



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS
ESTRUCTURALES**

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA	
Laboratorio Nac. de Materiales y Modelos Estructurales	
P I T R A	
01 SEP 2008	
R E C I B I D O	
Firma: <u>[Signature]</u>	Hora: <u>[Signature]</u>

INFORME DE ASESORÍA

Ruta 034:

TRAMO ESTERILLOS – LOMAS

Parrita

Realizado por

**Ing. Roy Barrantes
Ing. Gustavo Badilla
Denia Sibaja**

Enero 2008

ÍNDICE GENERAL

Paso 1: Determinación de los requerimientos de la vía.....	4
Paso 2: Información del tráfico	4
Cálculo del tránsito.....	4
Paso 3: Investigación del pavimento	6
• Ubicación	6
• No. de Ruta	7
• Ruta.....	7
• Sección de control	7
• Longitud tramo.....	7
• Clasificación	7
• Dranajes:.....	7
• Geometría:	7
• Uso del suelo en la zona:.....	8
• Investigación visual general.....	8
• Investigación visual específica.....	11
• Muestras de cielos abiertos.....	11
• Ensayos de Deflectometría.....	18
• Ensayo de Regularidad Superficial.....	20
Paso 4: Diseño preliminar de la sobrecapa. Metodología AASHTO 93.....	22
Cálculo de las variables de diseño.....	22
Índice de serviciabilidad.....	22
Nivel de confianza.....	23
Retrocálculo de Módulos de las Capas Existentes	24
Cálculo del número estructural existente en el tramo.....	26
Cálculo del número estructural requerido para del periodo de diseño elegido.....	27
Análisis por fatiga de las capas del pavimento propuestas	28
Análisis de resultados por fatiga.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de estación de conteo para la sección de estudio.....	4
Tabla 2 Cálculo de ejes equivalentes de diseño.....	5
Tabla 3 Espesores obtenidos en los cielos abiertos y descripción.....	12
Tabla 4 Muestras extraídas en excavaciones a cielo abierto.....	13
Tabla 5 Resultados de las pruebas de laboratorio de suelos.....	14
Tabla 6 Clasificación de materiales según análisis granulométrico.....	18
Tabla 7 Valores de deflexiones medidos en el tramo.....	24
Tabla 8 Comparación de deflexiones.....	25

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Perfil de los espesores hallados en las excavaciones a cielo abierto.....	13
Gráfico 2 Análisis granulométrico muestra 0964-07 A.....	15
Gráfico 3 Análisis granulométrico muestra 0964-07 B.....	15
Gráfico 4 Análisis granulométrico muestra 0966-07 A.....	16
Gráfico 5 Análisis granulométrico muestra 0966-07 B.....	17
Gráfico 6 Análisis granulométrico muestra 0990-07.....	17
Gráfico 7 Valores de D1 (deflexión central) y análisis de tramos homogéneos.....	19
Gráfico 8 Valores de IRI cada 100 metros Sentido Esterillos – Lomas.....	20
Gráfico 9 Valores de IRI cada 100 metros Sentido Lomas - Esterillos.....	20
Gráfico 10 Esquema resumen de Mediciones Instrumentales y Evaluación Visual.....	21
Gráfico 11 Comparación de deflexiones.....	25

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	26
Ecuación 2.....	27
Ecuación 3.....	28
Ecuación 4.....	30
Ecuación 5.....	31
Ecuación 6.....	31

Paso 1: Determinación de los requerimientos de la vía

- El período de diseño se considera de 8 años
- El tránsito se toma de la información recolectada de la estación 744 de conteos permanente del MOPT
- Los datos de la estructura existente se recopila a través de muestreos de campo.

Paso 2: Información del tráfico

Cálculo del tránsito

En el cálculo del tránsito para la sección de estudio se realizó una investigación para recopilar la información de las estaciones de conteo disponibles y que fueran representativas del tramo Esterillos – Lomas.

La estación de conteo más cercana al tramo de estudio corresponde a la estación 744, ubicada en localidad de Loma a 200 del final de la ruta 239.

Los datos de esta estación son los siguientes:

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTES ASESORIA DE PLANIFICACION UNIDAD LOGISTICA										
TRANSITO PROMEDIO DIARIO Y % DE VEHICULOS										
ESTACION N°: 744		RUTA: 34								
TRAMO: JACO - PARRITA										
UBICACION: LOMA, 200 M. ANTES DEL FINAL DE LA RUTA N° 239.										
SECCION: 60082										
AÑO	T.P.D.	LIVIANOS		PESADOS					TOTAL	
		PASAJ.	C. LIV.	BUSES	2 EJES	3 EJES	4 EJES	5 EJES	LIV.	PES.
1987	420	24.03	26.04	6.71	21.91	4.59	0	6.71	60.07	20.92
1988	460	30.86	36.07	5.75	17.83	3.57	0	5.92	66.93	33.07
1989	435	37.70	36.10	4.79	11.82	2.56	0.32	6.71	73.80	26.20
1990	580	38.40	35.20	5.40	14.80	3.40	0.21	2.59	73.60	26.40
1991	635	39.58	37.40	2.78	14.12	3.01	0.23	3.24	76.98	23.38
1992										
1993	755	40.10	35.10	4.02	13.50	2.40	0	4.88	75.20	24.80
1994	845								0.00	0.00
1995	900	38.92	39.71	3.19	12.12	0.80	0	5.26	78.63	21.37
2000	1555	55.81	27.69	2.56	9.15	0.77		4.02	83.50	16.50
2005	4531	68.36	18.20	1.56	7.88	1.56		2.44	86.56	13.44

Tabla 1 Datos de estación de conteo para la sección de estudio.

Como se puede ver la información sobre el tránsito registrada por el Departamento de Planificación Sectorial del MOPT no es completa, sin embargo permite definir porcentajes de distribución vehicular.

Siendo el aumento de tránsito entre el año 2000 y el 2005 de casi un 300%, se decide tomar en cuenta para el cálculo del porcentaje de crecimiento anual en esta sección, únicamente la contribución de los vehículos pesados, que son los que brindan la sollicitación de cargas más significativa a nivel estructural.

Este porcentaje de aumento corresponde a un **7.4%** y se considerará que este será el porcentaje de crecimiento anual que afectará a los vehículos tipo C2, C2+, C3, T3-S2, pick ups y buses que son los que aportan cargas significativas al paquete estructural.

Nota: Los espesores resultados de este diseño no consideran el posible aumento en el tránsito producto de la apertura de la Interamericana Sur y el tránsito previsto para las secciones Quepos – Savegre – Barú.

Tomando en consideración los elementos mencionados, se decide realizar un cálculo del tránsito para un periodo de diseño de 8 años, elegido como el periodo mínimo de diseño para un proyecto de este tipo. Se toma como año base del diseño el año 2009 y es a partir de ese año que se proyecta el tránsito de la sección.

TPD 2005	4531	
Porcentaje de crecimiento	7.4	
TPD 2009	6028.53	TPD2005*(1+i) ⁿ

Año		TPD ¹	C2 ²	C3	Pick-up y C2+	Bus C2, Bus C2+, ejes dobles	T3 S2	Esals diseño ³	Esal Diario
		Porcentaje de distribución	7.88	1.56	18.2	1.56	2.44		
		Pocentajes	0.08	0.02	0.18	0.02	0.02		
1	2009	6029	392.86	185.36	18.65	174.92	567.94	489,005.53	1,339.74
2	2010	6475	421.94	199.08	20.03	187.87	609.97	525,191.94	1,438.88
3	2011	6954	453.16	213.81	21.51	201.77	655.10	564,056.15	1,545.36
4	2012	7468	486.69	229.63	23.11	216.70	703.58	605,796.30	1,659.72
5	2013	8021	522.71	246.63	24.82	232.74	755.65	650,625.23	1,782.53
6	2014	8615	561.39	264.88	26.65	249.96	811.56	698,771.49	1,914.44
7	2015	9252	602.93	284.48	28.63	268.46	871.62	750,480.59	2,056.11
8	2016	9937	647.55	305.53	30.74	288.32	936.12	806,016.15	2,208.26

Por carril 5,089,943.38
2,544,971.69

Factor camión	C2	C3	Pick-up y C2+	Bus C2, Bus C2+, ejes dobles	T3 S2
	0.827	1.971	0.017	1.86	3.861
	Cartago	Bernardo Soto	Promedio aprox	Pérez Zeledón	San Carlos

Tabla 2 Cálculo de ejes equivalentes de diseño.

$$\textcircled{1} \quad TPD_{\text{año-correspondiente}} = TPD_{\text{año-anterior}} * (1 + i)^n$$

En este caso como se hace año a año, se basa en el TPD del año anterior entonces n=1

$$2) \text{ Valor} = TPD_{\text{año-correspondiente}} * \% \text{ de distribución de ese tipo de vehículo} * \text{Factor camión}$$

