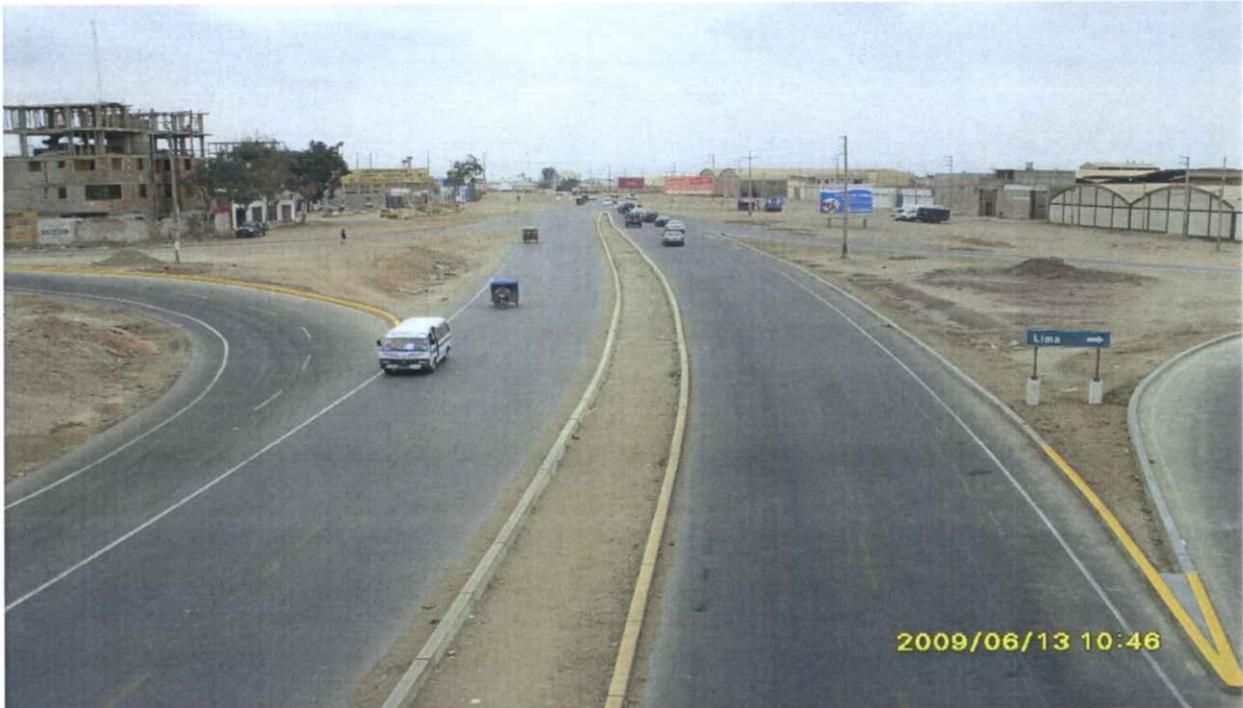




PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

## PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA VIAL DE TRANSPORTE NACIONAL



VOLUMEN N° 1 – MEMORIA DESCRIPTIVA  
ESTUDIOS BASICOS

**INFORME FINAL**



**CAPITULO XVIII: ANEXOS-ESTUDIOS BASICOS**

**ANEXO 4  
MEMORIA DE CALCULO PARA EL DISEÑO DE  
PAVIMENTOS**

SETIEMBRE 2011

## ANEXO 4: DISEÑO DE PAVIMENTOS

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 82478

1.- ASPECTOS GENERALES.....	003
2.- DESCRIPCION DE LA SUPERFICIE Y ESTRATIGRAFIA ACTUAL.....	003
3.- CBR DE VÍAS Y DETERMINACION DEL CBR.....	005
4.- PARAMETROS DE DISEÑO.....	007
4.1.- FACTOR DE CONFIABILIDAD (R).....	009
4.2.- DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	009
4.3.- OVERALL STANDART DESVIATION (SO) .....	010
4.4.- ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD.....	010
4.5.- PERIODO DE DISEÑO(N) .....	010
4.6.- ÍNDICES ESTRUCTURALES.....	010
4.7.- PROPIEDAD DE LOS MATERIALES.....	011
4.8.- MODULO DE RESILIENCIA.....	012
4.9.- TRAFICO Y CARGAS.....	012
4.10.- METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	013
4.11.- CONDICIONES DE ESTRATIGRAFÍA.....	013
4.12.- MÉTODO AASHTO VERSIÓN 93.....	013
4.12.1.- Diseño de espesores.....	013
4.12.2.- Diseño de pavimento por etapas.....	022
4.12.2.1.- Primera Etapa	
4.12.2.2.- Segunda Etapa	



*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
**CONSORCIO TEBOL**  
Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

<b>4.13.- MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO-91.....</b>	<b>028</b>	<b>002</b>
4.13.1.- Variables de Diseño.....	028	
4.13.1.1.- El Tránsito.....	028	
4.13.1.2.- Suelos Subrasantes.....	029	
4.13.1.3.- Diseño.....	031	
4.13.1.4.- Diseño por Etapas.....	032	
<b>4.14.- VERIFICACIÓN DEL DISEÑO POR MÉTODO ANALÍTICO.....</b>	<b>034</b>	
		  Walter J. Muñoz Delgado INGENIERO CIVIL CIP. 82478
<b>5.- ANALISIS DE CIMENTACION.....</b>	<b>040</b>	
<b>5.1.- TIPO DE CIMENTACIÓN.....</b>	<b>040</b>	
<b>5.2.- ANÁLISIS DE CAPACIDAD PORTANTE.....</b>	<b>040</b>	
<b>5.3.- CALCULO DE ASENTAMIENTOS.....</b>	<b>041</b>	
<b>5.4.- ASPECTOS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>043</b>	
5.4.1.- Geología.....	043	
5.4.2.- Geotecnia.....	043	
5.4.3.- Geodinámica Externa.....	044	
<b>6.- CONCLUSIONES.....</b>	<b>044</b>	
<b>7.- RECOMENDACIONES.....</b>	<b>047</b>	
<b>ANEXOS.....</b>	<b>050</b>	
• ANEXO 4.1: MEMORIA DE CÁLCULO.....	050	
• ANEXO 4.2: GRAFICO 08.....	053	
• ANEXO 4.3: GRAFICO 09.....	055	
• ANEXO 4.4: GRAFICO 10.....	057	
• ANEXO 4.5: GRAFICO 11.....	059	
• ANEXO 4.6: GRAFICO 12.....	061	



  
**CONSORCIO TEBOL**  
 Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP 39038

## DISEÑO DE PAVIMENTOS

### 1. ASPECTOS GENERALES

Para el Estudio Definitivo de la Construcción de la Autopista Pimentel – Chiclayo, se han diseñado las distintas capas del pavimento y los espesores, en base a las características de los materiales existentes, al tráfico previsto, a la capacidad soporte de la vía y a las condiciones ambientales de la zona de tal forma que el pavimento mantenga un "índice" de servicio aceptable durante su vida estimada. Para tal fin, los métodos de diseño que se aplican en el proyecto son: el AASHTO versión 1993 y la del ASPHALT INSTITUTE versión 1991 en donde analizaremos las cargas aplicadas de tráfico, se analizará la capacidad soporte de la subrasante, y a manera de verificar las alternativas de diseño se ha comparado la estructura del pavimento diseñada con el Método Analítico tomando en cuenta criterios de falla en la subrasante y en la carpeta asfáltica. Variables que se interrelacionan para determinar el diseño representativo según la demanda de tráfico proyectada en el periodo de diseño. El presente proyecto de culminación del Proyecto Construcción de la Autopista Pimentel – Chiclayo, abarca una longitud aproximada de 2.94 kilómetros desde la progresiva Km 6+967.37 hasta la progresiva Km 9+944.

### 2. DESCRIPCIÓN DE LA SUPERFICIE Y ESTRATIGRAFÍA ACTUAL

Actualmente la Autopista Pimentel – Chiclayo, está construida con dos vías de dos carriles de tránsito, cada una, hasta la progresiva Km 6+967.37, a partir de allí existe solo una vía de dos carriles hasta justo debajo del puente de la Vía de Evitamiento (Avda. Luis Heysen, Ruta PE 1N), en donde continúa nuevamente las dos vías de dos carriles de tránsito cada una, entonces para completar y terminar la autopista se realizará el estudio del tramo faltante que es 2.94 kilómetros.

En este tramo de estudio, la vía en su parte superficial se encuentra en un estado de conservación aceptable con un ancho de 6.00m, una capa de rodadura de pavimento asfáltico de 2 pulgadas de espesor, en algunas zonas no presenta bermas y a lo largo de su recorrido se estrangula la sección por efecto de invasión por parte de terceros a la zona de la vía. Pese a ello, la estructura de pavimento actual de la Vía no está considerada dentro del presente estudio por lo que se tendrá que analizar y evaluar todos los factores concernientes que demanda un nuevo proyecto vial.

CONSORCIO TEBOL

Ing. Mario Enrique Santocubas Alejandro  
CIP. 59030

INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

La topografía a la largo de la vía es ligeramente inclinada con una cuesta hacia el Este de 4 por mil aproximadamente y con una cota máxima de 41.00 m.s.n.m en la progresiva Km 9+670.

Para el Estudio y Evaluación de los suelos se realizaron los trabajos tanto en campo, laboratorio y gabinete, orientados a desarrollar las actividades que permitan establecer características físico – mecánicas del terreno natural y la estructura de la subrasante donde se apoyará el pavimento.

Los trabajos de campo han sido dirigidos a la obtención de la información necesaria para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo existente, mediante un programa de exploración directa, habiéndose ejecutado veinte (20) calicatas a cielo abierto, de las cuales ocho (08) fueron complementarias; distribuidas de tal manera que cubran toda el área de estudio y que nos permita obtener con bastante aproximación la conformación litológica de los suelos.

En base a ello se tiene una estratigrafía que a manera general tiene cierta variación, y se describe de la siguiente manera: desde la progresiva km 6+967.37 (inicio del proyecto) hasta la progresiva km 8+500, se tiene un predominio de Arenas Pobrementemente gradadas (SP) y de arenas limosas (SM) con menos incidencia, y a medida que se profundiza encontramos suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), estas arenas se manifiestan con espesores variables que fluctúan entre 0.50m a 1.5 m debajo de un primer estrato de suelo tipo grava arcillosa de espesor que varía entre 0.20m a 0.80m. Dentro de este tramo se tienen zonas aisladas con características propias tal es así que en los primeros metros desde la progresiva km 7+027 hasta la progresiva km 7+042 se tiene presencia de Napa Freática a una profundidad de 1.65m y 1.70m aproximadamente; en otras zonas en las progresivas km 8+332, se tiene una estructura variada, una primera capa de terreno de cultivo con espesor que llega hasta los 0.80m seguido de suelos tipo grava limo-arcillosa de espesor de 0.40m, posteriormente un estrato de arcilla inorgánicas de baja compresibilidad y mediana plasticidad de espesor de 0.40m y debajo de estratos de material tipo grava arcillosa de mediana plasticidad; y en la progresiva km 8+344 se suelo tipo arcilla de baja compresibilidad y mediana plasticidad con espesor de 1.20m, teniéndose como estrato superior terreno de cultivo; cabe mencionar que existe una zona entre las progresivas 8+380 hasta la progresiva 8+480 con material tipo grava arcillosa (GC), con un espesor que va desde el nivel de terreno natural hasta la profundidad de la calicata de 2.00m.

Continuando a la largo del tramo en estudio, desde la progresiva 8+500 al final del proyecto progresiva km 9+944, se tiene una mayor presencia de suelo tipo Limo Arcilloso de baja plasticidad (ML-CL) con un espesor mayor a 1.50m y arriba de este estrato encontramos suelo tipo grava arcillosa con espesor que varía entre 0.20m a 0.70m, así mismo en la parte final, progresivas km 9+590 y km 9+670, se tiene zonas con presencia de arenas arcillosas (SC) mezcla de arenas y arcilla de mediana plasticidad, con un espesor

mayor 1.30m y encima de este estrato encontramos material de afirmado o de relleno con espesor de 0.30 a 0.35m. En este tramo no se evidencia la presencia de Napa Freática.

En cuanto a la Capacidad de Soporte de la subrasante, como se menciona en la sectorización del Estudio de Suelos con la identificación de sectores homogéneos, se tiene que el Sub Sector 1 (km 6+967.37 al km 8+400) cuenta con suelos de mediana o buena capacidad de soporte identificados con suelos tipo SP o GC; mientras que el Sub Sector 2 (km 8+400 al km 9+944) cuenta con suelos con regular capacidad de soporte identificados con suelos tipo ML - CL, en general una capacidad de soporte de regular a buena.



**3. CBR DE VÍAS Y DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO**

Se ha obtenido los CBR, del tramo en estudio, que se muestran en los cuadros N° 01

**CUADRO N°01 "CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS SUBRASANTE"**

CAL.	PROG.	LADO	DATOS		CLASIFICACIÓN		PROCTOR		CBR 95% (2,5 mm)
			M	Prof. (m)	SUCS	AASHTO	MDS	OCH	
C-1	7+180	D	M-3	0.40 - 1.90	SP	A-3 (0)	1.92	12.47	12.40
CC-4	7+759	D	M-2	1.60 - 2.00	SM-SC	A-3 (0)	1.91	12.47	12.40
C-4	7+900	I	M-2	0.50 - 2.00	SP	A-3 (0)	1.91	12.47	12.40
C-6	8+400	I	M-2	0.45 - 2.00	GC	A-2-6 (0)	2.17	12.24	24.00
C-10	9+200	D	M-2	0.25 - 1.80	ML - CL	A-4 (7)	1.88	15.45	8.40

CONSORCIO TRESOL  
Ing. Hugo Enrique Santisaban Alejandra  
E.F. DE ESTUDIO  
C. 12.40

Para determinar el valor representativo de la capacidad de soporte del suelo se determina según el método a utilizar para el diseño de pavimentos.

Para el Método AASHTO utiliza el promedio de los valores de CBR de la Vía, y el Método del Instituto del Asfalto (USA), que utiliza un procedimiento estadístico (percentiles) por el cual se determina en función del tráfico proyectado (diseño).

A continuación se tiene un Cuadro con los valores de CBR de la Vía y el valor promedio de CBR, según el Método AASHTO.

Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 6576

**Determinación del CBR de Diseño (Valor Promedio)**

CAL.	PROG.	LADO	DATOS		PROCTOR		CBR 95% (2,5 mm)
			M	Prof. (m)	MDS	OCH	MDS
C-1	7+180	D	M-3	0.40 - 1.90	1.92	11.47	13.40
CC-4	7+759	D	M-2	1.60 - 2.00	1.91	12.47	12.40
C-4	7+900	I	M-2	0.50 - 2.00	1.91	12.47	12.40
C-10	9+200	D	M-2	0.25 - 1.80	1.88	15.45	8.40
<b>Promedio</b>							11.65
<b>Desviación Standart</b>							2.22
<b>Coefficiente de Variación</b>							19.06



Para este método el valor de CBR de la calicata C-6, no es un valor representativo porque comprende una zona de poca longitud de aproximadamente 100m y presenta un material tipo GC, que por si tiene un valor de CBR relativamente alto y que no es predominante en el tramo de estudio.

