



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS
ESTRUCTURALES**

INFORME DE ASESORÍA

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO ESTERILLOS – LOMA

REALIZADO POR

**ING. ROY BARRANTES
ING. FABIÁN ELIZONDO
ING. GUSTAVO BADILLA
DENIA SIBAJA**

Setiembre 2008

1 Introducción

En atención a la solicitud presentada por la Dirección Ejecutiva del CONAVI (oficio DE04-3568), para la evaluación de la capacidad estructural de la carretera Esterillos – Loma, se procedió a realizar un análisis estructural a partir de los datos de los materiales constitutivos del pavimento y espesores de capa recolectados mediante sondeos realizados por parte del LanammeUCR, además de los resultados de deflectometría y una evaluación visual realizados también por parte del LanammeUCR.

2 Objetivo

Realizar un análisis estructural de la capacidad estructural del pavimento existente, aplicando la metodología de retrocálculo de módulos. Presentar un resumen de la evaluación visual realizada.

3 Alcance

El LanammeUCR con la finalidad de realizar un estudio que incluyera un análisis de la capacidad estructural del tramo Esterillos – Lomas, con una longitud aproximada de 11 kilómetros y perteneciente a la Ruta Nacional No.34, Costanera Sur, tramo que pertenece al proyecto Jacó – Lomas y que quedó inconcluso faltando colocar la capa de rodamiento, realizó una asesoría brindada al CONAVI contemplando las siguientes actividades:

- Gira a la sección Esterillos - Lomas por parte del equipo de ingenieros de la Unidad de Investigación para realizar una auscultación visual de la vía y registrar el tipo, severidad y extensión del deterioro encontrado, así como la condición funcional de los drenajes característicos.
- Realización de ensayos de laboratorio “IN SITU” para evaluar la condición estructural de la ruta por medio de mediciones de deflexiones (FWD) y regularidad superficial (IRI), de esta forma se calcularon tramos homogéneos que permitieron realizar excavaciones tipo trinchera y verificar los espesores de las capas y el tipo de agrietamiento (grietas superficiales o grietas de profundidad total).

- Cálculo de los módulos de las capas del pavimento y aplicación del procedimiento de diseño de sobrecapas, basado en la metodología de diseño AASHTO-93.

4 Descripción del proyecto

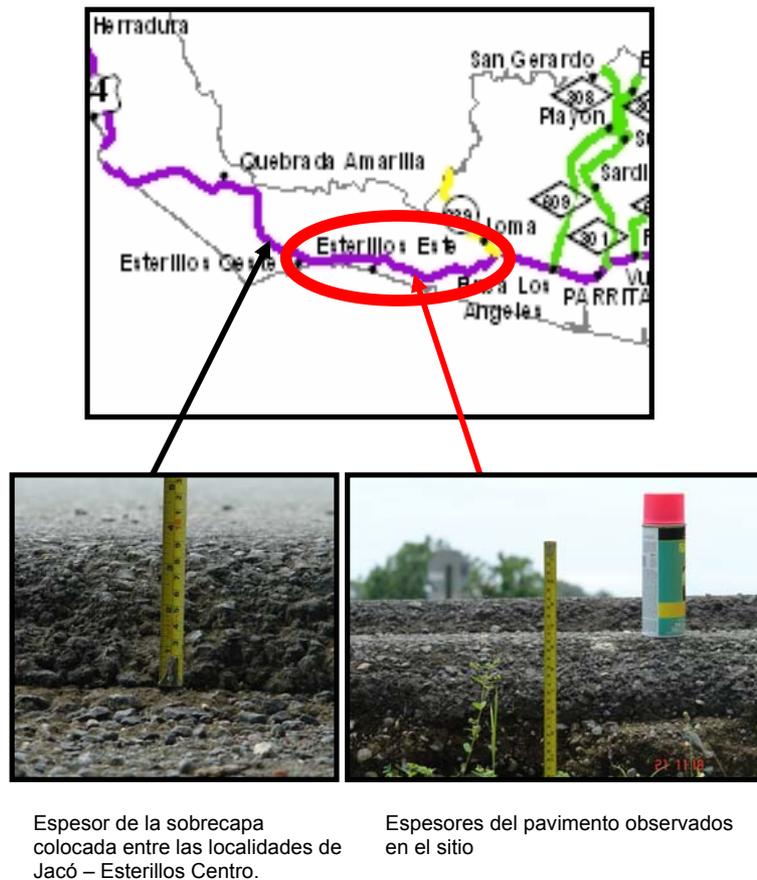


Ilustración 1 Ubicación del tramo Esterillos Lomas

- **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 14cm, recubierta por una “carpetilla delgada” con espesores entre 2.5 y 4cm.