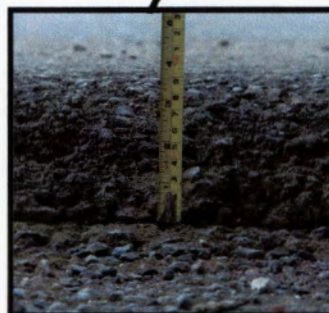
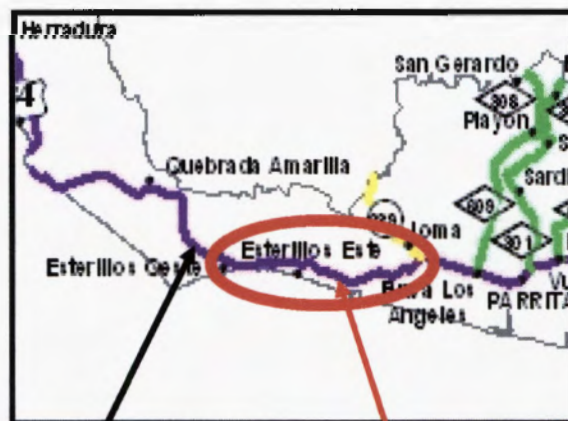
3) **Suma de las casillas * 365**

En el cálculo anterior de los Ejes Equivalentes de diseño, se utilizaron los factores camión obtenidos del estudio de encuesta de carga realizado por la Unidad de Investigación del LanammeUCR, del cual se tomaron aquellos factores camión que correspondían a distribuciones vehiculares similares a las encontradas en el tramo Esterillo – Lomas, y considerando el uso del suelo entre otros elementos.

Paso 3: Investigación del pavimento

Para el diseño de sobrecapas de pavimento flexible es necesario hacer una recopilación de información.

1-DESCRIPCIÓN DE LA RUTA O SECCIÓN



Espesor de la sobrecapa colocada entre las localidades de Jacó – Esterillos Centro.



Espesores del pavimento observados en el sitio

Ilustración 1 Ubicación del tramo Esterillos Lomas

• **Ubicación**

Costanera Sur, entre Jacó y Parrita. El tramo de 10.3 km sobre la ruta 34, consiste en una sección de ancho aproximado de 10m, ubicada entre las localidades de Esterillos y Lomas. (Ilustración 1). La sección de estudio inicia en la entrada a Esterillos Centro (0+000) donde se puede observar el final de la capa de ruedo que estaba siendo colocada para esta ruta en el tramo Jacó – Lomas. Esta capa tiene un espesor aproximado de 9 cm. Posteriormente, ya en la sección Esterillos – Lomas el paquete estructural que se pudo observar correspondía con una base rígida “estabilizada o mejorada” con cemento hidráulico con un espesor aproximado de 11cm, recubierta por una “carpetilla delgada” con espesores < 4cm.

- **No. de Ruta**

34

- **Ruta**

Nacional

- **Sección de control**

60082

- **Longitud tramo**

10.3 km

- **Clasificación**

Primaria

2-VISITA CAMPO

- **Drenajes:**

En la fecha en la que se realizó la visita se pudo observar que algunas alcantarillas estaban a punto de alcanzar su capacidad máxima, lo cual evidencia Inadecuadas condiciones de drenajes en la sección. En presencia de lluvias la vía se inundará, favoreciendo el deterioro de la capa de ruedo.



Ilustración 2 Drenaje Pobre

Realizar las mediciones o descripciones correspondientes al ancho de carril, elevación de rasante, bombeo transversal, pendiente longitudinal, perfil transversal

• **Uso del suelo en la zona:**

Las principales actividades que se desarrollan en la zona están relacionadas con el turismo. Sin embargo esta ruta, es parte de la costanera y aunque la ruta aún no es utilizada plenamente por los transportistas de carga pesada, posiblemente se dé un incremento cuando la carretera sea completada.

• **Investigación visual general**

En la primera visita se realizó una inspección visual general, la cual se afinará en una próxima visita.

En cuanto a deterioros, se observó un patrón generalizado de desprendimientos (peladuras) de severidad alta, producto de envejecimiento de asfalto luego de sufrir 8 años de servicio, lo cual se suma al poco espesor de la capa, lo que ha acelerado el proceso de oxidación. La capa de rodamiento presenta una macrotextura alta producto de la pérdida de finos y del poco espesor de la carpeta en relación con el tamaño máximo nominal de la mezcla observada (12.5 mm).

El desprendimiento observado no es total, aún se mantiene gran cantidad de la sobrecapa, sin embargo corresponde a un área, medida en tramos de 100m cada uno, superior al 30% de la superficie de toda la sección, calificándolo como un deterioro de severidad alta según el "Catálogo de Deterioros para Pavimentos Flexibles" del Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica y califica como este tipo de deterioro ("raveling") por tratarse de una carpetilla delgada de mezcla densa convencional; este tipo de deterioro no debe ser medido cuando se trata de tratamientos superficiales.



Ilustración 3 Desprendimientos característicos de la sección observada, ruta 34, Esterillos – Lomas

Posibles causas de este tipo de deterioro

- * Envejecimiento del ligante asfáltico.
- * Insuficiente penetración (< 0.5 cm) del riego de imprimación en la base estabilizada.
- * Dosificación insuficiente de ligante (asfalto) en la base estabilizada.
- * Ligante (asfalto) inadecuado o de mala calidad.
- * Espesor insuficiente de la capa de rodadura (carpeta).
- * Compactación insuficiente o deficiente.

Adicionalmente, se observó un patrón de agrietamiento transversal sobre la carpeta delgada, que es característico de las bases o capas estabilizadas con cemento hidráulico que presentan agrietamiento por contracción. Este agrietamiento que se ha reflejado sobre la carpeta delgada existente, indudablemente se va a reflejar sobre cualquier otra sobrecapa que quiera colocarse a menos que se tomen medidas de mitigación de reflejo de grietas.

El patrón observado corresponde con agrietamiento transversal continuo a lo largo de toda la sección, con presencia de grietas en espaciamientos que varían de 4 – 10 m convirtiendo este deterioro en un deterioro de severidad alta (> 15 grietas longitudinales en tramos medidos de 100m) según el “Catálogo de Deterioros para Pavimentos Flexibles” del Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica, adicionalmente, el agrietamiento observado presenta anchos promedio superiores a los 19mm, calificando este tipo de agrietamiento de severidad alta según el catálogo de deterioros de la “Federal Highway Administration”.

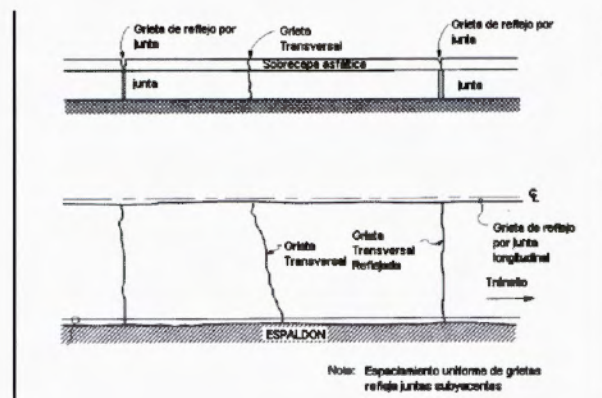


Ilustración 4 Diagrama de agrietamientos reflejados en la capa superior



Ilustración 5 Patrón de agrietamiento presente a lo largo de toda la sección



Ilustración 6 Ancho de grietas de severidad alta

- **Investigación visual específica**

- **Pendiente**

- **Muestras de cielos abiertos**

Se realizaron cuatro muestreos a cielo abierto de los cuales se obtuvo la información de espesores y descripción cualitativa de los materiales que se muestra en la

Tabla 3. Los espesores o promedios ponderados de los mismos, serán utilizados más adelante para el Retrocálculo de Módulos.

Estacionamiento	Nombre de la capa	Espesores	Descripción
0+000	CA	3	Muy delgada se deforma, se quiebra fácilmente
	BE	14	Base Estabilizada muy compacta
	Base	55	Base granular, arenoso, medianamente compacta, gris oscuro muy húmedo
	Subbrasante		Material de gran tamaño, color café claro muy compacto
2+250	CA	3	Carpeta muy delgada
	BE	14	Base estabilizada muy compacta
	Base	55	Base granular arenosa
	Subbrasante		Arcilloso material con piedras color café claro
4+250	CA	3	
	BE	14	
	Base	88	Material de río
	Subbase	-	
	Subbrasante	27	Material arcilloso, con piedras
7+750	CA	1.5	
	BE	16.5	
	Base	34	Gris oscuro, material de río, tamaño máximo 6.5 cm
	Subbase	20.5	Material de río, tam max 11.5
	Subbrasante	48.5	Muy compacta, material arcilloso plástica, color terracota
10+100	CA	3	
	BE	14	
	Subbase	62	Desde muy compacta hasta suelto, gris oscura.
	Subbrasante	28	Subrasante húmeda, café claro material arcilloso con segmentos gris claro

Tabla 3 Espesores obtenidos en los cielos abiertos y descripción cualitativa de los materiales hallados

En el **Gráfico 1** se puede observar el perfil de los materiales presentes en las diferentes excavaciones