En el siguiente Cuadro "Valor del Percentil por Nivel de Tránsito", se muestra los percentiles de diseño recomendados para el Método del Instituto del Asfalto.

**VALOR DEL PERCENTIL POR NIVEL DE TRANSITO**

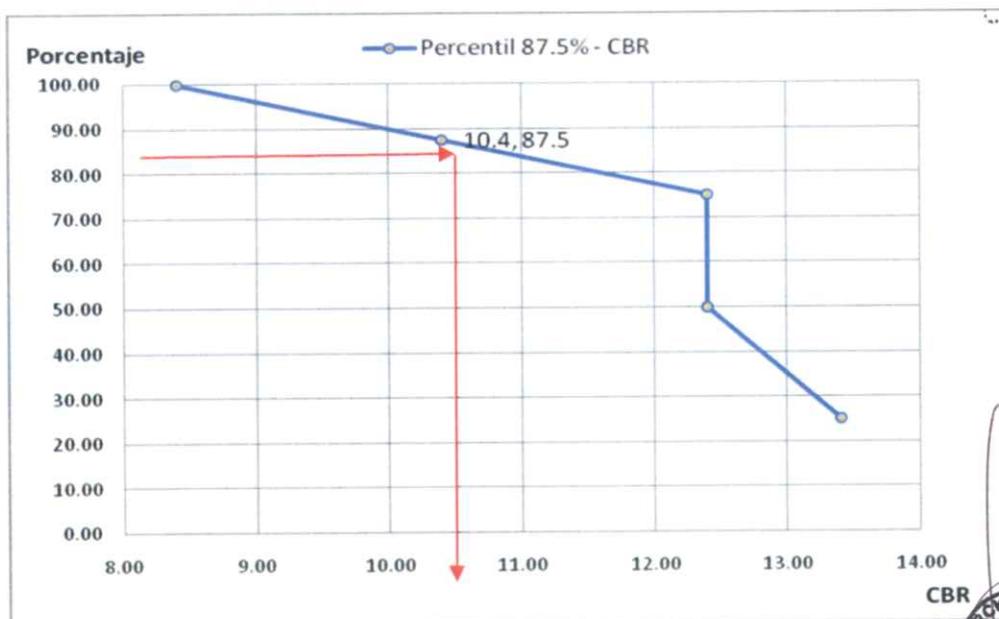
NIVEL DEL TRANSITO (EAL)	PERCENTIL DE DISEÑO (%)
10 <sup>4</sup> o menor	60
Entre 10 <sup>4</sup> o 10 <sup>6</sup>	75
10 <sup>6</sup> o más	87.5

**CONSORCIO TEBOL**  
Ing. Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

Para el presente estudio, el nivel de tráfico (EAL <sub>8,2</sub>) registrado supera el nivel de tránsito de 10<sup>6</sup> (ver Estudio de Tráfico y de Cargas), por lo que el percentil de diseño a considerar será de 87.5%.

Según ello calculamos los valores de CBR de diseño, según el cuadro siguiente tenemos un valor de 10.40% para un valor de percentil de 87.5% (se ha calculado el percentil con todos los valores de CBR del tramo de estudio)

**CONSORCIO TEBOL**  
Walter J. Marmoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476



Determinación del Percentil 87.5 (Método del Instituto del Asfalto)

Luego los valores de CBR de diseño para cada Método se muestra en el Cuadro N° 02: "Resumen del CBR de Diseño".

CUADRO N°02 RESUMEN DEL CBR DE DISEÑO

SECTOR	PROGRESIVA	CBR DE DISEÑO (Método AASHTO (%))	CBR DE DISEÑO (Método Instituto del Asfalto (%))
SECTOR	6+967.37 a 9+940	11.65	10.40

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 82572

#### 4. PARÁMETROS DE DISEÑO

Para el diseño de pavimentos se ha considerado utilizar el método AASHTO contenido en la Guía de 1993, para efectos de determinar el espesor del refuerzo del pavimento requerido. Los parámetros de diseño que se consideran son las propiedades de los materiales, tipo de tránsito, condiciones ambientales, etc.

La fórmula general que gobierna el número estructural de diseño, presenta la siguiente expresión:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

CONSORCIO TEBOL  
*Hugo Enrique Santiseban Alejandro*  
Ing. Hugo Enrique Santiseban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
C.I.P. 19038

Donde:

- W18: Número total de Ejes Equivalentes, para el período de diseño
- ZR: Desviación Stándar Normal
- SO: Desviación estándar combinada en la estimación de los parámetros y del comportamiento del modelo (0.45)
- SN: Número Estructural
- $\Delta$  PSI: Diferencial de Serviciabilidad (Serviciabilidad inicial  $p_i$ , depende del tipo de superficie de rodadura – Serviciabilidad final  $p_f$ )
- MR: Módulo de Resiliencia de la subrasante.
- SN: Numero Estructural

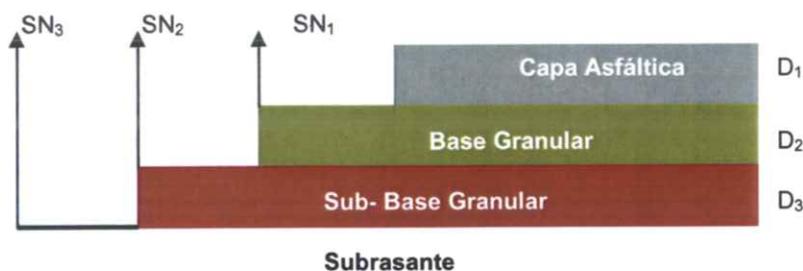
El número estructural de resistencia del pavimento flexible viene dado por la fórmula:

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

Donde:

- $a_1$ : Coeficiente estructural de la capa de rodadura
- $D_1$ : Espesor de la capa de rodadura (cm)
- $a_2$ : Coeficiente estructural de la capa de base granular
- $D_2$ : Espesor de la capa de base granular (cm)
- $m_2$ : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 2.
- $a_3$ : Coeficiente estructural de la capa de sub base granular
- $D_3$ : Espesor de la capa de sub base granular (cm)
- $m_3$ : Coeficiente que refleja el drenaje de la capa 3

El Número Estructural es un valor abstracto que representa la resistencia total de la estructura de un pavimento para una determinada categoría de subrasante, condición de tráfico e índice de servicio al final de la vida útil.



CONSORCIO TEBOL  
VPB<sup>o</sup>

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476

CONSORCIO TEBOL  
*Hugo Enrique Sautisiebán Alejandro*  
Ing. Hugo Enrique Sautisiebán Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

Con la ecuación anterior se obtiene el Número Estructural SN para diferentes grupos de espesores de capas de pavimento que combinados proporcionan la capacidad de carga requerida capaz de soportar el tránsito previsto durante el Período de Diseño. Así, se obtienen los siguientes espesores de Carpeta Asfáltica, Base Granular D2 y Sub-base D3, respectivamente.

#### 4.1 FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)

Básicamente, es una forma de incorporar cierto grado de certeza en el proceso de diseño, para garantizar que la sección del pavimento proyectado se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tráfico y medio ambiente durante el periodo de diseño.

El nivel de confianza tiene como función garantizar que las alternativas adoptadas perduren durante el periodo de diseño.

En el Cuadro N°03 "Niveles de Confianza sugeridos para Diferentes Carreteras" se indican los rangos de confiabilidad sugeridos para distintos tipos de carreteras, clasificados según su funcionalidad. Para el Estudio Definitivo para la Culminación de la Construcción de la Autopista Pimentel – Chiclayo", se adoptará una confiabilidad del 90%, por ser una carretera local interdistrital.

CUADRO N° 03

#### NIVELES DE CONFIANZA SUGERIDOS PARA DIFERENTES CARRETERAS

CLASIFICACION	NIVELES DE CONFIBILIDAD RECOMENDADO	
	URBANA	RURAL
Interestatales y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 – 95
Colectoras de Transito	80 - 95	75 – 95
Carreteras Locales	50 - 80	50 - 80

*Walter J. Muñoz Delgado*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62470

#### 4.2 DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Valores de la Desviación Standard Normal", se muestran en el cuadro N° 03 donde se aprecia los valores de Desviación Standard Normal que se adopta en base al Nivel de Confianza. Según la Guía de Diseño AASHTO, resulta un  $Z_R$  de -1.282 para un nivel de confiabilidad de 90%.

CONSORCIO TEBOL  
*Ing. Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
C.E.S. DE ESTUDIO

CUADRO N° 03.  
 VALORES DE DESVIACION ESTANDAR NORMAL

NIVELES DE CONFIABILIDAD	DESVIACION ESTÁNDAR NORMAL (Z <sub>R</sub> )
60	-0.253
70	-0.524
80	-0.841
90	-1.282
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090

**4.3 OVERALL STANDART DESVIATON (SO)**

Es la desviación estándar de la población de valores obtenidos por AASHTO. Considerando que se ha efectuado un estudio de trafico detallado que ha incluido censos de vehículos y de cargas, se adopta para pavimento flexibles un valor  $S_o = 0.45$ .

**4.4 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD**

El índice de Serviabilidad inicial (PSI<sub>i</sub>) surgió de los tramos experimentales del AASHTO Road Test, resultando 4.2 para pavimentos flexibles. El índice de Serviabilidad final (PSI<sub>f</sub>) corresponde al índice más bajo tolerable antes de procederse a una rehabilitación o reconstrucción. Para pavimentos flexibles se emplea el PSI<sub>f</sub> = 2.0 Luego el diferencial del Índice de Serviabilidad  $\Delta$  PSI es 2.2.

**4.5 PERIODO DE DISEÑO (N)**

El período de diseño empleado para la obtención de las estructuras del pavimento es de 10 y 20 años.

**4.6 INDICES ESTRUCTURALES**

Los coeficientes estructurales de capa considerados para el cálculo del número estructural de diseño son los siguientes:

- Primera Capa: Corresponde a la Mezcla Asfáltica en Caliente con un Modulo de Resilencia de 400,000 Lb/pulg<sup>2</sup> y coeficiente estructural  $a_1$  de 0.42/pulg.; valor que se



*Walter J. Muñoz Delgado*  
 Walter J. Muñoz Delgado  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62478

*Enrique Santisibán Alejandro*  
 CONSORCIO TEBOL  
 Ing. Enrique Santisibán Alejandro  
 INGENIERO CIVIL

estima en el Grafico N°08 denominado "Variación de  $a_1$  en función del Modulo Resiliente del Concreto Asfáltico".(Ver en Anexo 01)

- Segunda Capa: Corresponde a una Base Granular, con CBR mínimo de 100% y coeficiente estructural  $a_2$  de 0.14/pulg.; valor que se determina en el Grafico N°09 denominado "Variación de Coeficiente  $a_2$  con diferentes parámetros de resistencia de la base granular".(Ver en Anexo 2)
- Tercera Capa: Corresponde a una Subbase Granular, con un CBR mínimo de 40% y coeficiente estructural  $a_3$  de 0.12/pulg.; valor que se estima en el Grafico N°10 denominado "Variación de Coeficiente  $a_3$  con diferentes parámetros de resistencia de la sub-base".(Ver en Anexo 3)

*Waiter J. Muñoz Delgado*  
**Waiter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

#### 4.7 PROPIEDAD DE LOS MATERIALES

Representa el porcentaje del tiempo durante el Período de Diseño, que las capas granulares, estarán expuestas a niveles de humedad cercanos a la saturación. En el Cuadro N° 04 "Valores de Coeficiente de Drenaje", muestra los valores recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y subbase granular, frente a condiciones de humedad.

**CUADRO N° 04-COEFICIENTE DE DRENAJE**



Características de Drenaje	Termino de Agua Eliminada	% de tiempo en el año q la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
		<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	2 horas	1.40 -1.35	1.35 -1.30	1.30 -1.20	1.20
Buena	1 día	1.35 -1.25	1.25 -1.15	1.15 -1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25 -1.15	1.15 -1.05	1.00 -0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 -1.05	1.05 -0.80	0.80 -0.60	0.60
Muy Mala	El agua no drena	1.05 -0.95	0.95 -0.75	0.75 -0.40	0.40

Para el presente proyecto la característica es que es zona Costera, presenta lluvias moderadas en los meses de verano y escasas precipitaciones en el resto del año, presentan drenes agrícolas, acequias y alcantarillas. La topografía es relativamente plana sin presencia de relieve accidentado, por lo que se estima que el tiempo de exposición de la estructura a nivel de humedad próxima a la saturación es del orden de **5-25%**, calidad de

**CONSORCIO TEBOL**  
*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
**Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro**  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP 39038

drenaje es Buena, es así que los coeficientes de drenaje son:  $m_1=1.10$  y  $m_2=1.10$  por ser ambos el mismo material gravoso GW – GM de la misma cantera.

**4.8 MODULO DE RESILIENCIA**

En el método de AASHTO de 1993, el modulo de Resiliencia reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. El modulo de Resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento.

Este parámetro se puede determinar a través de los ensayos dinámicos y de repeticiones de carga, sin embargo la guía AASHTO reconoce que muchas agencias no poseen los equipos para determinar el Mr y propone el uso de la conocida correlación con el CBR:

MR (psi)= 1500 x CBR	CBR < 10%	Ecuación Guía AASHTO
MR (psi)= 3000 CBR <sup>0.65</sup>	10% < CBR < 20%	Formula Sudafricana
Mr = 4326xlnCBR + 241	Suelos Granulares	Ecuación Guía AASHTO

Según ello se aplica cada fórmula para el valor de CBR de diseño, de este valor obtenemos su modulo de Resiliencia, según el siguiente Cuadro Nº 05: "Valores del Modulo de Resiliencia":

CUADRO Nº 05 – VALORES DEL MODULO DE RESILIENCIA

Tramos		Sector	Método AASHTO	
Km	Km		CBR(%)	Mr(psi)
6+967.37	9+944	01	11.65	14,799

*Waiter J. Muñoz Delgado*  
 Waiter J. Muñoz Delgado  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476



**4.9 TRÁFICO Y CARGAS**

CONSORCIO TEBOL

*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
 Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

El cálculo del EAL (W18).- es el número de repeticiones de cargas equivalentes de un eje simple de ruedas duales de carga estándar de 18,000 lb (8.2 tn.) acumulados en el periodo de diseño, denotado como W18 y el cálculo del mismo se definió del estudio de tránsito que viene hacer el conteo de vehículos por tipo y el pesaje de los mismos, de manera que

se hallaron los Factores de Carga de cada tipo de vehículo que transito por la Carretera Pimentel - Chiclayo. (Valor tomado del estudio de tráfico, debido al conteo que se realizo para el tránsito de ida y vuelta con una sola Vía de dos carriles, la autopista será de dos Vías de dos carriles cada una).