- **No. de Ruta:** 34
- **Ruta:** Nacional
- **Sección de control:** 60082
- **Longitud tramo:** 10.3 km
- **Clasificación de la ruta:** Primaria

5 Auscultación visual e información de sondeos y evaluaciones

5.1 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, favoreciendo el deterioro del pavimento.



Ilustración 2 Condiciones de drenaje

5.2 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, es evidente el flujo de vehículos pesados importante, el cual posiblemente incremente cuando la carretera Costanera sea completada. Se observa un desarrollo en la construcción de complejos habitacionales y afluencia masiva de vehículos livianos y buses por aumento en la actividad turística.

5.3 Auscultación visual de la estructura existente

En cuanto a deterioros, se observó un patrón generalizado de desprendimientos (peladuras) de severidad alta en la capa de ruedo, esta capa se caracteriza por su poco espesor en relación con el tamaño máximo nominal de la mezcla observada (12.5mm), además presenta una macrotextura rugosa producto de los desprendimientos de agregados.

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”¹ del Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Ibero América y califica como este tipo de deterioro (“raveling”) por tratarse de una carpeta delgada de mezcla densa convencional, si embargo, se debe tener presente que esta capa de ruedo no cumple con los espesores mínimos de acuerdo con el tamaño máximo de agregado.

Además, de acuerdo con lo indicado por los representantes del CONAVI, esta carpeta de mezcla asfáltica delgada fue colocada como capa de protección de la base estabilizada existente y no como capa estructural.

¹ Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. M5.1. CÁTALOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. Colección de documentos. Volumen 11. 2002



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

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 presenta un 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 (> 25 grietas 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 60mm, calificando este tipo de agrietamiento de severidad alta según el catálogo de deterioros de la “Federal Highway Administration”.

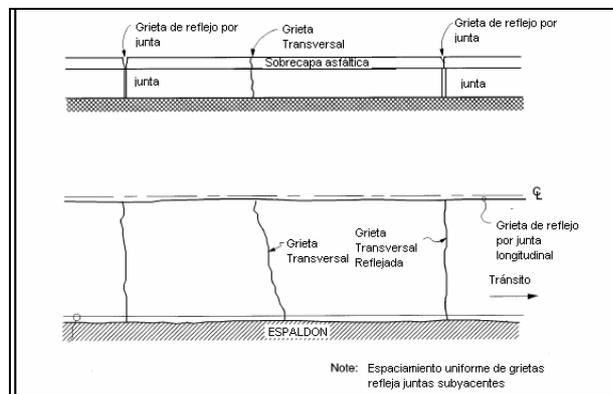


Ilustración 4 Diagrama de agrietamientos reflejados en la capa superior



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



Ilustración 6 Ancho de grietas de severidad alta

6 Excavaciones a cielo abierto y caracterización de materiales

Se realizaron cinco muestreos con excavaciones 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 promedio 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 1 Espesores obtenidos en los cielos abiertos y descripción cualitativa de los materiales hallados