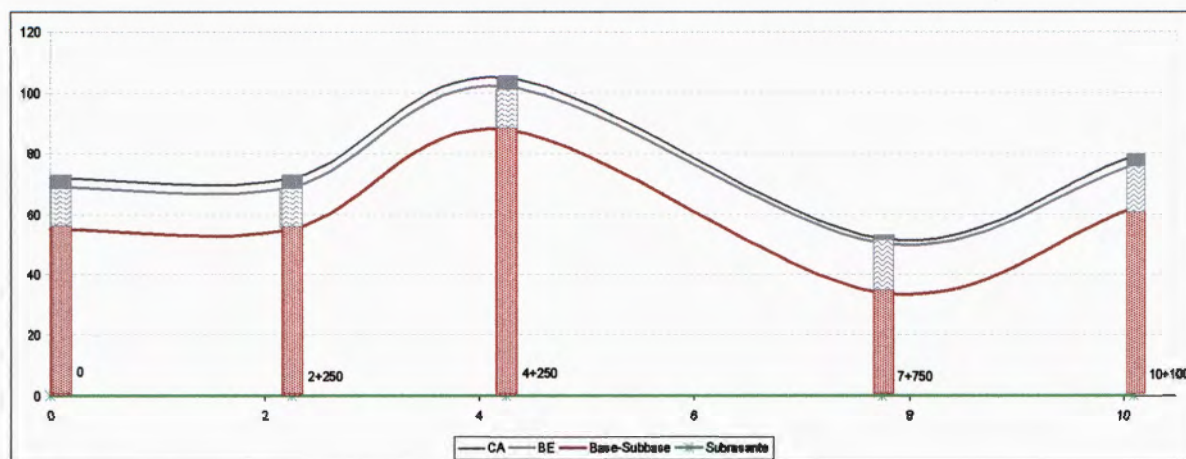


Gráfico 1 Perfil de los espesores hallados en las excavaciones a cielo abierto.

Además de estos sitios se extrajeron muestras para realizar ensayos que se detallan en la **Tabla 4** así como los respectivos resultados.

Número de muestra	Excavación ¹	Estacionamiento	Descripción inicial
0964-07 a	Excavación 1 saco	2+250	Base granular
0964-07 b	Excavación 1 saco		Subrasante
0965-07 a	Excavación 1 bolsa		Base granular
0965-07 b	Excavación 1 bolsa		Subrasante
0966-07 a	Excavación 3 saco	7+750	Subbase
0966-07 b	Excavación 3 saco		Subrasante
0967-07 a	Excavación 3 bolsa		Material de Base Granular
0967-07 b	Excavación 3 bolsa		Material de Subbase
0967-07 c	Excavación 3 bolsa		Material de Subrasante
0990-07	Excavación 4 saco	10+100	Agregado grueso
0991-07 a	Excavación 4 bolsa		Material de Base arenoso
0991-07 b	Excavación 4 bolsa		Material de Subrasante

Tabla 4 Muestras extraídas en excavaciones a cielo abierto

A las muestras 0965-07 a, 0965-07 b, 0967-07 a, 0967-07 b, 0967-07 c, 0991-07 a y 0991-07 b se les realizaron pruebas para determinar el Índice de Plasticidad y así definir la

¹ Se realizó una excavación en el estacionamiento 4+250, sin embargo de este punto solo se anotaron los espesores y no se extrajo material para pruebas de laboratorio.

correspondiente clasificación según la Carta de Plasticidad. Los resultados de estas pruebas se presentan en la **Tabla 5**.

Número de muestra	LL	LP	IP	%w	Est.	Descripción inicial	Clasificación según Carta Plasticidad
0965-07 a	NP	NP	NP	8.81	2+250	Base granular	Material no plástico
0965-07 b	57	25	32	31.52		Subrasante	Según la carta de plasticidad clasifica como CH: Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas
0967-07 a	NP	NP	NP	10.72	7+750	Material de Base Granular	Material no plástico
0967-07 b	NP	NP	NP	5.12		Material de Subbase	Material no plástico
0967-07 c	73	33	40	32.97		Material de Subrasante	Según la carta de plasticidad clasifica como MH: Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micacoso o con diatomeas, limos elásticos.
0991-07 a	NP	NP	NP	9.36	10+100	Material de Base arenoso	Material no plástico
0991-07 b	49	23	26	29.05		Material de Subrasante	Según la carta de plasticidad clasifica como CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras

Tabla 5 Resultados de las pruebas de laboratorio de suelos

Por otro lado a las muestras 0964-07 a, 0964-07 b, 0966-07 a, 0966-07 b y 0990-07 se les realizó un análisis granulométrico para comparar el material presente en las excavaciones con las especificaciones granulométricas para distintos materiales presentes en el CR 2002. A continuación se presentan los gráficos que presentan los resultados para cada muestra.

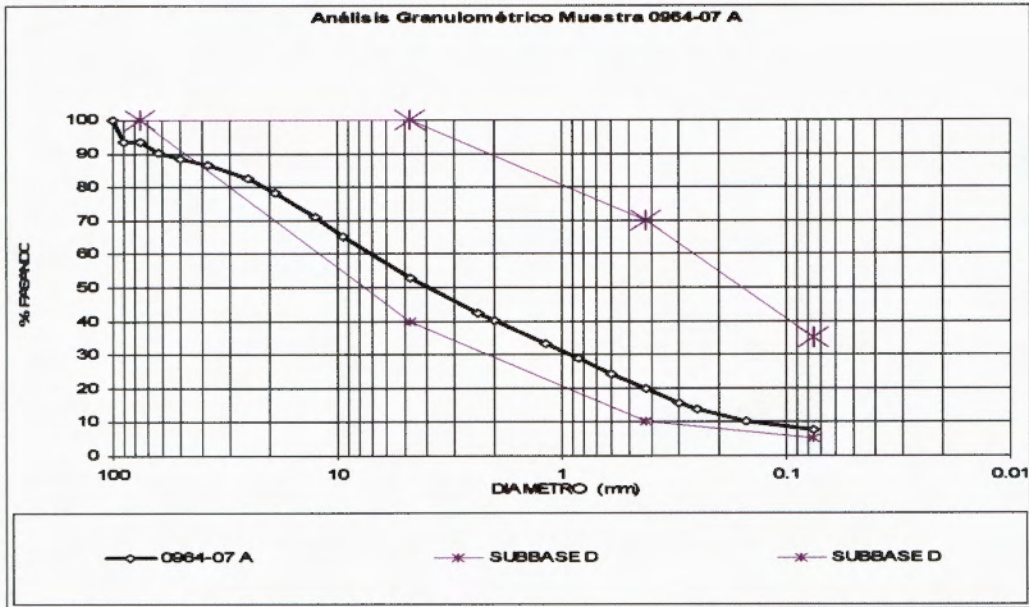


Gráfico 2 Análisis granulométrico muestra 0964-07 A.

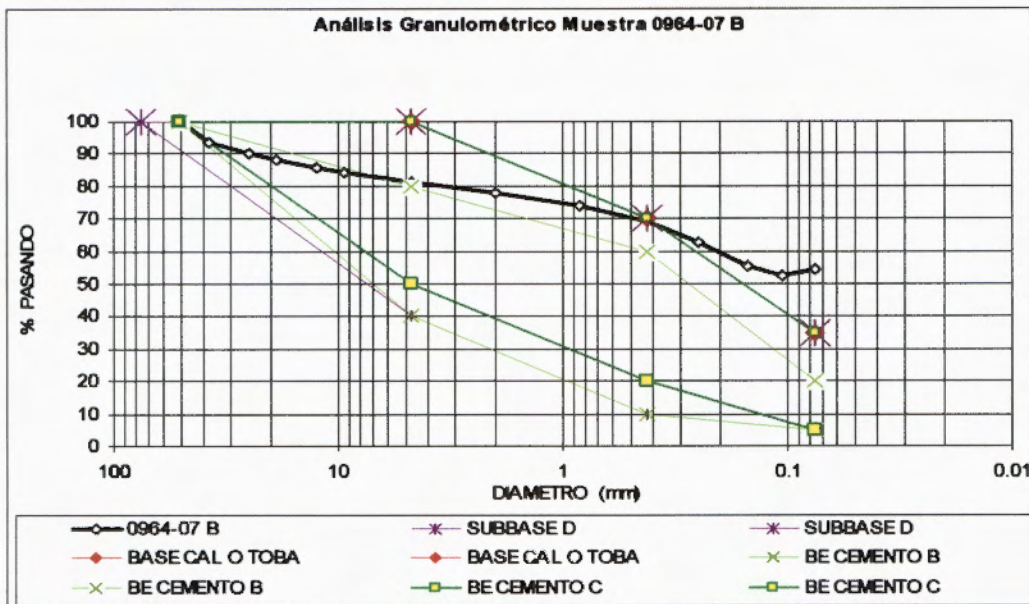


Gráfico 3 Análisis granulométrico muestra 0964-07 B.