**NUMERO DE EJES EQUIVALENTES**

Periodo de Diseño (años)	EAL carril de Entrada	EAL carril Salida
10 años	1.41 E+07	1.10E+07
20 años	4.36 E+07	3.42E+07

**4.10 METODOLOGÍA DE DISEÑO**

La metodología empleada es diseñar los espesores de cada capa que intervienen en la estructura del pavimento es decir en el sistema de multicapa y analizarla para un periodo de diseño de 10 y 20 años. La otra alternativa es analizarla y diseñarla por etapas en lo concerniente a la carpeta de rodadura en la primera etapa con un periodo de diseño de 10 años y luego la segunda etapa con 10 años más de periodo de diseño.

**4.11 CONDICIONES DE ESTRATIGRAFÍA**

En el estudio de suelos realizado, la estratigrafía encontrada en la zona de estudio observamos claramente un sector con dos subsectores: el primer sub sector desde la progresiva Km 6+967.37 con material de características gravosa en la primera capa seguido de un predominio de material tipo arena pobremente gradadas hasta la progresiva 8+500 y en el segundo sub sector desde la progresiva Km 8+500 hasta la progresiva final Km 9+944, encontramos en las primeras capas de característica gravosa seguida de un predominio de material tipo limos arcillosos. Con estas condiciones actuales de conformación del suelo de fundación se va determinar el diseño del pavimento teniendo en cuenta todos los valores de CBR a lo largo del Vía.

*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

**4.12 MÉTODO AASHTO VERSIÓN 93.**

**4.12.1 Diseño de espesores**

*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
**CONSORCIO TEBOL**  
 Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP 39038



Este paso consiste en definir las diferentes capas de la estructura del pavimento, las que de acuerdo a sus características estructurales satisfagan el Número Estructural calculado. La estructuración no tiene una solución única, en la elección de las capas se deben considerar los materiales disponibles y su costo.

Para el diseño estructural se considero el EAL del Carril de Entrada ya que es el más desfavorable, resultado obtenido por el estudio de transito.

En este análisis, calcularemos primeramente el número estructural para la Vía para cada periodo de diseño:

- Espesor del Pavimento Carril de Entrada y Salida desde la Prog Km 6+967.37 a 9+944, para un solo sector

Período de Diseño						10 años	20 años
Número de ejes equivalentes						1.41E+07	4.36E+07
Módulo Resiliente						14799	14799
Nivel de Confianza						90%	90%
Factor de confiabilidad						-1.282	-1.282
Desviación estándar						0.45	0.45
Serviciabilidad Inicial						4.2	4.2
Serviciabilidad Final						2.0	2.0
Índice de Serviciabilidad						2.2	2.2
<b>Número estructural Requerido</b>						<b>SN</b>	<b>3.89</b>
						<b>3.89</b>	<b>4.56</b>
Asfalto			A <sub>1</sub>	0.42	D <sub>1</sub> (pulg.)	3	4
Base	m <sub>1</sub>	1.10	A <sub>2</sub>	0.14	D <sub>2</sub> (pulg.)	10	10
Sub-base	m <sub>2</sub>	1.10	A <sub>3</sub>	0.12	D <sub>3</sub> (pulg.)	10	12
Espesor total del pavimento						(pulg)	23
						23	26
<b>Número estructural Propuesto</b>						<b>SN'</b>	<b>4.12</b>
						<b>4.12</b>	<b>4.80</b>

**CONSORCIO TEBOL**  
Ing. Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476

Memoria de Cálculo del SN

**Proyecto : Autopista Pimentel – Chiclayo**

Calculo de SN para la Obra Carril de Entrada

Periodo de Diseño 10 años

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ingreso de datos

EAL	1.41E+07	7.149219	1.0	Iteraciones	
ZR	-1.282	0.576900	2.0	SN	Diferencia
So	0.45	0.200000	3.0	4.88	0.0060
SN	?	-9.674939	4.0	4.89	-0.0017
PSIO	4.2	8.070000	5.0	4.90	-0.0095
PSI1	2	6.321180	b		
Mr	14799	6.322919	c		
años	10		Dif: -0.0017		
DPSI	2.2				

iteraciones

**3.890000**

SN

$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2 + a3 \times D3 \times m3$

$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2 + a3 \times D3 \times m3$

a1= 0.42    D1= 3    ingresar valores  
 a2= 0.14    D2= 10  
 a3= 0.12    D3= 10  
 m1= 1.1  
 m2= 1.1

Reemplazando

SN= **4.12**



*Walter J. Muñoz Delgado*  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

**CONSORCIO TEBOL**  
*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

Calculo de SN para la Obra Carril de Entrada

Periodo de Diseño 20 años

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ingreso de datos

EAL	4.36E+07	7.639486	1.0	Iteraciones	
ZR	-1.282	0.576900	2.0	SN	Diferencia
So	0.45	0.200000	3.0		
SN	?	-9.674939	4.0	4.55	0.0066
PSIO	4.2	8.070000	5.0	4.56	-0.0003
PSI1	2	6.811447	b	4.57	-0.0072
Mr	14799	6.811782	c		
años	20				
DPSI	2.2				

Dif: -0.0003

iteraciones

4.560000

SN

$$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2 + a3 \times D3 \times m3$$

$$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2 + a3 \times D3 \times m3$$

ingresar valores

a1= 0.42	D1= 4
a2= 0.14	D2= 10
a3= 0.12	D3= 12
m1= 1.1	
m2= 1.1	

Reemplazando

$$SN = 4.80$$

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 82478



CONSORCIO TEBOL

*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

El espesor de la carpeta asfáltica adoptado según diseño es de 3" valor que guarda relación con el valor del numero de ejes equivalentes del proyecto (EAL de diseño) por lo tanto este espesor satisface el numero estructural requerido, sin embargo adoptar un número mayor de espesor de carpeta asfáltica es poco práctico y no aplicativo desde el punto de vista de procedimiento constructivo, y teniendo en cuenta que este valor es para un periodo de diseño de 10 años que al cabo del cual se podrá adaptar un recapeo adicional con el espesor necesario (que se verá en el procedimiento o diseño por Etapas)

Ahora calcularemos el numero estructural para el CBR más desfavorable CBR =8.4% con el propósito de comprobar si el numero estructural propuesto también satisface a este CBR,

de lo contrario se deberá mejorar la subrasante para lograr un aporte estructural a la sección del pavimento en la zona de influencia del CBR desfavorable.

**MR (psi)= 1500 x CBR**

**MR (psi)= 12600**

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

Período de Diseño					10 años	20 años	
Número de ejes equivalentes					1.41E+07	4.36E+07	
Módulo Resiliente					12600	12600	
Nivel de Confianza					90%	90%	
Factor de confiabilidad					-1.282	-1.282	
Desviación estándar					0.45	0.45	
Serviciabilidad Inicial					4.2	4.2	
Serviciabilidad Final					2.0	2.0	
Índice de Serviciabilidad					2.2	2.2	
<b>Número estructural Requerido</b>					<b>SN</b>	<b>4.10</b>	<b>4.80</b>
Asfalto			A <sub>1</sub>	0.42	D <sub>1</sub> (pulg.)	3	4
Base	m <sub>1</sub>	1.10	A <sub>2</sub>	0.14	D <sub>2</sub> (pulg.)	10	10
Sub-base	m <sub>2</sub>	1.10	A <sub>3</sub>	0.12	D <sub>3</sub> (pulg.)	10	12
Espesor total del pavimento					(pulg)	23	26
<b>Número estructural Propuesto</b>					<b>SN'</b>	<b>= 4.12</b>	<b>4.80</b>

Según este Cuadro vemos que el numero estructural para el CBR=8.4% tiene un numero estructural menor que el propuesto para el CBR de diseño, por lo cual el numero estructural propuesto es para todo el sector de estudio.

Memoria de Cálculo para determinación del numero estructural con el CBR mínimo=8.4%.

**CONSORCIO TEBOL**  
*Enrique Santisteban Alejandro*  
Ing° **Enrique Santisteban Alejandro**  
JEFE DE ESTUDIOS  
CIP 39038

solo se rellenara hasta el nivel de subrasante sin dejar de tratarla como relleno controlado. Esta evaluación se aprecia en el siguiente Cuadro N°06: "Consideraciones en el Diseño del Pavimento según trazo de la Rasante".

*Walter J. Muñoz Delgado*  
INGENIERO CIVIL  
GIP. 62478

**CUADRO N° 06**

**CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO SEGÚN EL TRAZO DE LA RASANTE**

Lado	Tramos		Altura de Corte		Altura de Relleno		Observaciones
	Inicial (Km)	Final (Km)	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
LI/LD	6+967.37	7+250	0.22	0.76	-	-	Corte y compactación de subrasante. Eliminar el material de desecho y/o material de terreno de cultivo y reemplazar con material propio seleccionado.
LI/LD	7+250	7+500	0.00	0.23	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI/LD	7+500	7+600	0.00	0.15	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI/LD	7+600	7+750			0.12	0.12	Relleno con material propio seleccionado y compactar subrasante.
LI/LD	7+750	7+930	0.00	0.24	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI/LD	7+930	8+000	0.00	0.15	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI/LD	8+000	8+250	0.00	0.72	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI/LD	8+250	8+311	0.29	0.54	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI	8+311	8+430	0.00	0.48	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI	8+430	8+460	0.00	0.59	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI	8+460	8+500			0.30	0.90	Relleno con material propio seleccionado y compactar subrasante.
LI	8+500	8+520			0.10	0.90	Relleno con material propio seleccionado y compactar subrasante.
LI	8+520	8+750	0.00	0.87	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI	8+750	9+000	0.00	0.28	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI	9+000	9+250	0.00	2.17	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI	9+250	9+500	0.00	1.03	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.

**CONSORCIO TRESOL**  
VºBº

**CONSORCIO TRESOL**  
*Ing. Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

LI	9+500	9+750	1.00	1.16	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LI	9+750	9+944.3	0.43	1.13	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LD	8+311	8+490	0.00	0.65	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LD	8+490	8+500			0.45	0.45	Relleno con material propio seleccionado y compactar subrasante.
LD	8+500	8+520			0.45	0.90	Relleno con material propio seleccionado y compactar subrasante.
LD	8+520	8+750	0.00	1.77	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LD	8+750	9+000	0.00	0.30	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LD	9+000	9+200	0.00	0.40	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LD	9+200	9+280			0.30	0.30	Relleno con material propio seleccionado y compactar subrasante.
LD	9+280	9+370	0.00	0.15	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LD	9+370	9+440			0.30	0.30	Relleno con material propio seleccionado y compactar subrasante.
LD	9+440	9+550	0.00	1.06	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LD	9+550	9+570			0.60	0.60	Relleno con material propio seleccionado y compactar subrasante.
LD	9+570	9+750	0.00	0.65	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.
LD	9+750	9+924.25	0.625	0.625	-	-	Corte, escarificar, nivelar y compactar subrasante. Eliminar el material de desecho y reemplazar con material propio seleccionado.



**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

Según el cuadro anterior se observa que se tiene zonas de relleno, relativamente de poca longitud, tal como en la zona de Lado Izquierdo entre las progresivas 8+460 a 8+520 con espesor variable de 0.10, 0.30 a 0.90m y el Lado Derecho entre progresivas 8+490 a 8+520 con espesor de 0.45m a 0.90m y entre progresivas 9+550 a 9+570 con espesor de 0.60m; que lo hace de poca significación es decir que no se usara como material de aporte estructural a la sección del pavimento, solo se considerara como un relleno controlado. Así mismo se observa zonas de corte que son de más incidencia, en el cual se cortara el terreno natural hasta el nivel de subrasante, se escarificara y compactara; en zonas donde la subrasante está a nivel con el terreno natural se deberá eliminar el material de relleno

**CONSORCIO TEBOL**  
  
**Ing. Hugo Enrique Santisteban Alejandro**  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

no controlado y/o de cultivo y reemplazarlo con material propio seleccionado compactado en las progresivas que se señalan en el cuadro N°06.

Según el análisis realizado para la determinación de los espesores del pavimento se observa un resumen en el Cuadro N°07 "Resumen del Cálculo de espesores – Sistema Multicapa.

**CUADRO N° 07.- RESUMEN DEL CALCULO DE ESPESORES – SISTEMA MULTICAPA**

Sector	Progresiva (Km.)	VIA	DISEÑO 10 AÑOS			DISEÑO 20 AÑOS		
			Carpeta (pulg.)	Base (pulg.)	Subbase (pulg.)	Carpeta (pulg.)	Base (pulg.)	Subbase (pulg.)
1	6+967.37– 9+944	Vía de Entrada/ Salida	3	10	10	4	10	14



**4.12.2 Diseño de pavimento por Etapas**

Por las características de éste Proyecto, se presenta un segundo enfoque basado en la construcción del pavimento por etapas.

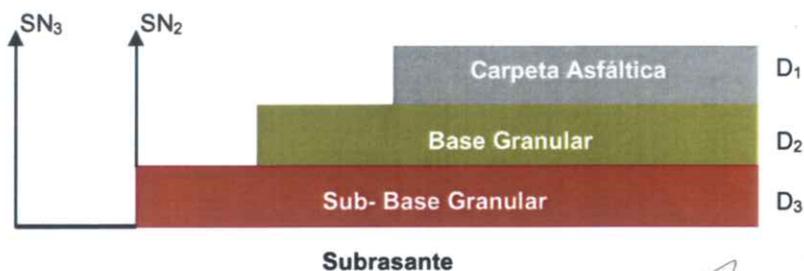
En consecuencia, la Primera Etapa está referida a la colocación de una superficie de rodadura a nivel de carpeta asfáltica y la Segunda Etapa se refiere a la colocación de un recapeado consistente en una carpeta asfáltica en caliente cuando la vía cumpla 10 años de servicio.