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

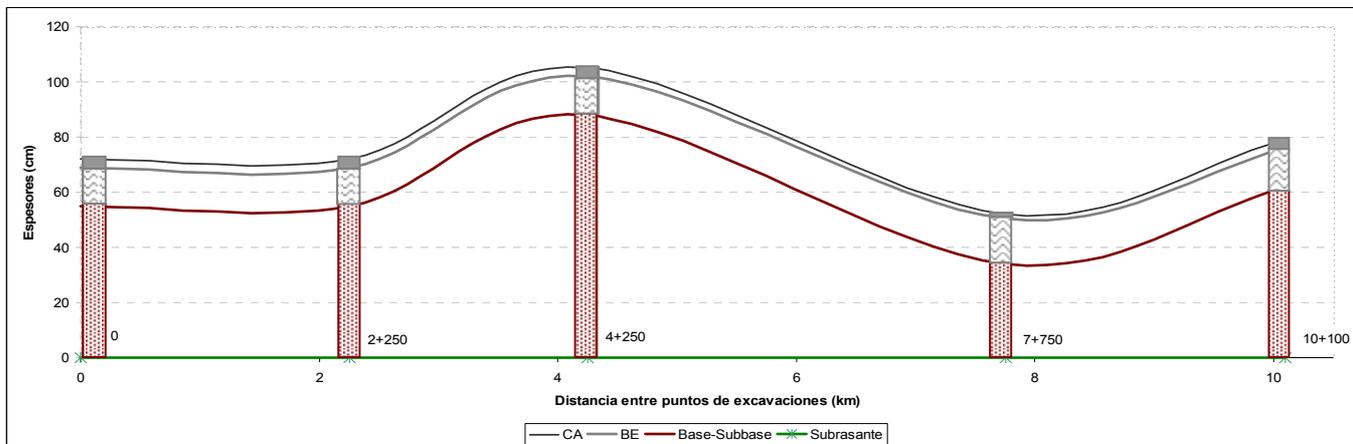


Gráfico 1 Perfil de los espesores hallados en las excavaciones a cielo abierto.

Además de estos sitios se extrajeron muestras para realizar ensayos que se detallan en la **Tabla 2**.

Número de muestra	Excavación ²	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 2 Muestras extraídas en excavaciones a cielo abierto

² Se realizó una excavación en el estacionamiento 0+000 y 4+250, sin embargo de este punto solo se anotaron los espesores y no se extrajo material para pruebas de laboratorio.

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 correspondiente clasificación según la Carta de Plasticidad. Los resultados de estas pruebas se presentan en la **Tabla 3**.

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 micáceos 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 3 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 2002³. A continuación se presentan los gráficos que presentan los resultados para cada muestra.

³ Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Consejo Nacional de Vialidad. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, CAMINOS Y PUENTES DE COSTA RICA. MOPT-CONAVI. Costa Rica. Mayo 2002.

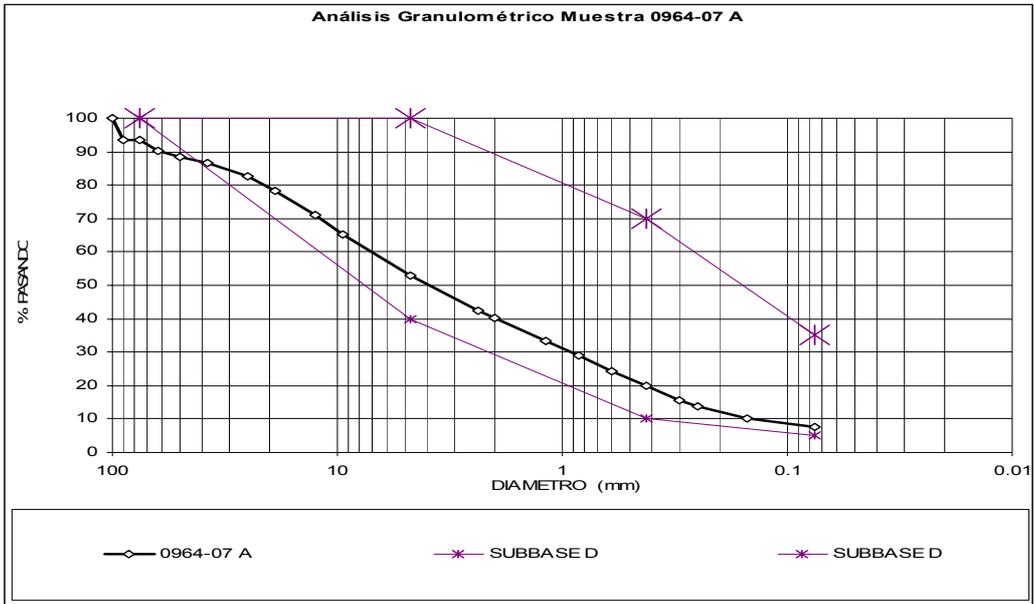


Gráfico 2 Análisis granulométrico muestra 0964-07 A.