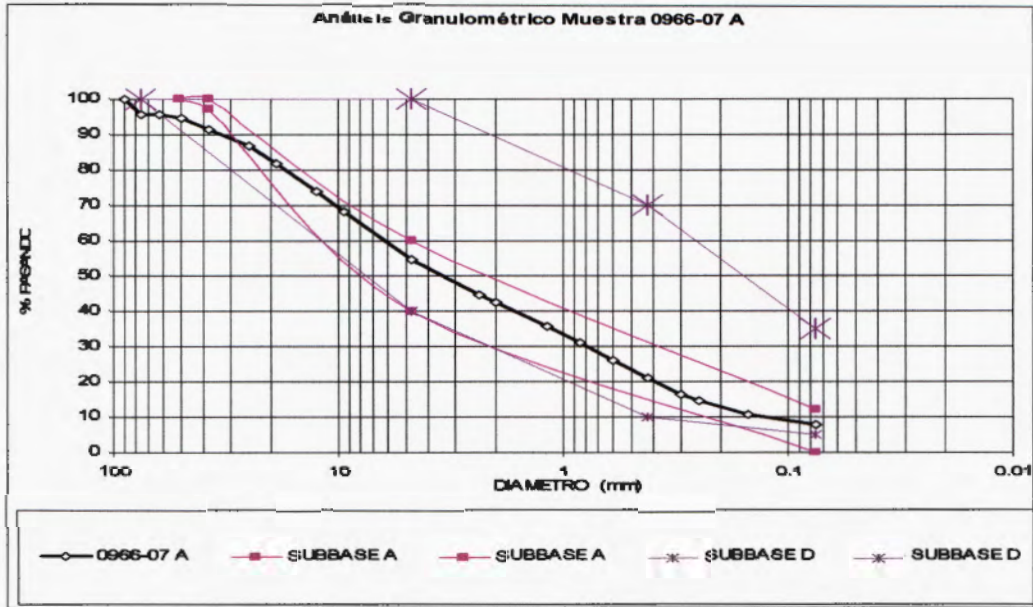


Gráfico 4 Análisis granulométrico muestra 0966-07 A.

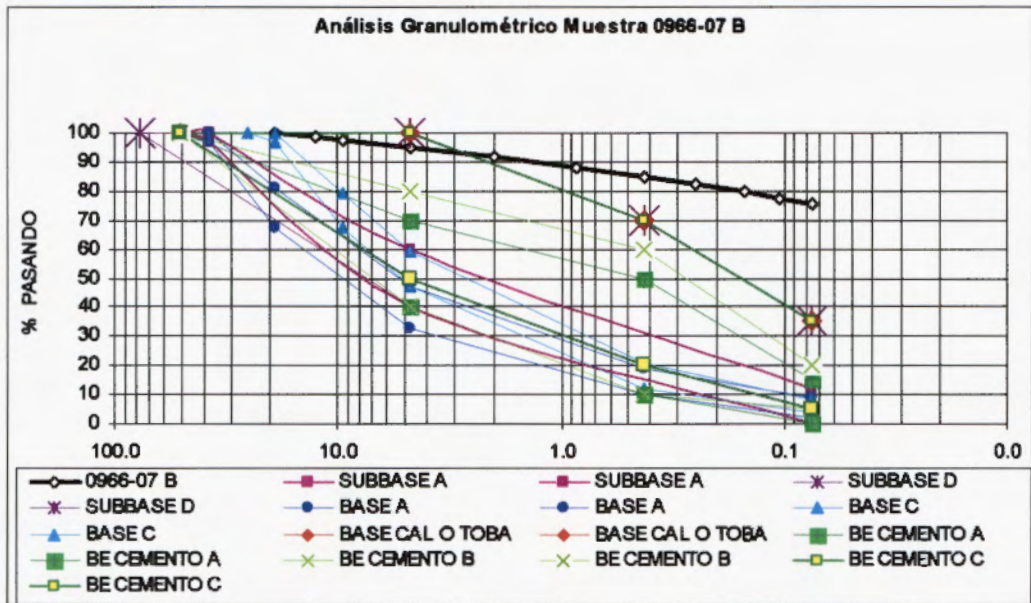


Gráfico 5 Análisis granulométrico muestra 0966-07 B.

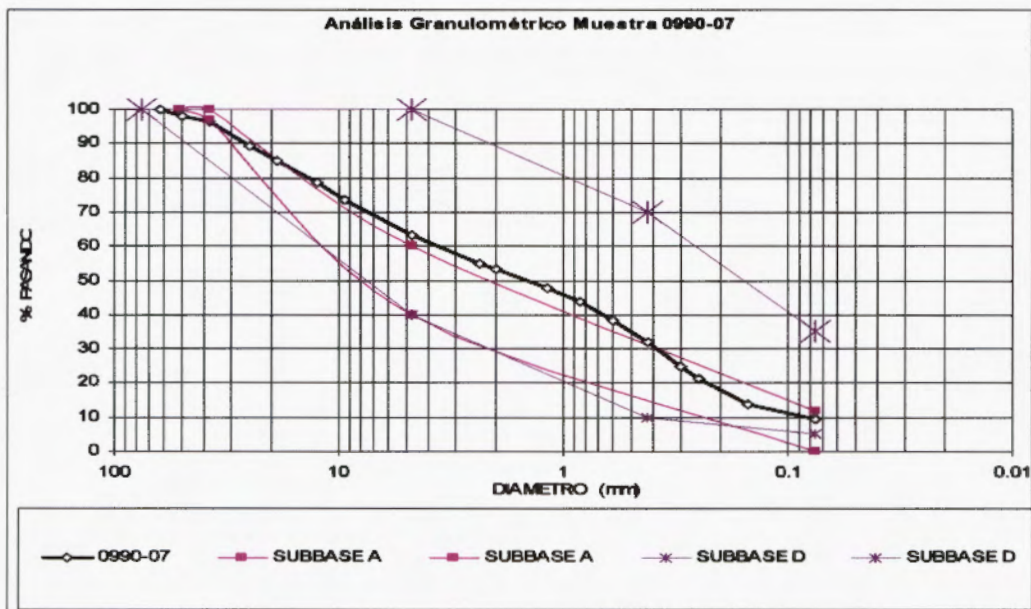


Gráfico 6 Análisis granulométrico muestra 0990-07.

En resumen y con base en lo que se puede observar en los gráficos anteriores es posible clasificar los materiales presentes en las excavaciones según las especificaciones granulométricas presentes en el CR 2002 como se muestra en la **Tabla 6**

Número de muestra	Est.	Descripción inicial	Clasificación según CR 2002 ún CR 2002 (especificaciones granulométricas)
0964-07 a	2+250	Base granular	Clasifica según granulometría como Subbase D
0964-07 b		Subrasante	Tiene propiedades granulométricas similares una BE o Subbase D
0966-07 a	7+750	Subbase	Tiene propiedades granulométricas similares una Subbase A y/o D
0966-07 b		Subrasante	No tiene propiedades granulométricas similares a alguna especificación.
0990-07	9+250	Agregado grueso	Tiene propiedades granulométricas similares una Subbase A y/o D

Tabla 6 Clasificación de materiales según análisis granulométrico comparado con especificaciones del CR 2002.

. Ensayos de Deflectometría

Se realizaron ensayos de deflectometría a cada 50 metros los resultados se muestran en el **Gráfico 7** donde también se pueden observar los tramos homogéneos que resultan del análisis realizado mediante el programa SPEC a los datos iniciales del D1 o deflexión central.

Según es posible observar en el **Gráfico 7**, a pesar de que existen subtramos, en términos generales, el tramo en su totalidad es bastante homogéneo, salvo en lugares específicos como los delimitados por los estacionamientos 2+000 y 3+000 y entre el 7+000 y 8+000, donde probablemente existan problemas puntuales tales como agrietamientos excesivos por fallas asociadas a un drenaje pobre entre otros.

Las deflexiones utilizadas para realizar el retrocálculo de módulos, tienen como base las aquí mostradas y se detallan más adelante en la sección correspondiente.

En el **Gráfico 10** se puede observar el esquema que resume la medición instrumental realizada mediante el deflectómetro de impacto y el perfilómetro, así como la propuesta para realizar la evaluación visual del tramo.