Para la determinación del Número Estructural del pavimento, se empleó la siguiente ecuación:

$$SN = a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + a_4 D_4 m_4$$

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

*Ing. Hugo Enrique Santibáñez Alejandro*  
CONSORCIO TEBOL  
Ing. Hugo Enrique Santibáñez Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038



022

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62678

**4.12.2.1 Primera Etapa**

Para el diseño estructural de la Primera Etapa de 10 años, se han considerado parámetros que se detallan en el ítem 4.0.0, los que se muestran en los siguientes cuadros, considerando la Vía más desfavorable que es la Vía de entrada:

Sector Km 6+967.37 al Km. 9+944						Periodo – 10 Años
Parámetros de Diseño						
Número de ejes equivalentes						1.41E+07
Módulo Resiliente						14799
Nivel de Confianza						90%
Factor de confiabilidad						-1.282
Desviación estándar						0.45
Serviciabilidad Inicial						4.2
Serviciabilidad Final						2.0
Índice de Serviciabilidad						2.2
<b>Número estructural Requerido</b>					<b>SN</b>	<b>3.89</b>
Concreto			a <sub>1</sub>	0.42	D <sub>1</sub> (pulg.)	3
Base	m <sub>1</sub>	1.10	a <sub>2</sub>	0.14	D <sub>2</sub> (pulg.)	10
Sub-base	m <sub>2</sub>	1.10	a <sub>3</sub>	0.12	D <sub>3</sub> (pulg.)	10
Espesor total del pavimento						(pulg.) 23
<b>Número estructural Propuesto</b>					<b>SN'</b>	<b>4.12</b>



*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
CONSORCIO TEBOL  
Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

**4.12.2.2 Segunda Etapa**

La Segunda Etapa, contempla la ejecución inmediata de un refuerzo consistente en una carpeta asfáltica en caliente sobre la calzada ya existente.

Obviamente la implementación correcta de ésta Etapa está condicionada a una evaluación integral de pavimento a fin de verificar el nivel de degradación de la superficie existente.

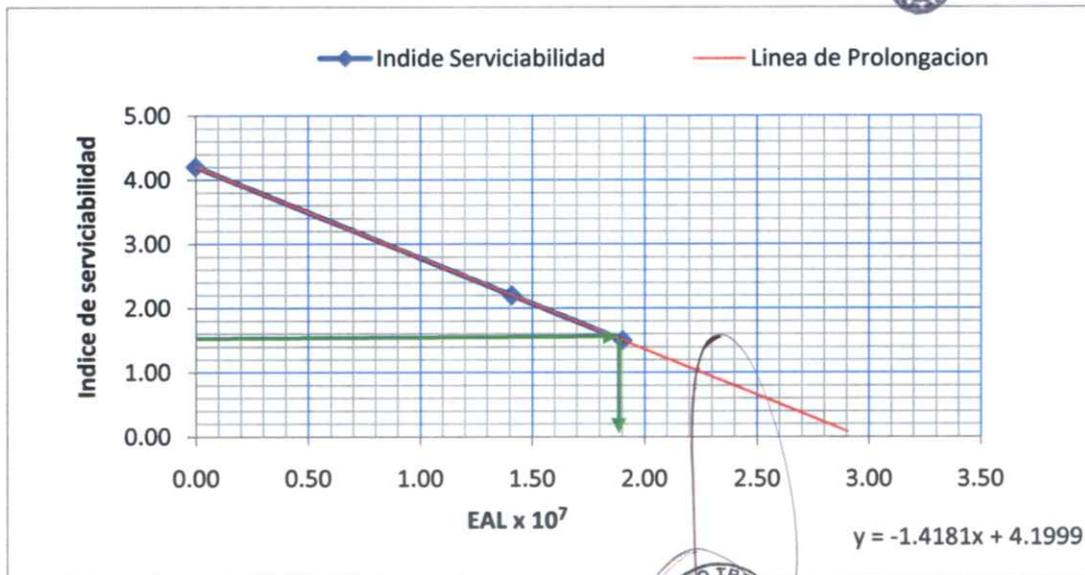
Para esta Segunda Etapa (de refuerzo) calcularemos el SN de refuerzo para el carril de diseño más desfavorable que es el de Entrada. Empleando el método de Vida Remanente, en la que participan los siguientes factores:

Vida Remanente: Al evaluarse la vida remanente se determina utilizar la formula siguiente:

$$RL = 100 \left( 1 - \frac{EAL_{INICIAL}}{EAL_{FINAL}(\text{INDICE DE SERVICIABILIDAD DE 1.5})} \right)$$

EAL Final (Índice de Serviciabilidad de 1.5) = 1.91E+07

*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476



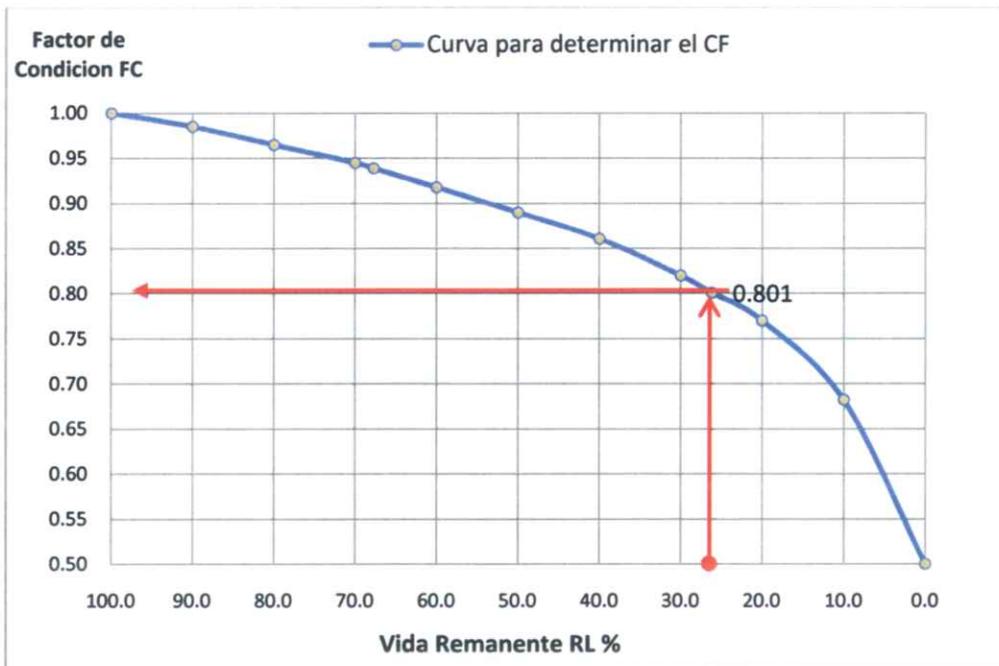
Del cual arroja un valor de RL 26.2%

$$RL = 100 * (1 - 1.41E+07 / 1.91E+07) = 26.2\%$$

Determinar el Factor de Condición: Es el Coeficiente de Condición (CF), valor que se determina en el Grafico N° 11 "Relación de Perdida de Factor de Condición y Perdida de Vida"; se ingresa al grafico con el valor RL y obtenemos el CF de la vía en el año 10, el que es igual a 0.801.



*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
**CONSORCIO TEBOL**  
 Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP 39038



Calcular SNEFF: Es el parámetro que considera la reparación de la capa que recibirá la nueva capa de refuerzo. La que se determina utilizando la siguiente fórmula:

$$SN_{EFF} = CF \times SN_{10AÑOS}$$

En el Cuadro N° 08 "Resumen Cálculo Número Estructural", en este cuadro se presenta los SN adoptados para el periodo de diseño de 10 años, los SN requeridos para el periodo de 20 años y los SN residuales al cumplir los 10 años de servicio.



*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
CONSORCIO TEBOL  
Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

**Proyecto : Autopista Pimentel - Chiclayo**

**Calculo de SN para la Obra Carril de Entrada**

Periodo de Diseño **10-20** años

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ingreso de datos

EAL	2.95E+07	7.469822	1.0	Iteraciones	
ZR	-1.282	0.576900	2.0	SN	Diferencia
So	0.45	0.200000	3.0	4.31	0.0060
SN	?	-9.674939	4.0	4.32	-0.0012
PSIO	4.2	8.070000	5.0	4.33	-0.0084
PSI1	2	6.641783	b		
Mr	14799	6.642981	c		
años	10	Dif:	-0.0012		
DPSI	2.2				

iteraciones

**4.320000**

SN

$$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2 + a3 \times D3 \times m3$$

$$SN = a1 \times D1 + a2 \times D2 \times m2 + a3 \times D3 \times m3$$

a1= 0.42      D1= **3**      ingresar valores

a2= 0.14      D2= 10

a3= 0.12      D3= 12

m1= 1.1

m2= 1.1

Reemplazando

SN= **4.38**



*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP 42220

**CONSORCIO TEBOL**

*Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

**CUADRO N° 08**  
**RESUMEN CALCULO NÚMERO ESTRUCTURAL**

PROGRESIVA (Km.)	TRAMO	SN		
		Periodo 10 años (Adoptado) SN <sub>10 AÑOS</sub>	Periodo 10-20 años (Requerido) SN <sub>10-20 AÑOS</sub>	Refuerzo residual a los 10 años SN <sub>EFF</sub>
6+967.37 – 9+944	Vía de Entrada/Salida	4.12	4.32	3.30

Para el proyecto se considera el empleo de Cemento Asfáltico de PEN 60 – 70, con un coeficiente Estructural de 0.42 para la nueva capa de Concreto Asfáltico

**Determinación de espesores de Sobre-capas:**

$$D_{01} = \frac{SN_{01}}{a_{01}} = \frac{SN_{20AÑOS} - SN_{EFF}}{a_{01}}$$

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476

Donde:

- SN01 = Numero estructural requerido del recapeo
- a01 = Coeficiente estructural para recapeo de concreto asfáltico.
- D01 = Espesor requerido de recapeo.
- SNF = Número estructural requerido para el transito futuro de 20 años.
- SNEFF = Número Estructural efectivo al año 10

El Cuadro N°09 "Determinación de Espesores Requeridos", se elabora de la aplicación de la formula.

**CUADRO N° 09**  
**DETERMINACION DE ESPESORES REQUERIDOS**

PROGRESIVA (Km.)	TRAMO	SN		ESPESOR DE REFUERZO REQUERIDO (D <sub>01</sub> )	D <sub>01</sub> ADOPTADO
		SN <sub>10-20 AÑOS</sub>	SN <sub>EFF</sub>		
6+967.37 – 9+944	Carril de Entrada /Salida	4.32	3.30	2.43 pulg.	2.5 pulg.

**CONSORCIO TEBOL**  
V<sup>o</sup>B<sup>o</sup>

En la Figura N° 01 "Paquete Estructural", se muestra los espesores de la estructura propuesta:

**CONSORCIO TEBOL**  
*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

**Figura N°01**  
**CARRIL DE ENTRADA Km. 6+967.37 -9+944**

Recapeo al Término de 10 años de servicio MAC= 2.5"



*Walter J. Muñoz Delgado*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

#### 4.13 MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO-91

El método considera al pavimento como un sistema elástico de varias capas y para su análisis se emplean conceptos teóricos y experimentales. El procedimiento propuesto por el Instituto del Asfalto, consiste en determinar el espesor de la estructura del pavimento de tal forma se cumplan dos condiciones básicas: Que las deformaciones por tracción producidas en la fibra inferior de las capas asfálticas y las deformaciones verticales por compresión en la parte superior de la subrasante no superen los valores admisibles.

##### 4.13.1 Variables de Diseño

Se utilizan básicamente, para incorporar cierto grado de certeza en el proceso de diseño.

##### 4.13.1.1 El Transito

Este parámetro es de importancia fundamental, se considera determinar el número y peso de las cargas por eje, para garantizar que la sección del pavimento proyectado se comporte satisfactoriamente durante su periodo de vida.

**CONSORCIO TREBOL**  
*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

**NUMERO DE EJES EQUIVALENTES**

ESTACION	UBICACIÓN	EAL	
		10 AÑOS	20 AÑOS
E1	Tramo Universidad Señor de Sipan – Vía de Evitamiento Carril Entrada	1.41E+07	4.36E+07

**4.13.1.2 Suelos de Subrasante**

El Instituto del Asfalto en sus gráficas de diseño exige el conocimiento de la resistencia de la subrasante la cual se determina por medio del modulo de Resiliencia (Mr).

En el Cuadro N° 10. "Valor Percentil para Diseño de Subrasante, de acuerdo al Nivel de Transito", se muestra los valores percentiles para calcular el Módulo de Resiliencia de diseño de la capa subrasante en función del tránsito esperado sobre el pavimento en estudio.

**CUADRO N° 10.**

**VALOR PERCENTIL PARA DISEÑO DE SUBRASANTE, DE ACUERDO AL NIVEL DEL TRÁNSITO**

NIVEL DEL TRÁNSITO	VALOR PERCENTIL PARA DISEÑO DE SUBRASANTE
Menor de 10,000 EAL	60
Entre 10,000 y 1'000,000 EAL	75
Mayor de 1'000,000 EAL	87.5

*Walter J. Muñoz Delgado*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 82478

En base al Estudio de Tráfico realizado, el valor percentil para diseño de la capa subrasante, es de 87.5%, como se muestran en el Cuadro N°10 y del cual se obtiene el CBR de diseño. Con respecto al cálculo del módulo de resiliencia se detallan a continuación:

**FACTOR DE CORRELACION**

Modulo Resiliente	Sistema		
	1 (Kg/cm2)	2 (Mpa)	3 (psi)
Mr	100 x CBR	10.30 x CBR	1500 x CBR



**CONSORCIO TEBOL**

*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

**RESUMEN DE CALIDAD SOPORTE DE LA SUBRASANTE – DETERMINACION Mr**

PROGRESIVA (Km.)	SECTOR	Diseño			
		CBR (%)	Mr (psi)	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Mr (Mpa)
6+967.37 a 9+944	1	10.40	15600	1040	107.1

**Materiales de Construcción de Pavimentos**

En cuanto a la capa de rodadura, el método considera la utilización de mezclas asfálticas del tipo de concreto asfáltico. El método considera la posibilidad de utilizar base y subbase, formadas con materiales granulares sin tratamiento, esto es, no estabilizadas, los cuales deben ajustarse a los requisitos de calidad indicados en el Cuadro N° 11 "Requisitos de Calidad de las capas Granulares".

A su vez los materiales granulares para base y subbase, deberán compactarse con un contenido de humedad óptimo de 1.5 puntos en porcentaje, para alcanzar una densidad mínima del 100% de la densidad máxima de laboratorio, sugiriendo se utilice el Método AASHTO T180 o el ASTM D1557.

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476

**CUADRO N° 11  
REQUISITOS DE CALIDAD DE LAS CAPAS GRANULARES**

Ensayo	Requisitos de los Ensayos	
	Subbase Granular (%)	Base Granular (%)
CBR Mínimo	40	100
L.L. Máximo	25	25
I.P. Máximo	6	NP
Equivalente de Arena Min.	25	35
% N° 200 Máximo	12	7



Con respecto al Concreto Asfáltico, el método correlaciona la temperatura del medio ambiente con los tipos o clases de asfalto según las necesidades particulares del proyecto. En el Cuadro N° 12 "Grado de Asfalto de acuerdo al Tipo de Clima", muestra tres tipos de temperatura, según la región donde se pretenda construir el pavimento, climas fríos, templados y calientes, empleando cementos asfálticos desde el AC-5 hasta el AC-40.

