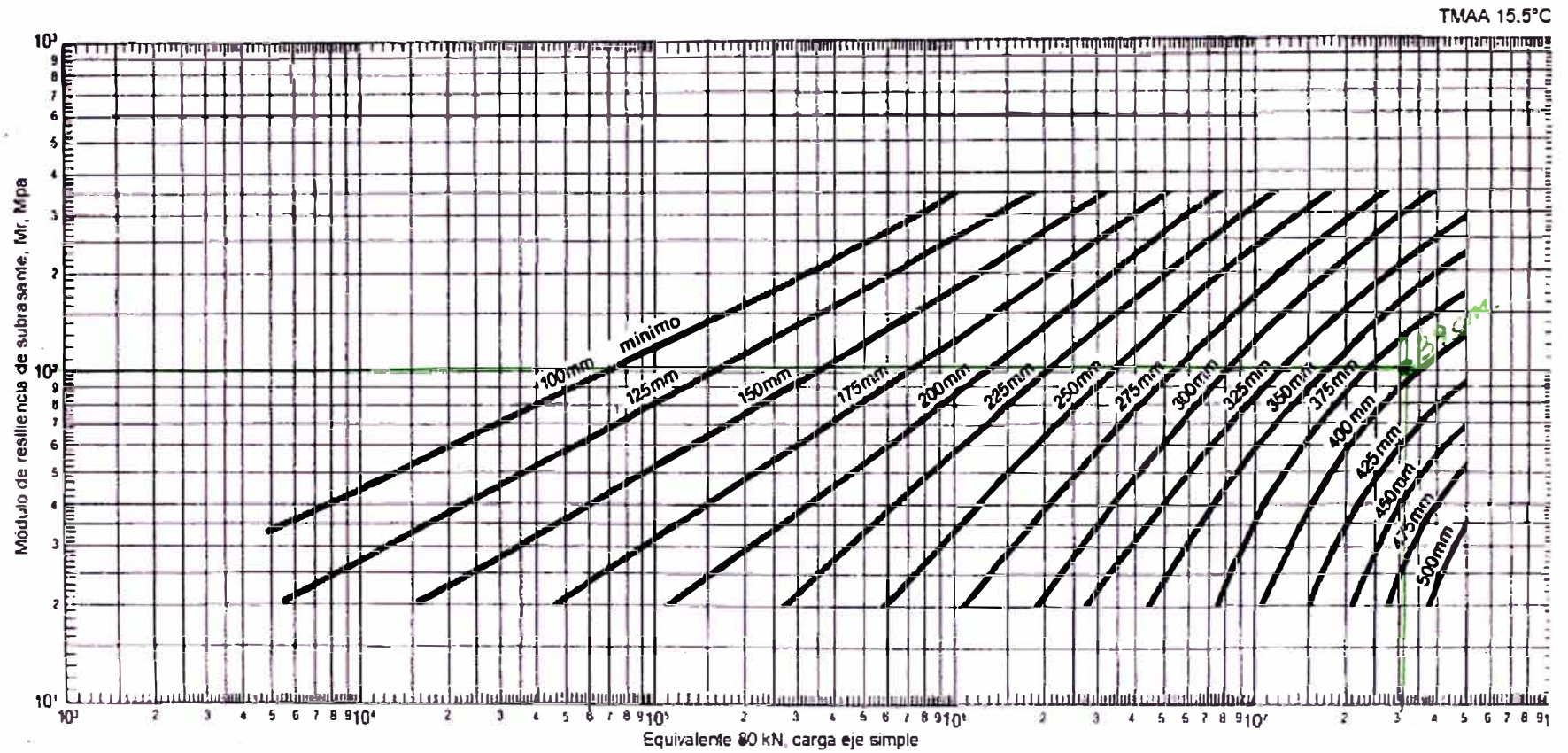


- (1) Escala derivada de las correlaciones de Illinois
- (2) Escala derivada de las correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, New México y Wyoming
- (3) Escala derivada de las correlaciones de Texas
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos. AASHTO, 1,993

## ANEXO 9

### CARTE DE DISEÑO A7 CONCRETO ASFALTICO EN TODO SU ESPESOR



Rehabilitation with Overlays

III-105

Table 5.2. Suggested Layer Coefficients for Existing AC Pavement Layer Materials

MATERIAL	SURFACE CONDITION	COEFFICIENT	
AC Surface	Little or no alligator cracking and/or only low-severity transverse cracking	0.35 to 0.40	
	< 10 percent low-severity alligator cracking and/or < 5 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.25 to 0.35	
	> 10 percent low-severity alligator cracking and/or < 10 percent medium-severity alligator cracking and/or > 5-10 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.20 to 0.30	
	> 10 percent medium-severity alligator cracking and/or < 10 percent high-severity alligator cracking and/or > 10 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.14 to 0.20	
	> 10 percent high-severity alligator cracking and/or > 10 percent high-severity transverse cracking	0.08 to 0.15	
	Stabilized Base	Little or no alligator cracking and/or only low-severity transverse cracking	0.20 to 0.35
		< 10 percent low-severity alligator cracking and/or < 5 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.15 to 0.25
> 10 percent low-severity alligator cracking and/or < 10 percent medium-severity alligator cracking and/or > 5-10 percent medium- and high-severity transverse cracking		0.15 to 0.20	
> 10 percent medium-severity alligator cracking and/or < 10 percent high-severity alligator cracking and/or > 10 percent medium- and high-severity transverse cracking		0.10 to 0.20	
> 10 percent high-severity alligator cracking and/or > 10 percent high-severity transverse cracking		0.08 to 0.15	
Granular Base or Subbase		No evidence of pumping, degradation, or contamination by fines	0.10 to 0.14
		Some evidence of pumping, degradation, or contamination by fines	0.00 to 0.10