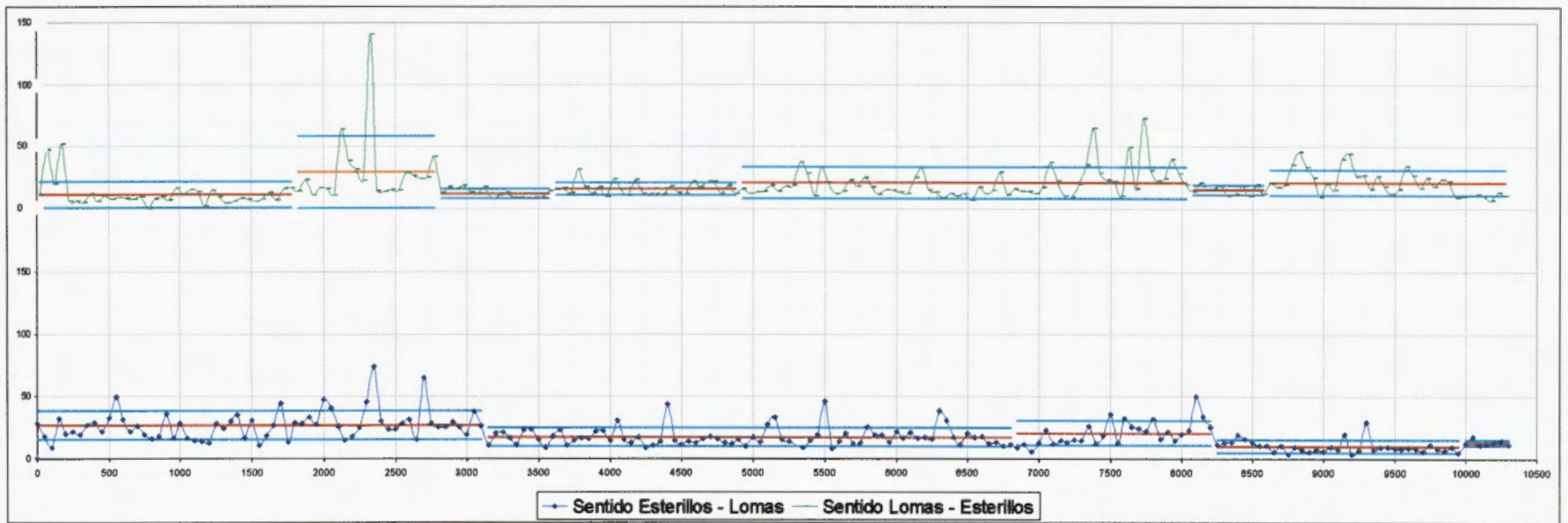


Gráfico 7 Valores de D1 (deflexión central) y análisis de tramos homogéneos.

• Ensayo de Regularidad Superficial

En cuanto al ensayo de regularidad superficial realizado se tienen los datos de medición del IRI a cada 100 metros.

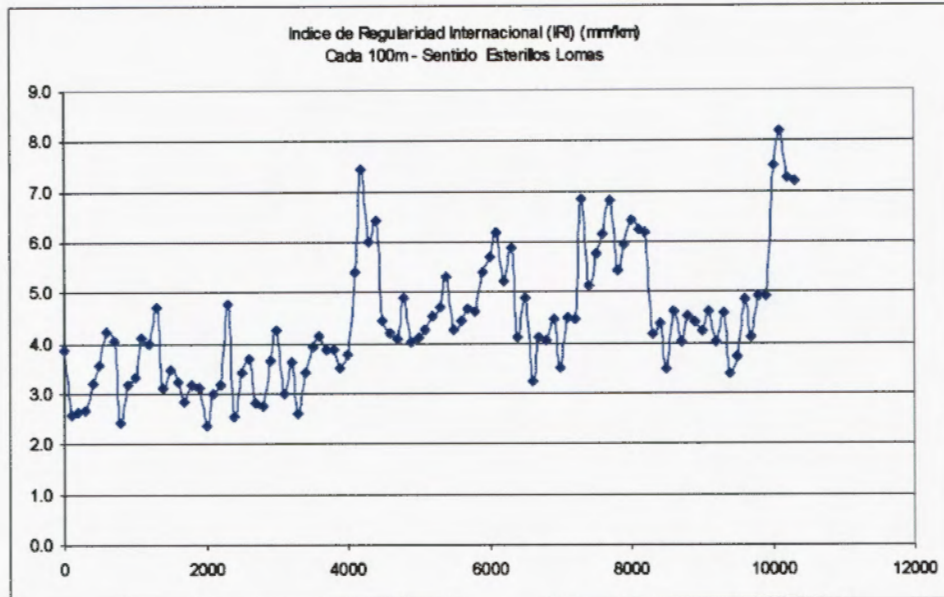


Gráfico 8 Valores de IRI cada 100 metros Sentido Esterillos – Lomas.

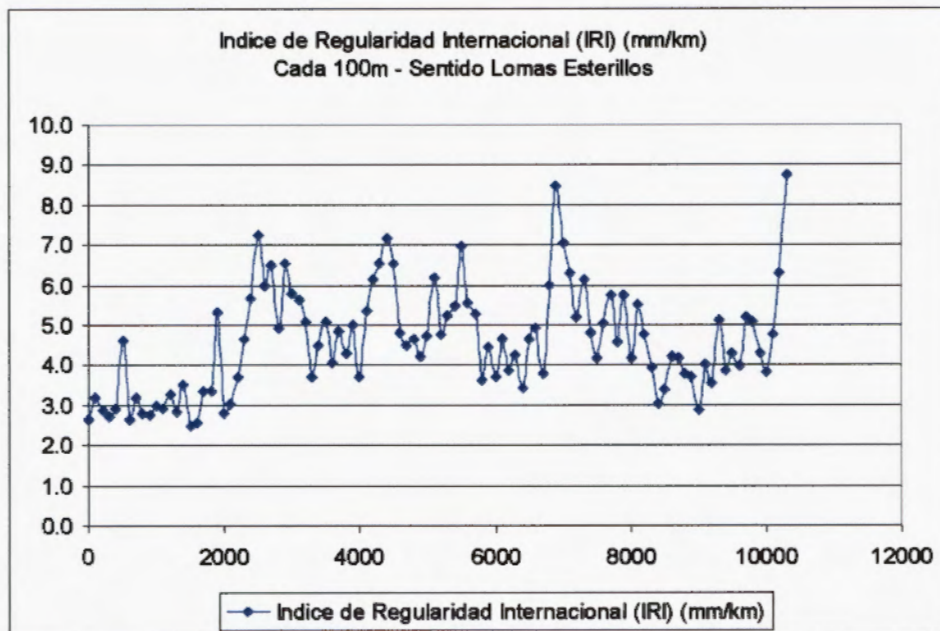
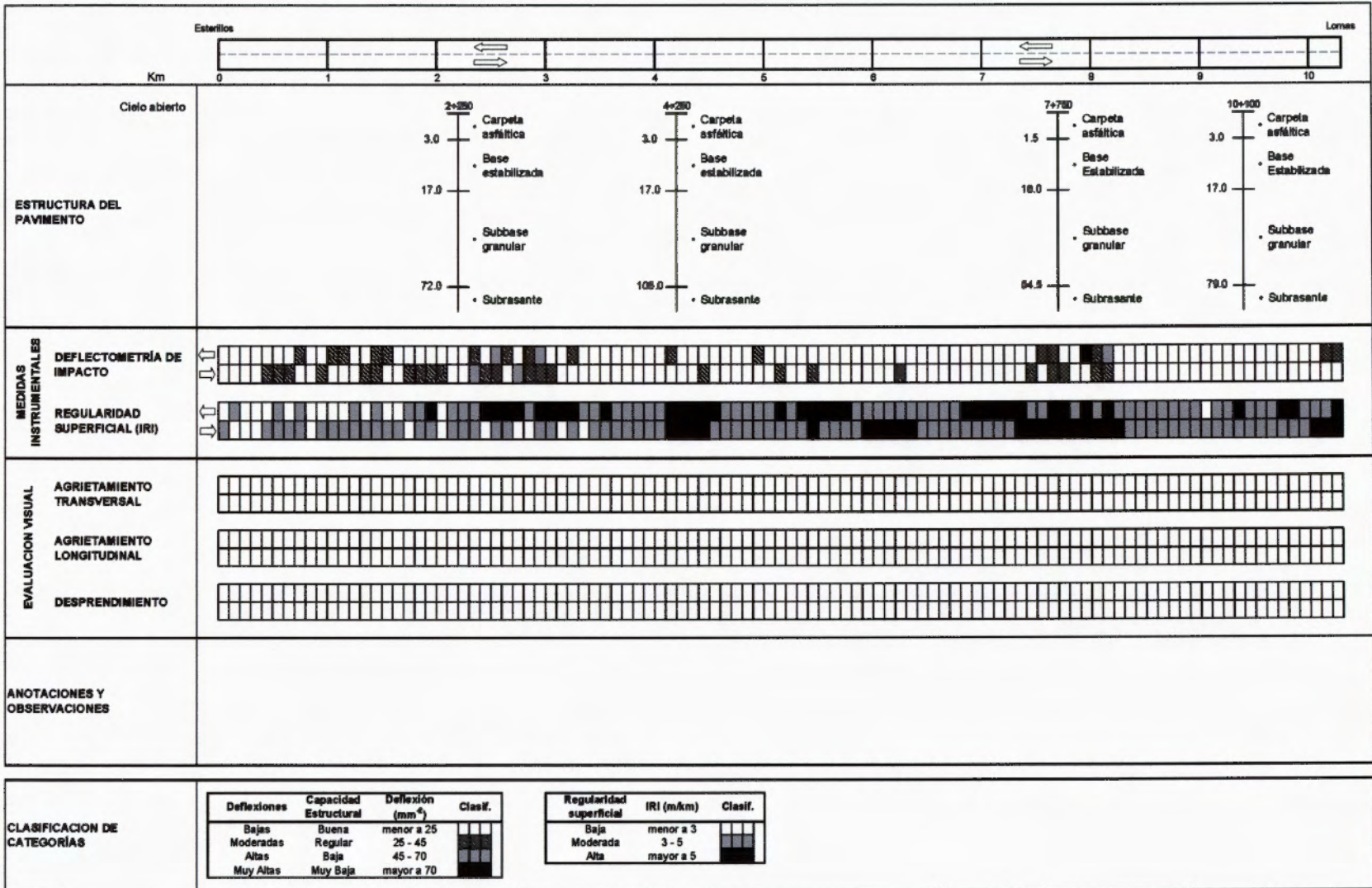


Gráfico 9 Valores de IRI cada 100 metros Sentido Lomas - Esterillos.