**CONSORCIO TEBOL**  
*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

**CUADRO N° 12.**  
**GRADO DE ASFALTO DE ACUERDO AL TIPO DE CLIMA**

Condición de Temperatura (Promedio ambiente anual)	Grado del Asfalto	Grado del Asfalto
Frío = < 7° C	AC - 5 AR - 2000 PEN 120 - 150	AC - 10 AR - 4000 PEN 85 - 100
Templado de 7° C - 24° C	AC - 10 AR - 4000 PEN 85 - 100	AC - 20 AR - 8000 PEN 60 - 70
Cálido de mayor de 24° C	AC - 20 AR - 8000 PEN 60 - 70	AC-40 AR - PEN

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-1) 1991

La temperatura ambiente media anual registrada varía de 25 a 29 °C en la zona del proyecto y se considera el empleo de Cemento Asfáltico de 60 - 70 (0.01 mm.) de penetración, de acuerdo a la recomendación del Instituto del Asfalto. Se debe contemplar que en la etapa de servicio del Pavimento se realicen labores de mantenimiento periódico, consistentes en efectuar tratamientos de fisuras, y así evitar la propagación de las mismas a niveles de las capas subyacentes, con el consiguiente debilitamiento por infiltración de las aguas.

**4.13.1.3 Diseño**

Una vez que se ha determinado el valor índice de la resistencia de la Subrasante y el EAL de diseño, se determina el espesor necesario de cubrimiento; dato que se obtiene del Grafico N° 12 "Diagrama de Diseño para Base Granular de 30.0 cm de espesor"

En el Cuadro N° 13 "Cálculo de Espesores del Concreto Asfáltico", se muestra los parámetros de diseño y el cálculo del espesor del Concreto Asfáltico que requiere la vía en estudio para el carril de diseño que es carril de entrada.

**CUADRO N° 13**  
**CALCULO DE ESPESORES - CONCRETO ASFALTICO**

PROGRESIVA (Km.)	EAL		Mr Diseño			Concreto Asfáltico e = cm.	
	10 Años	20 Años	psi	Kg/cm²	Mpa	10 Años	20 Años
6+967.37 - 9+944	1.41E+07	4.36E+07	15600	1040	107.10	30.0	37.5

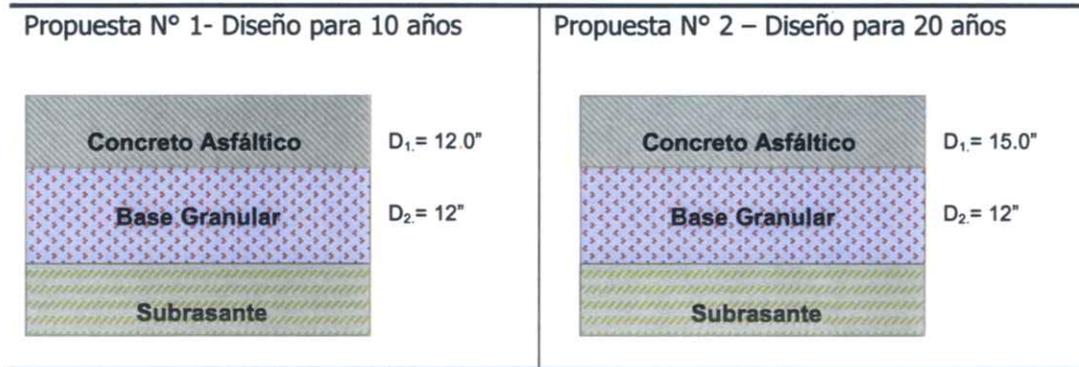
*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP 82478



En la Figura N° 02. "Paquete Estructural – Método INSTITUTO DEL ASFALTO", se muestra los espesores de la estructura propuesta en pulgadas.

**FIGURA N° 02.**

**PAQUETE ESTRUCTURAL – METODO INSTITUTO DEL ASFALTO**



**4.13.1.4 Diseño por Etapas**

Se presenta un segundo enfoque basado en la construcción del pavimento por etapas. En consecuencia, la Primera Etapa está referida a la colocación de una superficie de rodadura a nivel de carpeta asfáltica como determina el diseño de 10 años y la Segunda Etapa se refiere a la colocación de un recapeado consistente en una carpeta asfáltica en caliente cuando la vía cumpla 10 años de servicio.

**Primera Etapa (10 años)**

*Walter J. Muñoz Delgado*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 92979

PROGRESIVA (Km.)	Mr Diseño		10 Años		20 Años	
	Psi	Kg/cm <sup>2</sup>	Concreto Asfáltico e(cm)	Base Granular e(cm)	Concreto Asfáltico e(cm)	Base Granular e(cm)
6+967.37 – 9+944	13747	967	30.0	30.0	37.50	30.0

**CONSORCIO TEBOL**  
VºBº

**Segunda Etapa (al cabo de 10 años)**

$EAL_{10-20} = 2.95E+07,$   
Espesor Full Depth = 40.00 cm (Grafico N° 11)

*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
**CONSORCIO TEBOL**  
Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

PROGRESIVA (Km.)	SECTOR	Periodo de 10 Años		Factores de Conversión		Remanente (Te)	Espesor Calculado (Tc) de 10 a 20 años	Espesor a colocar (Ec)	Recomendado (cm)
		Concreto Asfáltico e(cm)	Base Granular e(cm)	Carpeta	Base				
6+967.37 - 9+944	1	30.0	30.0	0.7	0.2	27.0	40.00	13.00	15.00

Los Factores de conversión son propuestos por el Método del Instituto del Asfalto.

Este método es muy conservador pues lo demuestran en sus resultados por lo que resulta poco práctico su aplicación y por consiguiente en su implementación tratándose de un Vía en la que es necesario tener una buena optimización en la aplicación de recursos este método queda descartado.

En el Cuadro N° 14 "Resumen de Espesores de Pavimentos", se muestra el resumen de espesores obtenidos de la aplicación del Método AASHTO y del Instituto del Asfalto.

**CUADRO N° 14**  
**RESUMEN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS**



*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

PROGRESIVA (Km.)	SECTOR	PERIODO 10 AÑOS			AL TERMINO DEL DECIMO AÑO	PERIODO 20 AÑOS		
		ESPESORES EN PULGADAS				RECAPADO MAC	ESPESORES EN PULGADAS	
		MAC	BASE	SUBBASE	MAC		BASE	SUBBASE
<b>METODO AASHTO</b>								
1. SISTEMA MULTICAPA								
6+967.37 - 9+944	1	3	10	10	-	4	10	12
2. DISEÑO POR ETAPAS								
6+967.37 - 9+944	1	3	10	10	2.5	-	-	-
<b>METODO INSTITUTO DEL ASFALTO</b>								
1. SISTEMA MULTICAPA								
6+967.37 - 9+944	1	12	12	-	-	14	12	-
2. DISEÑO POR ETAPAS								
6+967.37 - 9+944	1	12	12	-	6	-	-	-

**CONSORCIO TEBOL**  
*Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

#### 4.14 VERIFICACION DEL DISEÑO POR MÉTODO ANALITICOS

El procedimiento consiste en evaluar que los esfuerzos y deformaciones causados por las sollicitaciones a que se somete la estructura diseñadas (con espesores y características propuestas  $E$ ,  $\mu$ ,  $h$ ) permanezcan dentro de los límites admisibles durante la vida útil.

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de fallas, la funcional y la estructural. La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, de tal forma que no transporta cómoda y seguramente a los vehículos. La falla estructural está asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que éste no pueden soportar las cargas a la que está sometida. No necesariamente las dos fallas se producen al tiempo; en este caso se hará referencia a la falla estructural.

La falla estructural en un pavimento se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito, sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa; en este sentido la falla relaciona la deformación o la tensión producida con el número de repeticiones admisibles; esto se denomina falla por fatiga o sea por repeticiones de carga.

Los materiales que forman parte de la estructura se consideran homogéneos e isotrópicos y se supone que las capas tienen una extensión infinita en sentido horizontal. En esta metodología se considera la estructura de pavimento como un sistema linealmente elástico, en el cual los materiales se encuentran caracterizados por:

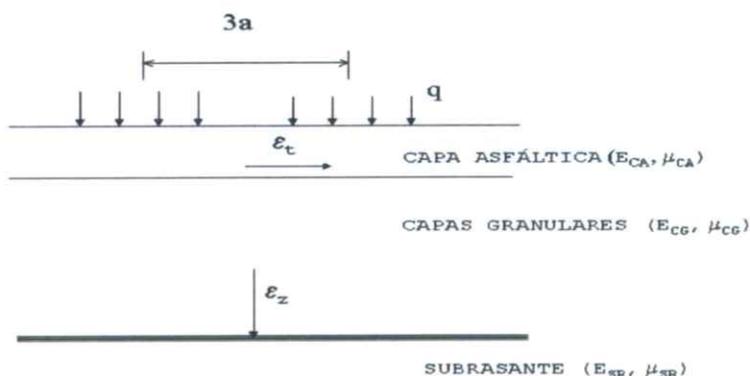
- Módulos elásticos ( $E$ ).
- Relación de Poisson ( $\mu$ ).
- El espesor de la capa ( $h$ ).



*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
**CONSORCIO TEBOL**  
Hgo° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

Figura 3. Estructura multicapa de un pavimento flexible.



En la figura 3 se puede observar un modelo multicapa en el que se supone la capa inferior (subrasante) infinita en el sentido vertical, la capa intermedia representa las capas granulares y la capa superior representa los materiales bituminosos. Como se considera que los materiales que conforman la estructura durante su vida útil están trabajando dentro del rango elástico, entonces la fatiga de estos es causada por repeticiones de carga (N) impuestas por el tránsito. Por consiguiente, el comportamiento a la fatiga para las capas que conforman el pavimento se presenta normalmente como una relación entre las repeticiones de carga y la deformación.

Entonces el pavimento flexible puede fallar de dos maneras:

- Que la deformación horizontal por tracción  $\epsilon_{\tau}$  en la fibra inferior de las capas asfálticas, al flexionar ellas bajo la acción de las cargas, supere cierto límite admisible, en este caso se producirá agrietamiento en dichas capas.
- Que la deformación vertical  $\epsilon_z$  por compresión de la subrasante supere el límite admitido por ella, caso en el cual se presenta una deformación permanente y por consiguiente la del pavimento, en este caso se producirá ahuellamiento. Además se puede verificar que  $\sigma_z$  se mantenga dentro de los límites admisibles.



*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476

En términos generales, con las leyes de fatiga de los materiales se puede encontrar las deformaciones, esfuerzos y deflexiones admisibles de los materiales y con la teoría de esfuerzo y deformación en una masa de suelo se encuentran las deformaciones, esfuerzos y deflexiones actuantes en la estructura de pavimento.

**CONSORCIO TEBOL**  
*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
Ing. Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

Para desarrollar las ecuaciones diferenciales y calcular los esfuerzos existen programas computacionales de gran capacidad con los cuales se puede evaluar estos esfuerzos. Dentro de ellos están WINDEPAV, ALIZE III, BISAR, CHEVRON, ELSYM 5, KENLAYER, etc. Para el presente proyecto se empleo el programa WINDEPAV de la Universidad del Cauca, el cual modela la sección estructural del pavimento mediante un sistema multicapa, analiza la estructura para determinar las tensiones, deformaciones y desplazamientos máximos que se pueden producir y compara estos valores con los admisibles para cada material.

Se adjunta los datos de entrada y los valores de verificaciones correspondientes al cálculo de Espesores mediante el análisis con el Programa WINDEPAV en el Anexo N° 01, en los que se puede apreciar que los valores calculados con este programa son menores a los admisibles.

Debido a que la Metodología del Instituto del Asfalto presenta un análisis muy conservador respecto a las características de los materiales que conforman la estructura del pavimento, se concluye que los espesores calculados mediante la Metodología AASHTO, son los que regirán para el presente proyecto.



**Walter J. Muñoz Delgado**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

**CONSORCIO TEBOL**  
Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

**METODO MECANISTICO - PROGRAMA WINDEPAV**

 Proyecto: Autopista Pimentel – Chiclayo  
 Ubicación: Chiclayo - Lambayeque

 Fecha: Dic-10  
 Progresivas: Km 6+967.37 - 9+944

**Datos**

Periodo de Diseño:	10 años
Espesores Propuestos:	
Carpeta (cm):	7.5
Base (cm):	25
SubBase (cm):	25
Modulo de resiliencia:	14799
CBR (%)	11.65
EAL:	1.41E+07

Periodo de Diseño:	20 años
Espesores Propuestos:	
Carpeta (cm):	10
Base (cm):	25
SubBase (cm):	30
Modulo de resiliencia:	14799
CBR (%)	11.65
EAL:	4.36E+07

**Modulo de Elasticidad:**

Carpeta:	400000.00 psi	28,120.00	kg/cm2	(Valor del Grafico N° 08)
Base:	30000.00 psi	2,109.00	kg/cm2	(Valor del Grafico N° 09)
SubBase:	17100.00 psi	1,202.13	kg/cm2	(Valor del Grafico N° 10)
Subrasante:	14799.00 psi	1,040.37	kg/cm2	(Ecuac. Guía del Aashto)

**Relación de Poisson  $\mu$ :**

Carpeta:	0.35
Base:	0.43
SubBase:	0.43
Subrasante:	0.45



*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

**Calculo de las Deformaciones y Esfuerzos admisibles**

A la estructura propuesta se le verificaron las deformaciones por tracción en la fibra interior de la carpeta asfáltica. Así como el esfuerzo de compresión en la capa de subrasante, para garantizar que estos sean menores que los valores admisibles obtenidos

**Deformación Unitaria de tracción en la fibra inferior de la carpeta asfáltica  $\epsilon_t$** 

$$\epsilon_t = (3.48 * 10^{-3}) * N^{-0.204}$$

(Universidad de Nottingham – Hot Rolled )Diseño directo de pavimentos flexibles –Escuela Colombiana de Ingeniería

Periodo de diseño	Deformación (et)
10	1.21E-04
20	9.62E-05

Donde: N = Trafico de diseño

**Deformación Unitaria vertical en la capa superior de la Subrasante  $\epsilon_z$** 

$$\epsilon_z = (2.10 * 10^{-2}) * N^{-0.24}$$

(LCPC Laboratorio Central de Carreteras y Puentes de Francia) Diseño directo de pavimentos flexibles – Escuela Colombiana de Ingeniería

Periodo de diseño	Deformación (et)
10	4.04E-04
20	3.08E-04

Donde N = Trafico de diseño

**CONSORCIO TEBOL**

*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
**Hugo Enrique Santisteban Alejandro**  
 CIP. 19038

**Esfuerzo de compresión admisible en la subrasante  $\sigma_z$**

Tenemos:

Ecuación 1 (Dormon & Kerhoven)

$$\sigma_z = \frac{0.007 * E3}{1 + 0.7 * \log N} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Donde