Como se puede observar los datos de IRI son bastante heterogéneos, oscilan entre 3 y 9 lo cual, unido con los valores de deflexiones que en términos generales son bajos, evidencia que el problema es de carácter superficial-funcional y no de carácter estructural.

Gráfico 10 Esquema resumen de Mediciones Instrumentales y Evaluación Visual



Deflexiones	Capacidad Estructural	Deflexión (mm ²)	Clasif.
Bajas	Buena	menor a 25	█
Moderadas	Regular	25 - 45	██
Altas	Baja	45 - 70	███
Muy Altas	Muy Baja	mayor a 70	████

Regularidad superficial	IRI (m/km)	Clasif.
Baja	menor a 3	█
Moderada	3 - 5	██
Alta	mayor a 5	███

Paso 4: Diseño preliminar de la sobrecapa. Metodología AASHTO 93.

Una vez analizadas las causas de los deterioros encontrados en el tramo Esterillos – Lomas (10.3 km de longitud) se inicia el cálculo de la sobrecapa de mezcla asfáltica que se va a colocar.

En este punto cabe resaltar que la condición actual del paquete estructural existente en el tramo de estudio presenta cierto nivel de deterioro, el cumplimiento de las expectativas de desempeño de cualquier capa adicional que se construya con intención de aumentar la capacidad estructural de la sección, debe estar precedida de intervenciones eficientes y eficaces que eliminen las causas de esos deterioros o al menos minimicen el efecto en la capas nuevas.

Cálculo de las variables de diseño

Índice de serviciabilidad

El análisis preliminar de la sección, por medio de mediciones del Índice de Regularidad Internacional (IRI) determinó que el promedio de valores de regularidad de toda la sección era de $IRI = 4.5$ m/km en mediciones realizadas cada 100 metros en ambos sentidos, por lo que el valor actual del Índice de Calidad de Servicio (PSI) según la metodología AASHTO-93 (American Association of State Highway and Transportation Officials) en la sección Esterillos – Lomas es equivalente a 2.2 (Informe de evaluación de la red vial nacional, lanamme-2006), es decir cerca del final de su vida útil a nivel funcional.

Considerando que la colocación de una sobrecapa de Mezcla Asfáltica en Caliente va a recuperar tanto la capacidad estructural de la sección como su capacidad funcional (IRI) se asume que el valor de desempeño inicial es de:

$P_o = 4.2$ (usual para pavimentos flexibles)

Y el valor final en vías de alto tránsito al final de periodo de diseño será de:

$P_t = 2.5$

(Se ignoran los efectos por expansividad de arcillas y el efecto de congelamiento por no presentarse en esta sección)

Por lo tanto:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

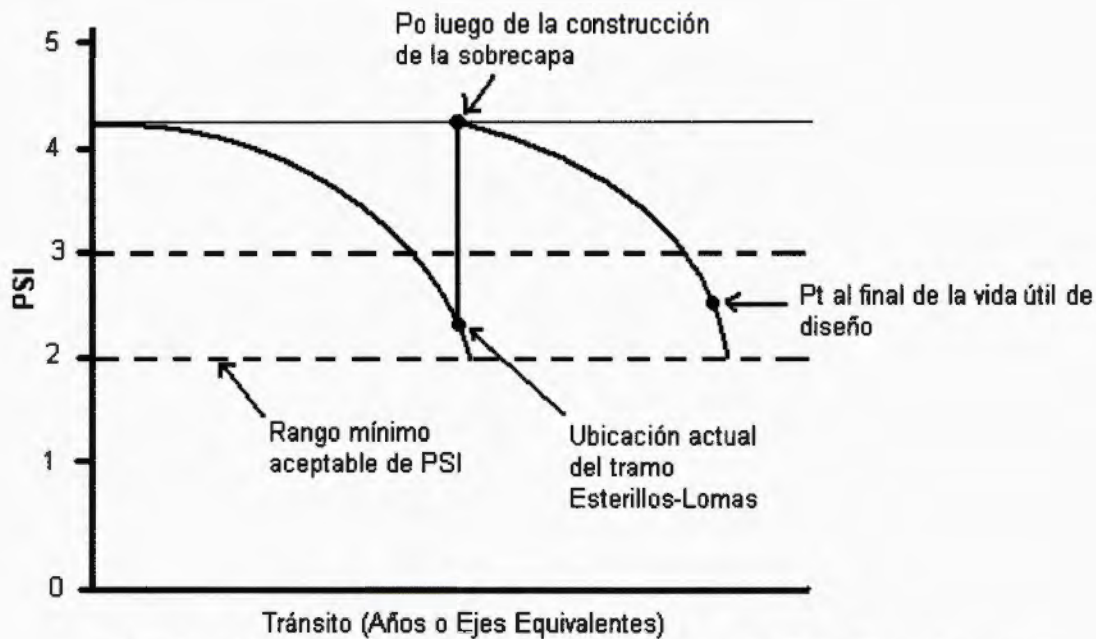
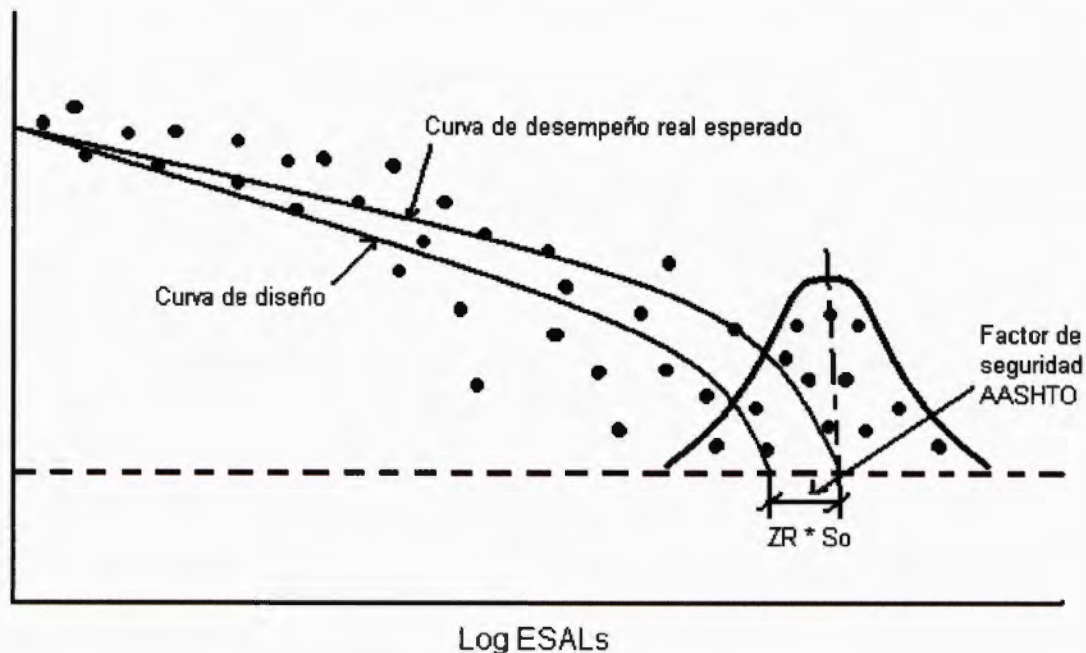


Ilustración 7 Cálculo del Δ PSI para la sección Esterillos - Lomas

Nivel de confianza

En función de las características de la sección definidas en el punto ___ de este documento se determinó un nivel de confianza de $R=95\%$, y se calcula un valor de $ZR= -1.645$ y $So= 0.5$ (valor alto, considerando el riesgo de que se apliquen prácticas constructivas que porten mayor incertidumbre al desempeño, valores deben rondar entre 0.4 y 0.5 para pavimentos flexibles)



Retrocálculo de Módulos de las Capas Existentes

En este caso el método empleado toma en cuenta la "cuenca" o curva de deflexiones, la cual se usó en un procedimiento conocido como retrocálculo para estimar el módulo elástico de cada capa del pavimento. En este procedimiento se usó el programa computacional conocido como Everstress del Washington State Department of Transportations, por medio del cual se calcularon deflexiones teóricas bajo la carga aplicada usando un valor asumido de módulo para cada capa. Las deflexiones teóricas se comparan con las deflexiones medidas en la cuenca y luego el módulo asumido se ajusta en un proceso iterativo hasta que el error entre las deflexiones teóricas y las medidas sea muy bajo (usualmente menor al 10%). Puede aceptarse que los módulos así derivados son similares a los de las capas del pavimento y estos valores pueden utilizarse, junto con los espesores de las capas, en los análisis estructurales.