E3 = Modulo de Resiliencia Subrasante  
N = Trafico Diseño

Sector	Periodo de diseño	Esfuerzo ( $\sigma_z$ ) kg/cm2	Esfuerzo ( $\sigma_z$ ) Mpa
1	10	1.73E+01	1.69E+00
	20	1.63E+01	1.60E+00

Ecuación 2 (CIV-Bélgica)

$$\sigma_z = \frac{0.09607 * CBR^{1.2}}{N^{(1/4.35)}} \quad (\text{Mpa})$$

Donde

CBR = CBR en porcentaje  
N = Trafico de Diseño

Sector	Periodo de diseño	Esfuerzo ( $\sigma_z$ ) kg/cm2	Esfuerzo ( $\sigma_z$ ) Mpa
1	10	4.24E-01	4.16E-02
	20	3.27E-01	3.21E-02



*Walter J. Muñoz Delgado*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476

Valores Promedio

Sector	Periodo de diseño	Esfuerzo ( $\sigma_z$ ) kg/cm2	Esfuerzo ( $\sigma_z$ ) Mpa
1	10	8.84E+00	8.67E-01
	20	8.32E+00	8.16E-01

**Comparación con los valores obtenidos con el Programa WINDEPAV**

Deformación Unitaria en Tensión  $\epsilon_t$   
Deformación en compresión  $\epsilon_z$   
Esfuerzo de compresión  $\sigma_z$  (Kg/cm2)

WINDEPAV		ADMISIBLES	
10 años	20 años	10 años	20 años
3.34E-04	2.80E-04	1.21E-04	9.62E-05
3.22E-04	2.53E-04	4.04E-04	3.08E-04
3.50E-01	2.70E-01	8.84E+00	8.32E+00

**CONSORCIO TEBOL**  
*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

Vemos que la deformación unitaria de tracción actuante en la fibra inferior de la carpeta asfáltica es mayor que la admisible, sin embargo la esfuerzos y deformación por compresión son menores por lo que garantiza que la estructura de pavimento propuesta no tenga deformaciones por compresión ni ahuellamiento, así mismo por ser el método del AASHTO un

método empírico que tiene una gran aceptación e implementación durante el proceso constructivo y servicio, la estructura propuesta garantizara el periodo de diseño, sin desmerecer esta comprobación por el Método Mecanístico el mismo que nos da indicadores de aceptación en esfuerzo y deformación de compresión en la estructura de pavimento propuesta.

**VERIFICACION CON WINDEPAV**

**Periodo de 10 años**

**WinDepav por Luis Ricardo Yáñez Varela**

Identificación del tramo: Verificación Autopista Pimentel-Chiclayo\_10a  
 C:\Archivos de programa\WinDepav\Chiclayo-Pimentel\_10a\_sashio.pav

Número de capas: 2 3 4 5 6

Capa	Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación de Poisson	Espesor (cm)	Liga	F	R
1	26120	0.35	7.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	2109	0.43	25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	1203	0.43	25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1041	0.45		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Cargas:  
 Radio del área de contacto (cm): 10.8  
 Presión de contacto (kg/cm<sup>2</sup>): 5.6  
 Distancia entre ruedas (cm): 32.4  
 Modelo Hogg - Colombia  
 Número de repeticiones de ejes: 14100000

---

**WinDepav - Resultados**

Archivo: C:\Archivos de programa\WinDepav\Chiclayo-Pimentel\_10a\_sashio.pav  
 Título del problema: Verificación Autopista Pimentel-Chiclayo\_10a  
 Número de capas: 4  
 NESE: 14.100.000

Eje de carga		Posición del valor máximo para una carga		Funciones de transferencia	
Radio de las ruedas (cm)	Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	A	B	Agitamiento	Ahuellamiento
10.80	32.40	A	B	K1: 2.830E-06	K3: 5.500E-15
		B	C	K2: 3.206	K4: 3.929

Estructuras, respuestas estructurales y comportamiento

No.	E (kg/cm <sup>2</sup> )	$\nu$	Z (cm)	st (kg/cm <sup>2</sup> )	sz (kg/cm <sup>2</sup> )	et (10 <sup>-6</sup> )	Tensión NF / FDF	ez (10 <sup>-6</sup> )	Compresión NR / FDR
1	26.119.69	0.35	0.00	16.93	5.60	349	3.951E+005 / 35.69	-197	A
	<b>Ligada</b>		7.50	-12.03	2.43	-334		374	A
2	2.108.77	0.43	7.50	0.71	2.43	-334		840	A
	<b>Ligada</b>		32.50	0.42	0.72	-290		478	C
3	1.203.27	0.43	32.50	0.00	0.72	-290		568	C
	<b>Ligada</b>		57.50	-0.05	0.35	-156		318	C
4	1.041.13	0.45	57.50	0.00	0.35	-156		322	C
								7.705E+005	18.29

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm): 46.14  
 Radio de curvatura (m): 106.75  
 Radio x Deflexión (m x mm/100): 5.139.16

Exportar resultados / Aceptar

*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62478



*Hugo Enrique Santistobán Ajojando*  
**CONSORCIO TEBOL**  
 Ing° Hugo Enrique Santistobán Ajojando  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

**Período de 20 años**

**WinDepav - Resultados**

Archivo: C:\Archivos de programa\WinDepav\Chiclayo\Pimentel\_20a\_aashtlo pav

Título del problema: Verificación Autopista Pimentel - Chiclayo\_20a    Número de capas: 4    NESE: 43,600,000

Eje de carga	Radio de las ruedas (cm)	Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	Presión de contacto de las ruedas (kg/cm <sup>2</sup> )
	10.80	32.40	5.60

Posición del valor máximo para una carga		Funciones de transferencia	
A	B	Agrietamiento	Ahuellamiento
Bajo una rueda simple	Bajo una de las ruedas de la carga	K1: 2.830E-06	K3: 5.500E+15
	Al centro de la carga	K2: 3.206	K4: 3.929

Estructuras, respuestas estructurales y comportamiento									
No.	E (kg/cm <sup>2</sup> )	$\nu$	Z (cm)	st (kg/cm <sup>2</sup> )	sz (kg/cm <sup>2</sup> )	et (10 <sup>-6</sup> )	Tensión: NF / FDF	ez (10 <sup>-6</sup> )	Compresión: NR / FDR
1	28,119.69	0.35	0.00	14.07 B	5.60 A	280 B		-153 C	
	<b>Ligada</b>		10.00	-10.16 B	1.76 B	-280 B	6.953E+005 62.70	292 A	
2	2,108.77	0.43	10.00	0.39 B	1.76 B	-280 B		647 B	
	<b>Ligada</b>		35.00	-0.33 C	0.60 C	-233 C		389 C	
3	1,203.27	0.43	35.00	0.01 C	0.60 C	-233 C		474 C	
	<b>Ligada</b>		65.00	-0.04 C	0.27 C	-120 C		249 C	
4	1,041.13	0.45	65.00	0.00 C	0.27 C	-120 C		253 C	1.988E+006 21.93

Deflexión en el centro de la rueda doble DD (1/100 mm): 43.36

Radio de curvatura (m): 152.52

Radio x Deflexión (m x mm/100): 6.612.94

Exportar resultados    Aceptar

*Walter J. Muñoz Delgado*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476



**5. ANÁLISIS DE CIMENTACION.**

**5.1 TIPO DE CIMENTACIÓN**

De acuerdo a los trabajos de campo, ensayos de laboratorio, descripción del perfil estratigráfico, característica del proyecto y análisis de la situación actual, se recomienda una cimentación superficial compuesta por zapatas de concreto armado.

**5.2 ANÁLISIS DE CAPACIDAD PORTANTE**

La capacidad portante y la presión admisible, fueron determinadas de acuerdo a las fórmulas del Dr. Karl Von Terzaghi y modificados por Vesic, para el caso de cimentación superficial, para zapatas corridas; para los efectos se realizaron ensayos de corte directo,

**CONSORCIO TEBOL**  
*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

empleándose para tal efecto especímenes remoldeados con la densidad natural obtenida mediante el ensayo de peso volumétrico en un trozo de material perteneciente a la matriz fina.

Para efecto de diseño se adjunta el cálculo de la resistencia admisible del terreno, para cimentación continua. Se adjunta la expresión de Terzaghi para falla general.

**a) Para cimentación continua.-**

$$Q_d = \gamma \cdot D_f \cdot N_q + (1/2) \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

**b) Capacidad Admisible.-**

$$Q_{adm} = q_d / FS$$

**c) Factor de seguridad (FS).-**

$$FS = 3$$

*Walter J. Muñoz Delgado*  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 82476

Considerando:

- Df : Profundidad de cimentación en m.
- B : Ancho de cimentación m.
- Nc, Nq, Nγ : Factores de capacidad de carga de Terzaghi

**d) Cuadro Resumen.-**

**CUADRO Nº 16**  
**CAPACIDAD ADMISIBLE DEL TERRENO Kg/cm<sup>2</sup>**

Alcantarillas	Profund. Cimentación DF	Capacidad Admisible
KM. 7+060	1.00 m	0.88 KG/CM2
KM. 7+420	1.00 m	1.05 KG/CM2
KM. 8+560	1.00 m	1.00 KG/CM2
KM. 7+850	1.00 m	0.93 KG/CM2



**5.3 CALCULO DE ASENTAMIENTOS**

Para el análisis de cimentaciones tenemos los llamados asentamientos totales y asentamientos diferenciales, de los cuales los asentamientos diferenciales son los que podrían comprometer la seguridad de la estructura si sobrepasa una pulgada (1"), que es el asentamiento máximo permisible para estructuras del tipo convencional.

**CONSORCIO TEBOL**  
*Nugo Enrique Santistoban Alejandro*  
Ing° Nugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

El asentamiento de la cimentación se calculará en base a la teoría de la elasticidad, considerando dos tipos de cimentación superficial recomendado. Se asume que el esfuerzo neto transmitido es uniforme en ambos casos.

El asentamiento elástico inicial será:

$$s = \frac{\Delta q_s B(1-u^2)I_f}{E_s}$$

Donde:

- S = asentamiento (cm)
- $\Delta q_s$  = esfuerzo neto transmisible (Kg/cm<sup>2</sup>)
- B = ancho de cimentación (cm)
- E<sub>s</sub> = módulo de elasticidad
- U = relación de poisson
- I<sub>f</sub> = factor de influencia que depende de la forma de rigidez de la cimentación



Las propiedades elásticas de la cimentación fueron asumidas a partir de tablas publicadas con valores para el tipo de suelo existente donde irá desplantada la cimentación.

Para este tipo de suelos, gravas arcillosas donde irá desplantada la cimentación es conveniente considerar un módulo de elasticidad de E = 800 Kg/cm<sup>2</sup> y un coeficiente de Poisson u = 0.30.

Los cálculos de asentamiento se han realizado considerando que los esfuerzos transmitidos sean iguales a la capacidad admisible de carga.

**1. Alcantarilla – KM. 7+060**

- Para Df = 1.00 m
- $\Delta q_s$  = 0.88 kg/cm<sup>2</sup>
- B = 100 cm
- E<sub>s</sub> = 200 kg/cm<sup>2</sup>
- I<sub>f</sub> = 82 cm/m
- U = 0.35
- Se obtiene: s = 0.32 cm

*Walter Y. Muñoz Delgado*  
Walter Y. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478

**2. Alcantarilla – KM. 7+420**

- Para Df = 1.00 m
- $\Delta q_s$  = 1.05 kg/cm<sup>2</sup>
- B = 100cm

*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
**CONSORCIO TEBOL**  
Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

Es = 140 kg/cm<sup>2</sup>  
 If = 82 cm/m  
 U = 0.25  
 Se obtiene: s = 0.58 cm

### 3. Alcantarilla – KM. 8+560

Para Df = 1.00 m  
 Δqs = 1.00 kg/cm<sup>2</sup>  
 B = 100cm  
 Es = 140 kg/cm<sup>2</sup>  
 If = 82 cm/m  
 U = 0.25  
 Se obtiene: s = 0.55 cm

### 4. Alcantarilla – KM. 7+850

Para Df = 1.00 m  
 Δqs = 0.93 kg/cm<sup>2</sup>  
 B = 100cm  
 Es = 250 kg/cm<sup>2</sup>  
 If = 82 cm/m  
 U = 0.25  
 Se obtiene: s = 0.29 cm

Concluimos que el asentamiento máximo en esta zona será 0.58 cm, inferior a lo permisible (2.54 cm), por lo que no se presentarán problemas por asentamiento.

## 5.4 ASPECTOS GEOLOGICOS

### 5.4.1 GEOLOGÍA

El Departamento de Lambayeque, y en general todo el valle del Chancay, están apoyados sobre un depósito de suelos finos, Sedimentarios,

Heterogéneos, de unidades estratigráficas recientes en estado sumergido y no saturado. Un análisis cualitativo de la estratigrafía que conforma los depósitos sedimentarios de suelos finos ubica un estrato de potencia definida sobre depósitos fluviales, eólicos, aluviales del cuaternario reciente.

### 5.4.2 GEOTECNIA



  
 Walter J. Muñoz Delgado  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 82478

**CONSORCIO TEBOL**  
  
 Ing. Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

Son diversos los problemas de capacidad de carga, asentamientos, expansión, etc., que plantean los depósitos de suelos finos sedimentarios; más aun si se tiene en cuenta el fenómeno que se presenta por la variación de la napa freática, que en determinadas épocas del año ubican a estos suelos en condiciones de sumergido y saturado. Este fenómeno de variación de la napa freática se debe fundamentalmente a que la zona de Lambayeque se ubica topográficamente más bajo respecto a las zonas agrícolas que la rodean y estos depósitos presentan en su estratigrafía estratos permeables por donde discurre el agua, elevando el nivel de la napa freática en tiempo de máximas avenidas.

### 5.4.3 GEODINAMICA EXTERNA

El sub suelo de actividad de cimentación no está sujeto a socavaciones ni deslizamientos, así como no se ha encontrado evidencias de hundimientos ni levantamientos en el terreno; asimismo la geodinámica

Externa en el área de estudio no presenta en la actualidad riesgo alguno de deslizamiento de masas de tierra, etc

Tampoco se han observado fallas geológicas o problemas estructurales cuya existencia afectaría la seguridad de la obra en sí.



*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

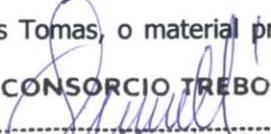
## 6. CONCLUSIONES

- El estudio se ha desarrollado con la finalidad de investigar la calidad del terreno de fundación para la culminación de la construcción de la Autopista Pimentel – Chiclayo, que permitan diseñar la estructura del pavimento para un periodo de diseño.
- El Proyecto en estudio abarca un solo tramo desde cercanías de la Universidad Señor de Sipan con progresiva Km 6+967.37, hasta cercanías a la Vía de Evitamiento con progresiva Km 9+944, que actualmente tiene un solo carril, para constituir el proyecto en dos carriles.
- La evaluación del terreno de fundación, se realizaron 20 calicatas mediante calicatas excavadas manualmente, a una profundidad variable de 1.50m a 2.30m, esta profundidad se extendió por la presencia de una estructura de pavimento existente. Se extrajeron muestras del suelo que fueron analizadas en el laboratorio de la Empresa A & C Exploración Geotécnica y Mecánica de Suelos S.R Ltda, lo que permitió conocer la estratigrafía de la vía en estudio.