En este caso se analizaron los datos de deflexiones obtenidos y se decide utilizar las deflexiones obtenidas con el percentil 90, esto porque el percentil 90 representa un nivel de deflexiones de superficie tal que el 90% de las deflexiones medidas en todo el tramo son inferiores, esto garantiza que los valores elegidos son representativos para toda la sección.

Los valores de deflexiones medidos en el tramo son los siguientes:

Unidades US	DEFLEXIONES								
	mills								
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
	0	7.87	11.81	17.72	23.62	35.43	47.24	59.06	70.87
Promedio	7.5435	6.3920	5.4826	4.8361	3.7386	2.6449	2.1074	1.6372	1.4103
Desv. Estándar	4.8679	3.8062	2.5646	6.5782	1.9708	0.9883	1.7323	0.9760	1.9266
Mediana	6.2677	5.5590	5.0079	4.1358	3.4882	2.5216	1.9606	1.5669	1.3012
Moda	6.6220	4.1850	3.4606	5.1220	3.4567	2.9488	2.0984	2.0748	1.3898
Percentil 80	10.1716	8.3189	7.1189	5.6378	4.6543	3.1409	2.3701	1.9047	1.5905
Percentil 90	12.7693	10.4893	8.9169	6.7941	5.2795	3.7949	2.8374	2.2555	1.8614
Valor mínimo	2.6755	2.5858	2.9181	-1.7421	1.7678	1.6566	0.3751	0.6612	-0.5163
Valor máximo	12.4114	10.1981	8.0472	11.4143	5.7094	3.6333	3.8397	2.6131	3.3369

Tabla 7 Valores de deflexiones medidos en el tramo.

Por medio del programa Everstress se realiza el retrocálculo de módulos y se obtiene luego de repetidas iteraciones valores de deflexiones con un porcentaje de error de 5.98%. Se eliminó el valor de deflexiones medidas en el geófono D4 ya que el Everstress solo trabaja con 8 geófonos y elimina ese valor por defecto.

<i>x</i> (in)	<i>x</i> cm	Deflexión original	Deflexiones retrocalculadas	
			EL24	EL25
0	0	12.8	13.293	13.01
79	79	10.5	10.06	9.68
118	118	8.9	8.33	7.99
236	236	5.3	5.53	5.17
354	354	3.8	4.18	3.85
472	472	2.8	3.32	3.04
591	591	2.3	2.72	2.47
709	709	1.9	2.27	2.06

Diferencia porcentual	Diferencia porcentual
3.9%	1.6%
4.2%	7.8%
6.4%	10.2%
4.3%	2.5%
10.0%	1.3%
18.6%	8.6%
18.3%	7.4%
19.5%	8.4%
10.60%	5.98%

Tabla 8 Comparación de deflexiones.

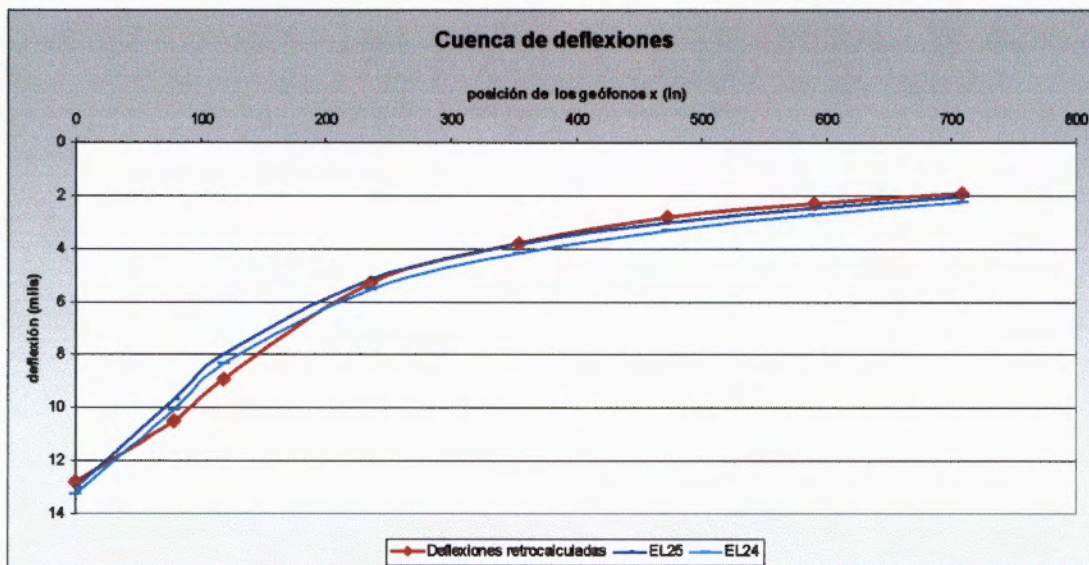


Gráfico 11 Comparación de deflexiones

Al aproximar las deflexiones medidas por el retrocálculo se obtienen los siguientes módulos para el pavimento existente:

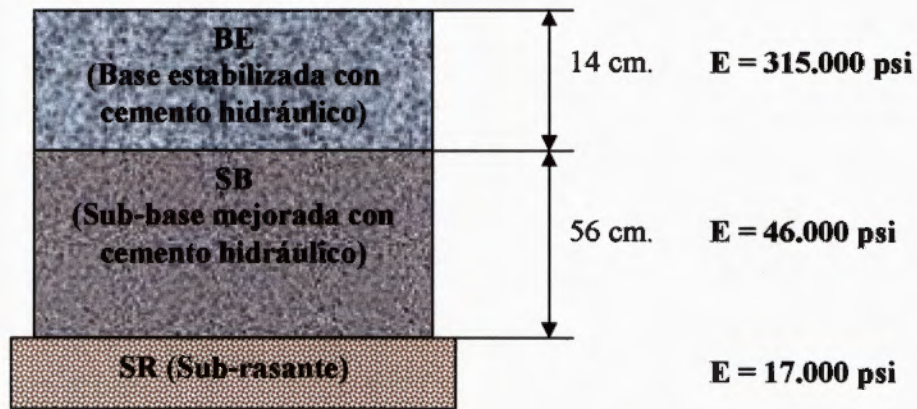


Ilustración 8 Pavimento existente

Considerando como un valor típico de módulo para una base estabilizada de 500.000 psi podemos ver como el valor obtenido corresponde con una pérdida de aproximadamente un 40% de su capacidad lo cual es consistente con la auscultación visual realizada en el tramo, donde la presencia de agrietamiento transversal severo por contracción ha disminuido la capacidad estructural de la base, pero aún manteniéndola en un rango medio bastante aceptable.

En el caso de la Sub-base y la sub-rasante encontramos valores muy altos de módulo que contribuyen a aumentar la capacidad estructural del pavimento.

Cálculo del número estructural existente en el tramo

Con los módulos de las diferentes capas encontrados por medio del retrocálculo se procede a calcular el número estructural del tramo, por medio de las fórmulas de la guía AASHTO – 93.

$$SN = a_1 h_1 + a_2 h_2 m_2 + a_3 h_3 m_3 + \dots$$

Ecuación 1

En este caso:

Base estabilizada

a2 = 0.069 (interpolado gráficos de la guía AASHTO-93)

m2 = 0.9 (Considerando condiciones de drenaje pobre más de un 25% del año expuesta y un considerable nivel de agrietamiento transversal por contracción)

Sub - Base

$a_3 = 0.2194$ (interpolado gráficos de la guía AASHTO-93)

$m_3 = 0.6$ (Considerando condiciones de drenaje pobre y más de un 25% del año expuesta a la humedad)

$$SN = 0.069 * 5.5 * 0.9 + 0.2194 * 22 * 0.6$$

$$SN = 3.25 \text{ (Pavimento actual)}$$

Cálculo del número estructural requerido para del periodo de diseño elegido

Se utiliza la fórmula de la AASHTO-93:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Ecuación 2

En la **Ecuación 2** se evalúan los valores de:

$$W_{18} = 2.544.971,69$$

$$Z_R = -1.645$$

$$S_o = 0.5$$

$$\Delta PSI = 1.7$$

$M_R = 8.500$ psi (Es el módulo de la sub-rasante dividido por un factor de 2, producto de la variación estacional de módulos. Factor obtenido en el lanammeUCR.)

$$SN = 4.22 \text{ Número estructural requerido por el pavimento para resistir las solicitudes de carga.}$$

$$\Delta SN = 4.22 - 3.25 = 0.97 \Rightarrow 1$$

Por lo tanto, despejando para este valor de SN de la fórmula 1, tenemos que el espesor requerido de sobrecapa corresponde a 2.45 in ó 6.24 cm equivale a 7cm para efectos constructivos.