**CONSORCIO TEBOL**  
*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
**Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro**  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

- El Tramo actual se encuentra en un regular estado de conservación, la carpeta de rodadura se encuentra no muy desgastada, sin embargo se tendrá que reemplazar para dar paso al proyecto de continuación de la autopista Pimentel – Chiclayo.
- Según el estudio de suelos y la evaluación respectiva se sectorizo el tramo del proyecto en dos Sub sectores con características homogéneas: Sub Sector 1 de la Progresiva Km 6+967.37 a Km 8+500 con material granular en las primeras capas (GW) seguido de Arenas pobremente gradadas (SP) con una capacidad de soporte de media a alta; y el Sub Sector 2 de la progresiva Km 8+500 a la progresiva Km 9+940, con material granular en las primeras capas (GW) seguido de Limos Arcillosos (ML-CL), con una capacidad de soporte regular.
- En el diseño de la vía en estudio, se obtuvieron los datos de CBR en promedio al 95% de densidad y a 01" de penetración en condiciones saturadas.
- Según el diseño de Trazo vial que determinan el nivel y cota de la rasante del proyecto, esta por lo general siguiendo el nivel de terreno natural lo que va a significar que se haga corte de terreno y en algunos tramos en relleno lo que hace necesario incluir material de préstamo o material propio seleccionado para llegar al nivel mencionado y para ello se usara Grava Arcillosa (GW-GC), proveniente de la cantera Tres Tomas, o material propio seleccionado del tipo GC.
- Según el Cuadro N° 06 "Consideraciones en el Diseño del Pavimento según el trazo de la Rasante", elaborado en base a la información del diseño Vial y los registros de calicata se detalla en los diferentes tramos las acciones pertinentes a realizar para tenerlas en cuenta al momento de la ejecución de la Obra. Se concluye que la capa de Relleno que se colocara en las progresivas respectivas no conformaran o serán parte del pavimento por lo que este relleno será considerado como relleno controlado. En tramos donde se señala Corte se deberá realizar la compactación de la subrasante según las especificaciones técnicas, así mismo al momento de escarificar.
- La alternativa de diseño propuesta para el Estudio Definitivo para la culminación de la construcción de la Autopista Pimentel - Chiclayo, es la metodología AASHTO -1993. En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los cálculos efectuados.

CONSORCIO TEBOL

  
Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO

  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62479

**RESUMEN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS**  
**RESUMEN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS**

PROGRESIVA (Km.)	SECTOR	PERIODO 10 AÑOS			AL TERMINO DEL DECIMO AÑO	PERIODO 20 AÑOS		
		ESPESORES EN PULGADAS				RECAPADO MAC	ESPESORES EN PULGADAS	
		MAC	BASE	SUBBASE	MAC		BASE	SUBBASE
<b>METODO AASHTO</b>								
3. SISTEMA MULTICAPA								
6+967.37 - 9+944	1	3	10	10	-	4	10	12
4. DISEÑO POR ETAPAS								
6+967.37 - 9+944	1	3	10	10	2.5	-	-	-
<b>METODO INSTITUTO DEL ASFALTO</b>								
3. SISTEMA MULTICAPA								
6+967.37 - 9+944	1	12	12	-	-	14	12	-
4. DISEÑO POR ETAPAS								
6+967.37 - 9+944	1	12	12	-	6	-	-	-

- Para el presente proyecto, en las dos Vías proyectadas, se concluye que el espesor de la estructura de pavimento es según el diseño AASHTO, el cual está definida para un periodo de diseño de 10 años tal como se indica:

Carpeta asfáltica: 7.5cm ó 3 pulgadas  
 Base Granular: 25 cm ó 10 pulgadas  
 Sub Base granular: 25 cm ó 10 pulgadas.

*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

Al cabo del periodo se tendrá que realizar una evaluación integral del pavimento, para poder proponer una refuerzo estructural, sin embargo en el presente capítulo se ha diseñado por etapas en el cual se recomienda colocar una capa de 2.5 pulgadas para prolongar la vida útil del pavimento para 10 años más.

- Se ha realizado la comprobación del diseño AASHTO con la verificación por medio de métodos analíticos o mecánico a través del programa de computación WINDEPAV desarrollado por la Universidad del Cauca - Colombia, en el cual arrojan valores de esfuerzo y deformación en las capas analizadas menores que los valores admisibles y deformación a la tracción algo mayores que los admisibles. Para tener un valor menor que el admisible es necesario aumentar el espesor de la carpeta asfáltica hasta un valor de 11 pulgadas como mínimo lo que implica reducir el espesor de las demás capas con un incremento

**CONSORCIO TEBOL**

*Santiago Alejandro*  
**Santiago Alejandro**  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

considerable del presupuesto del proyecto, sin embargo por la característica del Método AASHTO de ser empírico tiene gran aceptación e implementación para el diseño de pavimentos, por lo que la estructura del pavimento propuesto, garantiza el periodo de servicio de diseño.

- La Base y una sub base granular, deberá cumplir con un valor promedio de CBR igual o mayor de 100% y 40% respectivamente en condiciones saturadas al 95% de densidad y a 01" de penetración.
- Por las características climáticas de la zona, se plantea el empleo de Mezcla Asfáltica en Caliente con un PEN 60 – 70, como capa de rodadura y de espesor mínimo de 3 pulgadas para un periodo de diseño de 10años.
- Para bermas se está considerando el mismo diseño de pavimento que el de las calzadas.

**7. RECOMENDACIONES**

- La alternativa de estructura del pavimento está basada en la calidad de los materiales granulares de base y sub-base por lo que deberán cumplir con las especificaciones generales y principalmente las siguientes:

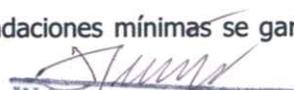


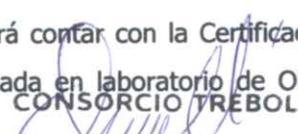
*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 82476

PARAMETROS	REQUISITOS MINIMOS
CBR – Base	100%min.
CBR – Subbase	40% mín.
Desgaste Mecánico- Base	40% máx.
Desgaste Mecánico - Sub-base	50% máx.
Equivalente de Arena – Base	35% min.
Equivalente de Arena – Sub base	25% min.
Límite líquido - Sub base	25% máx.
Índice plástico – Base	4% máx.
Índice plástico – Sub base	6% máx.
Compactación de la Base	≥ 100% de la Máxima Densidad Seca del Próctor Modificado
Compactación de la Sub-base	

*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
CONSORCIO TEBOL  
Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

- El material de subbase debe depositarse y esparcirse equitativamente para lograr un espesor y ancho uniforme. Se agregarán tantas capas de materiales según sea necesario para obtener la mezcla de la subbase requerida. Cuando el espesor requerido de materiales se haya colocado, se mezclará y combinará adecuadamente por medio de niveladoras, discos, rastras, arados giratorios, complementado por otros equipos adecuados en caso necesario.
- En el proceso de conformación de las capas granulares de la estructura del pavimento, se tiene que realizar un control estricto sobre el contenido de humedad óptimo; para alcanzar la máxima densidad.
- La mezcla asfáltica se adquiere de una empresa particular denominada La Pluma, al que se le solicitara la cantidad requerida según la programación de los trabajos al momento de iniciar la Obra, esta empresa es la que emitirá los certificados de ensayos y pruebas correspondientes en cuanto a los insumos que intervienen para su elaboración; así mismo al momento de la colocación de la carpeta asfáltica se deberá tomar la temperatura a fin de uniformizar la compactación. Siguiendo estas recomendaciones mínimas se garantizará el buen desempeño de la mezcla asfáltica.
- Las mezclas asfálticas en caliente se colocaran únicamente cuando la base este seca, se deberá evitar las ráfagas de viento y la temperatura del ambiente no deberá ser menor a 10° C, que el tiempo no esté neblinoso ni lluvioso. Evitar los sobrecalentamientos de la Mezcla Asfáltica, ya que esto produce la oxidación del asfalto, para lo cual deberá contarse con la curva Viscosidad – Temperatura y obtener el rango de temperaturas de trabajo.
- Toda remesa de Cemento Asfáltico que ingrese a Obra deberá contar con la Certificación Actualizada de Control de Calidad, la cual deberá ser verificada en laboratorio de Obra, principalmente en lo referente a la penetración del asfalto.
- El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente, será clasificado por su viscosidad absoluta y por su penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico, las consideraciones del Proyecto y las indicaciones del Supervisor.
- El tipo de cemento será de penetración 60-70, el cual debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a temperatura de

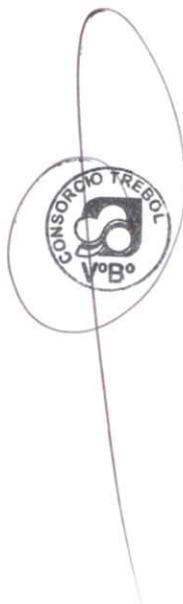
  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP 62478

  
Ing. Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP 39038

140°C. Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que a continuación se establecen:

CARACTERISTICAS	ENSAYO	GRADO DE PENETRACION	
		60 – 70	
		Mín.	Máx.
Penetración 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	60	70
Punto de Inflamación COC, °C	MTC E 312	232	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	MTC E 302	99	-
Susceptibilidad Térmica	MTC E 316		
Ensayo de Película Delgada en horno, 3.2 mm, 163°C, 5 hrs		-	0.8
• Pérdida de masa, %	MTC E 304	57	-
• Penetración del residuo, % de la penetración origina.	MTC E 306	100	-
• Ductilidad del residuo, 25°C, 5cm/min, cm.			
Índice de Susceptibilidad térmica		-1.0	+1.0
Ensayo de la Mancha con solvente Heptano – Xileno 20% (opcional)	MTC E 314	Negativo	

- Las especificaciones que se indican en el diseño forman parte de las Especificaciones Técnicas, por lo que se deberán tener en cuenta para la buena ejecución de la obra.



*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476

*Hugo Enrique Santisteban Alejandro*  
CONSORCIO TEBOL  
Ing. Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038



# ANEXO 4.1

## MEMORIA DE CÁLCULO

CONSORCIO TRESOL  
*[Handwritten Signature]*  
Ing. Hugo Enrique Santosoban Alajandro  
ESTUDIO ESTUDIO  
CIP. 39038

*[Handwritten Signature]*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478  


**Proyecto : Autopista Pimentel - Chiclayo**

**Calculo de SN para la Obra Carril de Entrada**

Periodo de Diseño 10 años

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ingreso de datos

EAL	1.41E+07
ZR	-1.282
So	0.45
SN	?
PSIO	4.2
PSI1	2
Mr	14799
años	10
DPSI	2.2

7.149219	1.0
0.576900	2.0
0.200000	3.0
-9.699754	4.0
8.070000	5.0

6.321180	b
6.322919	c

Dif: -0.0017

iteraciones

3.890000

SN

Iteraciones	
SN	Diferencia
4.88	0.0060
4.89	-0.0017
4.90	-0.0095

SN = a1x D1 + a2 x D2 x m2 + a3 x D3 x m3

SN= a1xD1+a2xD2xm2+a3xD3xm3

a1= 0.42

D1=

3 ingresar valores

a2= 0.14

D2=

10

a3= 0.12

D3=

10

m1= 1.1

m2= 1.1

Reemplazando

SN= 4.12



Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 68870

CONSORCIO TEBOL  
Ing. Hugo Enrique Santisteban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 39038

**Proyecto : Autopista Pimentel - Chiclayo**

**Calculo de SN para la Obra Carril de Entrada**

Periodo de Diseño 20 años

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ingreso de datos

EAL	4.36E+07	7.639486	1.0
ZR	-1.282	0.576900	2.0
So	0.45	0.200000	3.0
SN	?	-9.674939	4.0
PSIO	4.2	8.070000	5.0
PSI1	2	6.811447	b
Mr	14799	6.811782	c
años	20	Dif:	-0.0003
DPSI	2.2		

Iteraciones	
SN	Diferencia
4.55	0.0660
4.56	-0.0003
4.57	-0.0072

iteraciones **4.560000** SN

SN = a1x D1 + a2 x D2 x m2 + a3 x D3 x m3

SN= a1xD1+a2xD2xm2+a3xD3xm3

a1= 0.42	D1= 4	ingresar valores
a2= 0.14	D2= 10	
a3= 0.12	D3= 12	
m1= 1.1		
m2= 1.1		

Reemplazando

SN= **4.80**



*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62479

*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
CONSORCIO TEBOL  
Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
JEFE DE ESTUDIO  
CIP. 19038

**ANEXO 4.2**  
**GRAFICO 08**



*[Signature]*  
CONSORCIO TRESOL  
Ing. Hugo Enrique Santacruces Alejauro  
TRESOL STUDIO  
CIP. 39038