Este espesor de sobrecapa es mayor que el mínimo constructivo recomendado para mezclas asfálticas densas como las usadas en nuestro país, es decir, 3*tamaño máximo nominal del agregado, por lo que no hay restricciones constructivas de espesor y se puede lograr una compactación adecuada calibrada por medio de una franja de control o tramo de prueba.

De esta forma, el paquete estructural propuesto es el siguiente:

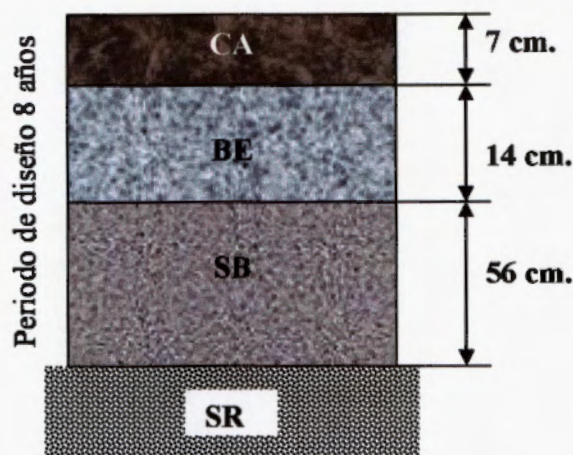


Ilustración 9 Estructura propuesta del pavimento.

Análisis por fatiga de las capas del pavimento propuestas

Se realizó un análisis por fatiga de cada una de las capas del pavimento, con el fin de determinar la resistencia del paquete estructural propuesto a la fatiga de acuerdo con las ecuaciones conocidas para este tipo de análisis. De esta forma se puede predecir, con cierto nivel de certeza, si las capas de la sobrecapa asfáltica y la base estabilizada van a resistir los esfuerzos de tensión en las fibras inferiores y la capa de sub-rasante los esfuerzos de compresión en las fibras superiores (fallo por asentamiento).

Sobrecapa asfáltica

El módulo de la sobrecapa asfáltica se calculó por medio del uso de la ecuación del modelo de Witczak (ecuación XX), calculada para las mezclas nacionales (Proyecto de investigación "Módulos de mezcla asfáltica").

$$\log E^* = 5,535833 + 0,002087\rho_{200} - 0,000566(\rho_{200})^2 - 0,002590\rho_4 - 0,078763V_a - 1,865947 \left(\frac{V_{beff}}{V_{beff} + V_a} \right) + \frac{2,399557 + 0,000820\rho_4 - 0,013420\rho_{38} + 0,000261(\rho_{38})^2 + 0,005470\rho_{34}}{1 + e^{(0,052941 - 0,498163\log(f) - 0,691856\log(\eta))}}$$

Ecuación 3

donde:

E^* = módulo dinámico, psi.

η = viscosidad del asfalto al envejecimiento y temperatura de interés, 10^6 Poise.

$$\eta = \frac{G^*}{10} \left(\frac{1}{\text{sen } \delta} \right)^{4,8628}$$

f = frecuencia de carga, Hz.

V_a = Contenido de vacíos de aire, %.

V_{beff} = Contenido de asfalto efectivo, % por volumen.

ρ₃₄ = Porcentaje retenido acumulado en la malla de 19 mm (3/4 pulg).

ρ₃₈ = Porcentaje retenido acumulado en la malla de 9,53 mm (3/8 pulg).

ρ₄ = Porcentaje retenido acumulado en la malla No 4.

ρ₂₀₀ = Porcentaje pasando en la malla No 200.

Por medio de esta ecuación, con valores de

f = 50.1 Hz.

V_a = 8%.

V_{beff} = 4.8% por volumen.

ρ₃₄ = 0

ρ₃₈ = 21

ρ₄ = 52

ρ₂₀₀ = 5

Todos estos valores corresponden con diseños de mezcla de producción local y cumplen con las especificaciones nacionales, por lo tanto, fue posible calcular un módulo de mezcla asfáltica para la sobrecapa nueva de E= **584.661psi**.

El paquete estructural propuesto tiene las siguientes características:

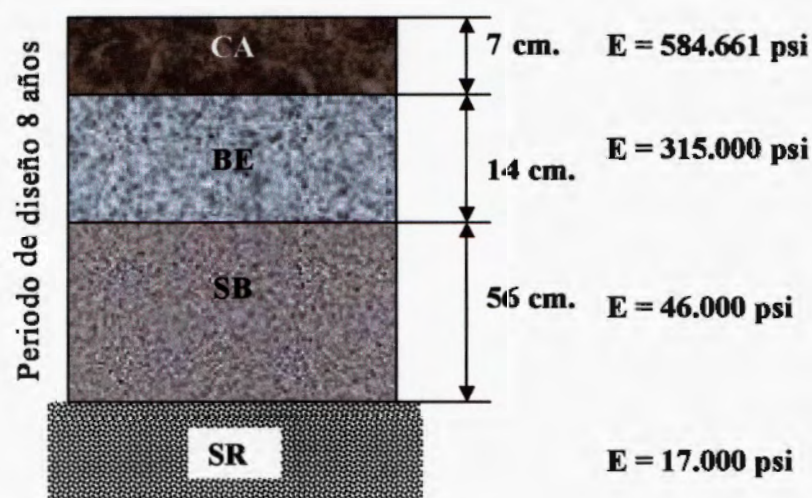


Ilustración 10 Estructura propuesta del pavimento y módulos de las capas

Con los datos anteriores se calcularon las deformaciones a tensión en el eje XX en la fibra inferior de la sobrecapa por medio de la siguiente ecuación de Witczak (Guía AASHTO-2002):

$$N_f = 0.00432 * 10^{4.84 * \left(\frac{\%asfaltoefectivo}{\%vaciosaire + \%asfaltoefectivo} - 0.69 \right)} * \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^{3.291} * \left(\frac{1}{E} \right)^{0.854}$$

Ecuación 4

Donde:

ϵ_t = deformación en el sentido xx
E = módulo elástico de la sobrecapa asfáltica

En este caso el valor de repeticiones Nf es el siguiente:

$$N_f = 60 \times 10^6$$

Base Estabilizada

Para la base estabilizada se deben considerar tres opciones

1. Análisis de cero daño en la base estabilizada.
2. Análisis de daño en la base estabilizada con el criterio de fatiga de la PCA.
3. Análisis de daño basados en coeficientes de fatiga especificados por el usuario.

En este caso el análisis es por daño de la BE por lo que la ecuación recomendada por PCA depende del coeficiente (σ/Sc), donde:

σ = Esfuerzo a tensión en la fibra inferior de la BE.
 Sc = módulo de ruptura del concreto

En nuestro caso: $\sigma = 0.75$ psi (del análisis elástico con everstress)
 $f_c = 40$ kg/cm² (BE35) ≈ 569 psi $\Rightarrow Sc = 8 \sqrt{569} \Rightarrow$

$\sigma/Sc = 0.004$ que es $\ll 0.45$ por lo tanto $N_f = \infty$ (No fallará a fatiga)

Adicionalmente se evaluó por medio de la ecuación

$$N_f = \left(\frac{\frac{11266}{E^{0.804}} + 190.7}{\mu * \varepsilon} \right)^{12}$$

Ecuación 5

Proveniente de la guía de diseño de pavimentos de Australia, donde

N= número de repeticiones de ejes equivalentes estándar (8.2 ton) para la falla de la capa cementada.

E=módulo de flexotracción del material cementado, en Mpa, a los 28 días.

ε = deformación tensional en la fibra inferior de la capa cementada.

μ = razón o módulo de Poisson (igual a 0.2 para capas cementadas)

Con esta fórmula, el valor de repeticiones admisibles para la base estabilizada asciende a:

$$N_f = 4.32 \times 10^{82}$$

Sub-rasante

En este caso se analiza la capacidad a fatiga de la sub-rasante por medio de la **Ecuación 6** del Instituto del Asfalto:

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} (\varepsilon_y)^{-4.477}$$

Ecuación 6

Donde ε_y = deformación vertical en la fibra superior de la sub-rasante

$$\varepsilon_y = 124.33 \times 10^{-6}$$

Y se obtiene un valor de

$$N_d = 417 \times 10^6$$

Análisis de resultados por fatiga

Como se puede ver de los resultados obtenidos, el valor crítico de fatiga se dará en la carpeta asfáltica, donde $N_f=60 \times 10^6$ es muy superior al valor de $W_{18}=2.5 \times 10^6$ obtenido para las condiciones de tránsito estimadas en el periodo de diseño de 8 años en el tramo

Esterillos – Lomas, por lo tanto no se espera que la estructura propuesta presente falla por fatiga dentro de este periodo.

Cabe señalar nuevamente que los deterioros encontrados en la superficie de ruedo, reflejados de la base estabilizada deben ser reparados antes de colocar cualquier sobrecapa con aporte estructural como la calculada en este diseño.

Tomando en consideración todo lo anterior, si se mantiene un porcentaje de crecimiento de 7.4% y una distribución vehicular como la registrada en la estación 744, no se alcanzará la resistencia máxima a fatiga en el periodo de diseño.