*[Signature]*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476

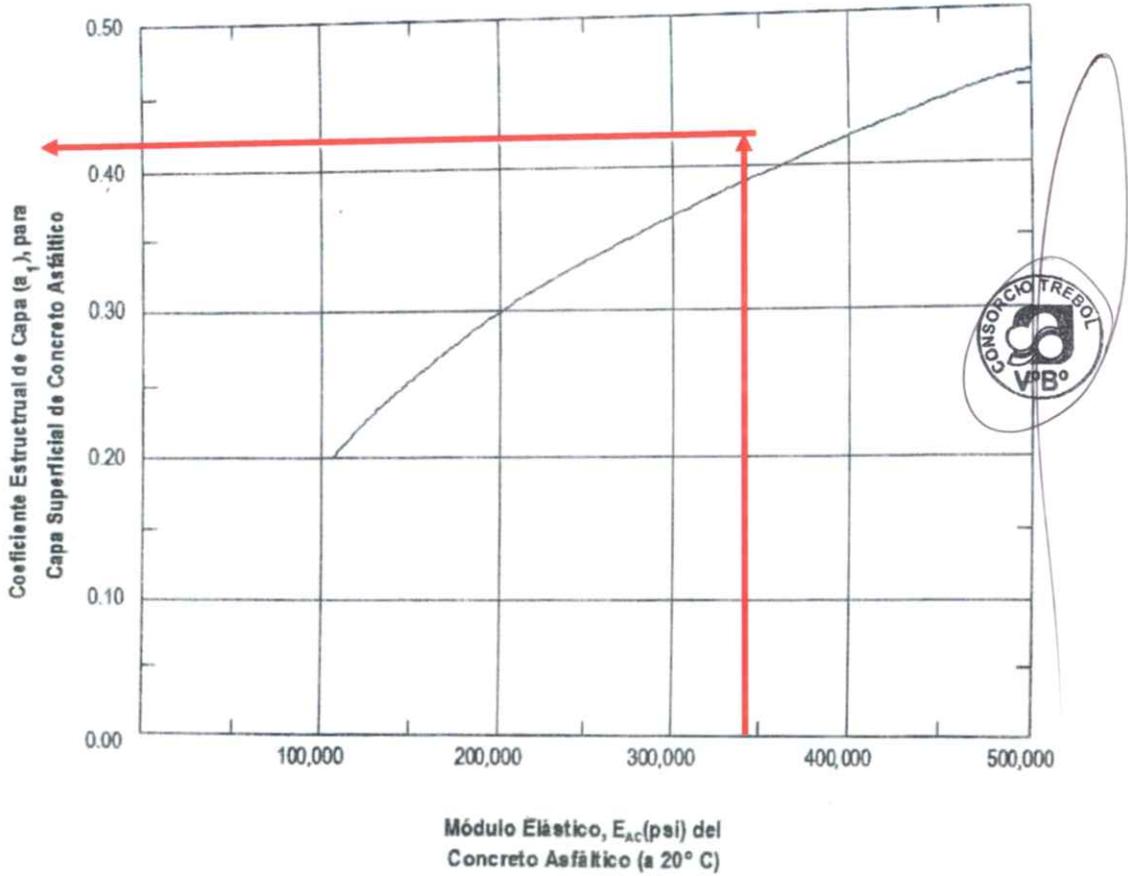


Grafico N° 08

Carta para la estimación del Coeficiente Estructural de Capa de Concreto Asfáltico ( $a_1$ ) Gradacion Densa Basada en el Modulo Elastico (Resiliente)

*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

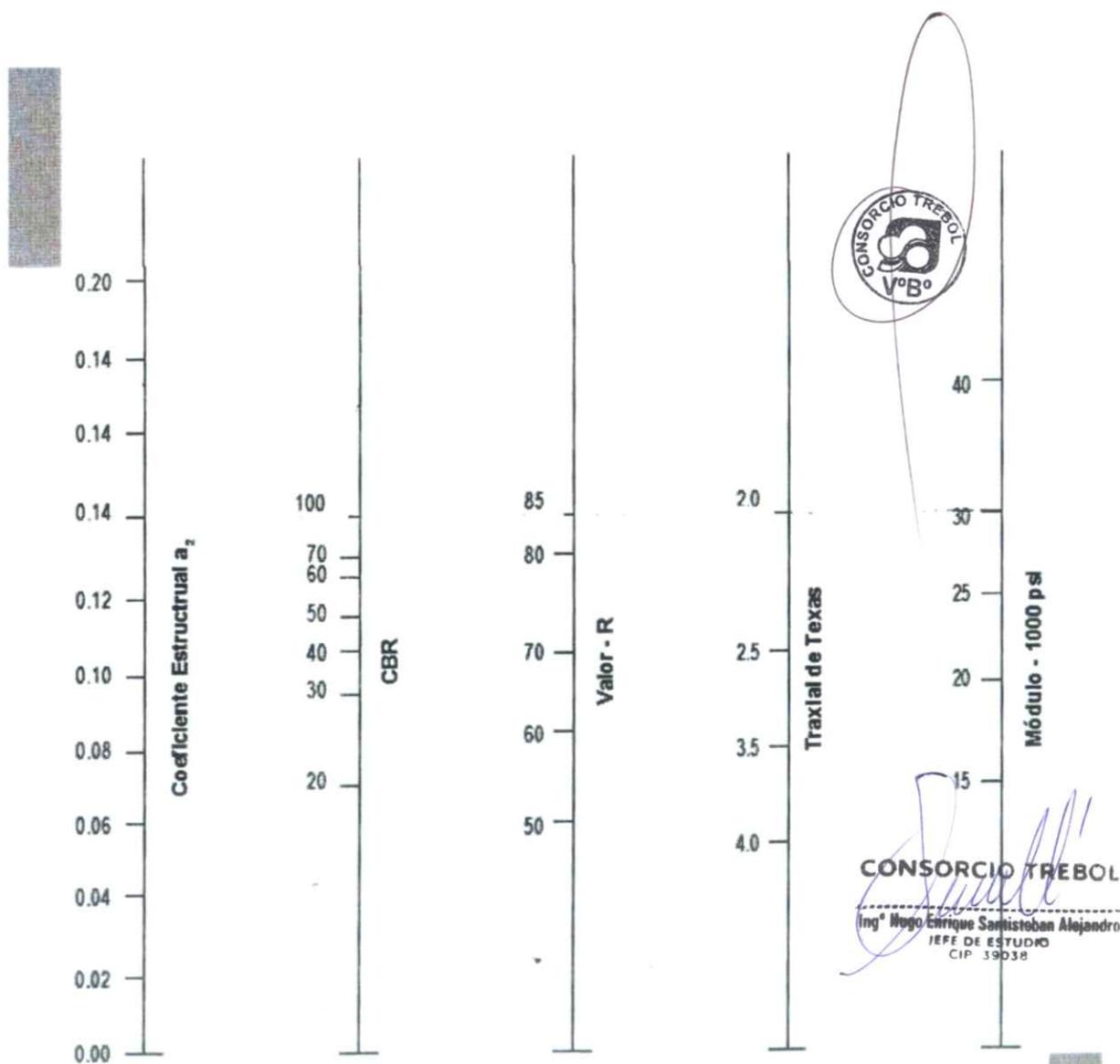
*Hugo Enrique Santistoban Alejandro*  
**CONSORCIO TEBOL**  
 Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

**ANEXO 4.3**  
**GRAFICO 09**



*[Signature]*  
**CONSORCIO TRESOL**  
Ing. Hugo Enrique Santisoban Alejandro  
D.P.E. 15570010  
CIP. 39038

*[Signature]*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478



**CONSORCIO TEBOL**  
 Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39038

*[Signature]*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 82476

Grafico N° 09 Variacion en el Coeficiente Estructural de Capa de Base Granular ( $a_2$ ) con Diferentes parámetros de Resistencia.

**ANEXO 4.4**  
**GRAFICO 10**



CONSORCIO TRESOL  
*Enrique Santisoban Alejandro*  
Ingeniero Enrique Santisoban Alejandro  
CIP. 39038

*Walter J. Muñoz Delgado*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62478  




Grafico N° 10 Variacion en el Coeficiente Estructural de Capa de Sub base Granular ( $a_3$ ) con Diferentes parámetros de Resistencia.

CONSORCIO TEBOL  
 Ing° Hugo Enrique Santistoban Alejandro  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP 39038

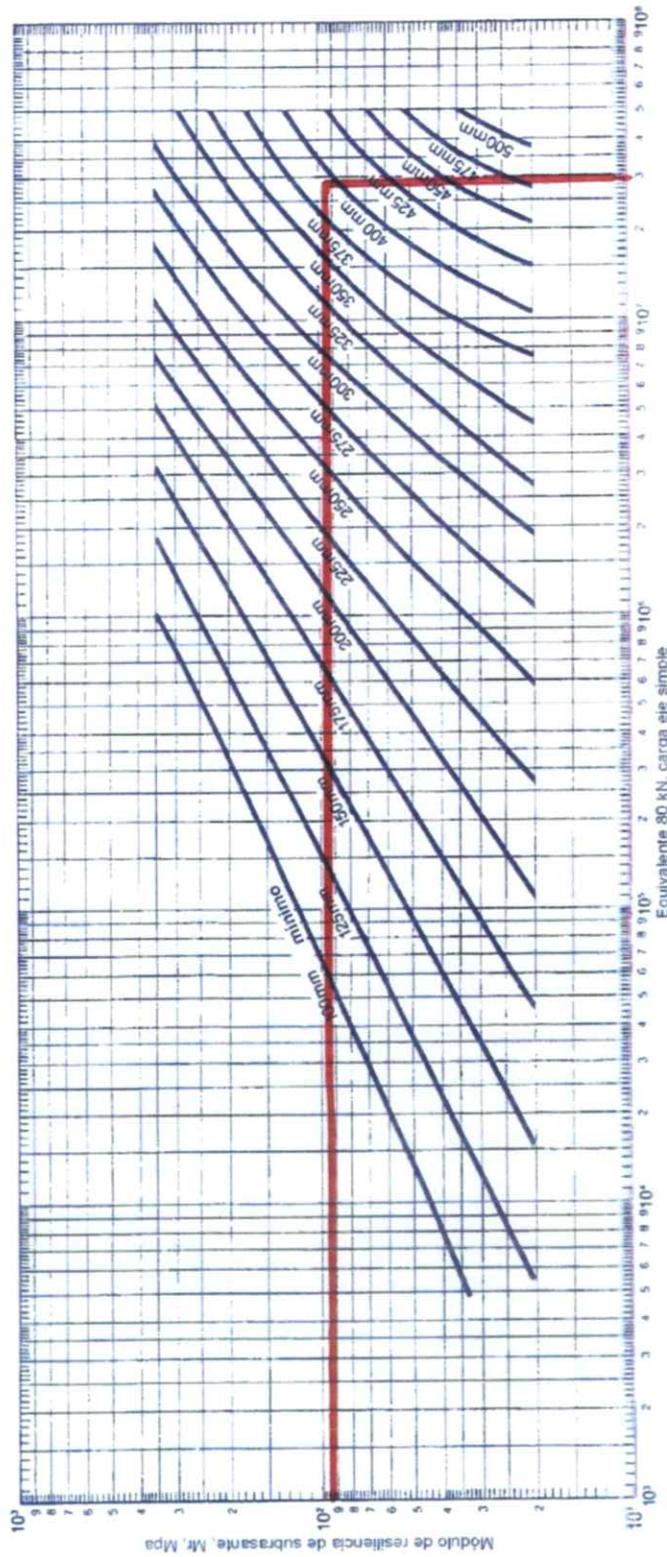
Walter J. Muñoz Delgado  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62476

**ANEXO 4.5**  
**GRAFICO 11**



*[Signature]*  
CONSORCIO TRESOL  
Ing. Hugo Enrique Santisoban Alejandro  
ESTUDIO  
CIP. 39038

*[Signature]*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476  

**CONSORCIO TRESOL**  
 Ing° Hugo Enrique Santisteban Alejandre  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP 39038

**Grafico No 11 – Espesor completo de Asfalto (Diseño Full Depth- Instituto del Asfalto)**



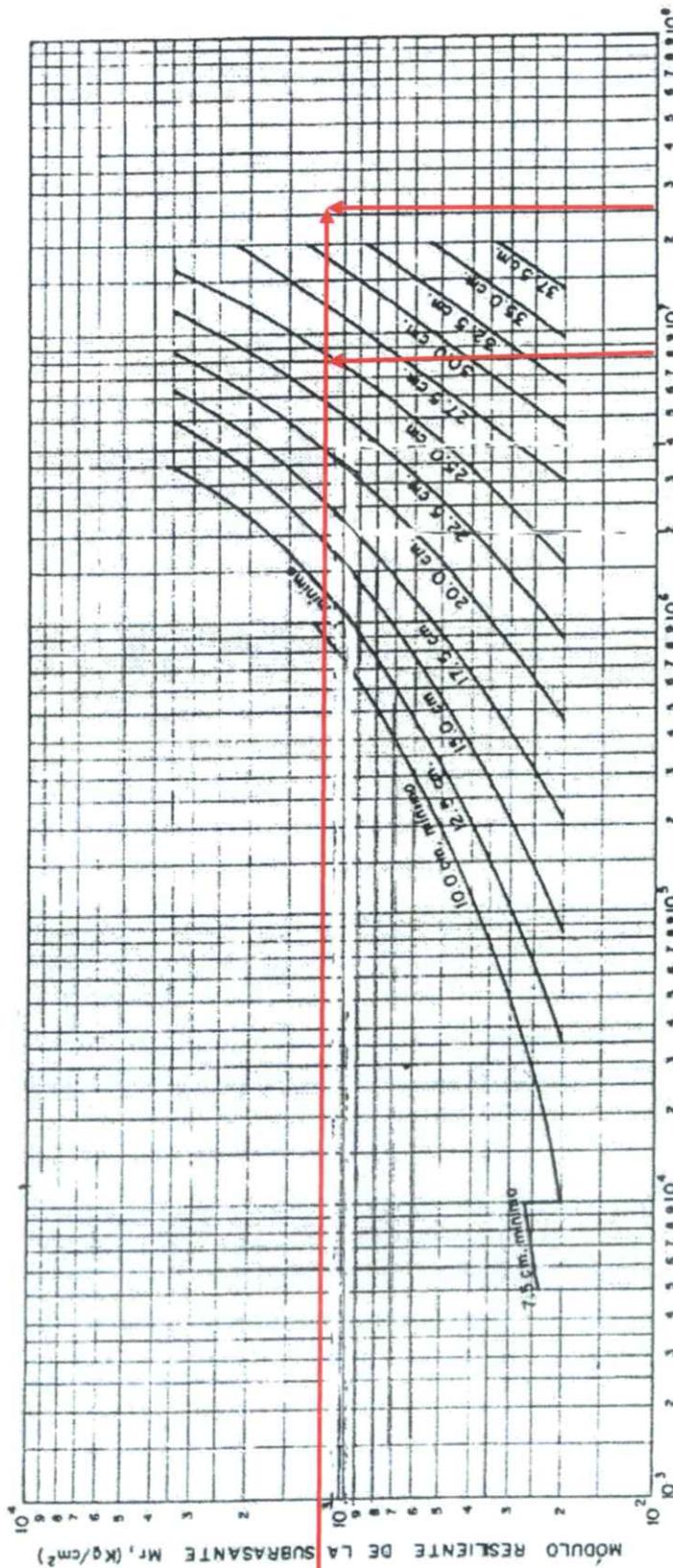
Walter J. Muñoz Delgado  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 82478

**ANEXO 4.6**  
**GRAFICO 12**



CONSORCIO TRESOL  
*[Signature]*  
Ing.º Enrique Santisueban Alejaandro  
JEFE DEL ESTUDIO  
CIP. 55038

*[Signature]*  
Walter J. Muñoz Delgado  
INGENIERO CIVIL  
CIP. 62476  

NÚMERO ACUMULADO DE EJES SIMPLES EQUIVALENTES DE 8.2 TON. EN EL CARRIL DE DISEÑO

**CONSORCIO TRESOL**  
 Ing. Hugo Enrique Santisteban Aljanar  
 JEFE DE ESTUDIO  
 CIP. 39035



Grafico N° 12 Diagrama de Diseño para Base granular de 30.0 cm. de espesor.  
 (Fuente: MS-1, The Asphalt Instittu, Thickness Desing, 1981)

*Walter J. Muñoz Delgado*  
**Walter J. Muñoz Delgado**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. 62478