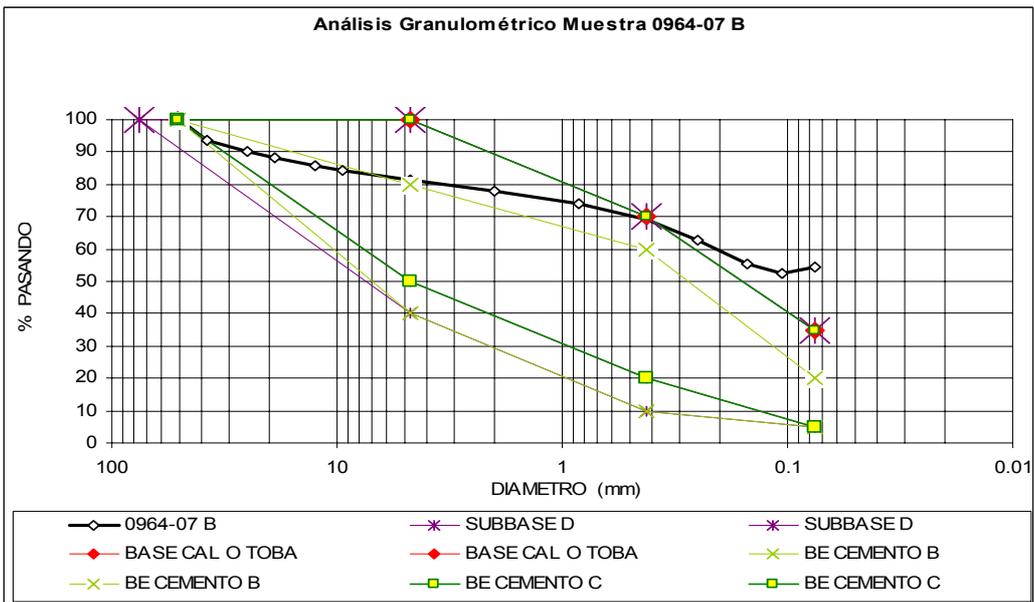


Gráfico 3 Análisis granulométrico muestra 0964-07 B.

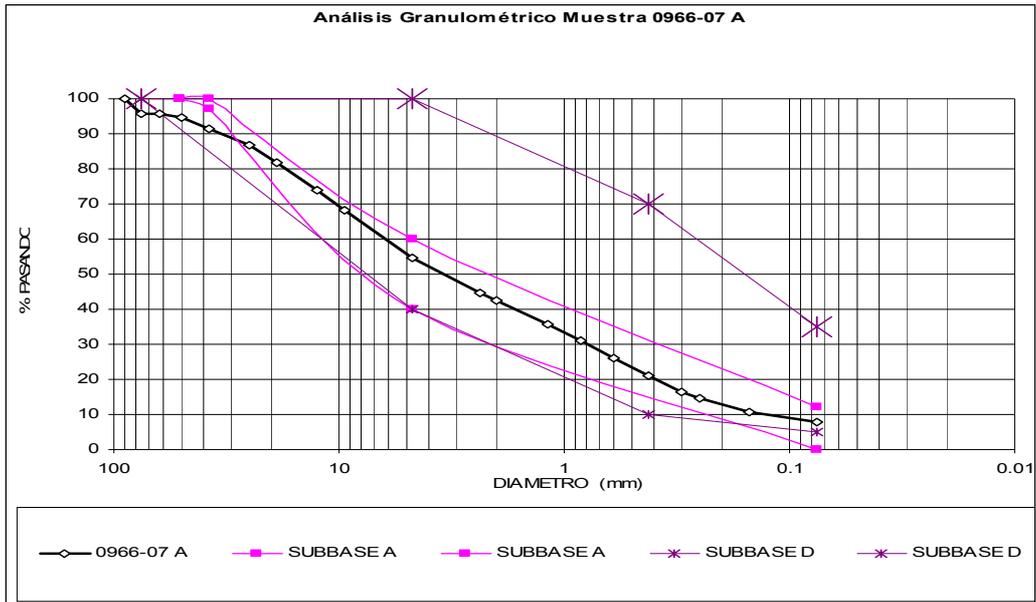


Gráfico 4 Análisis granulométrico muestra 0966-07 A.

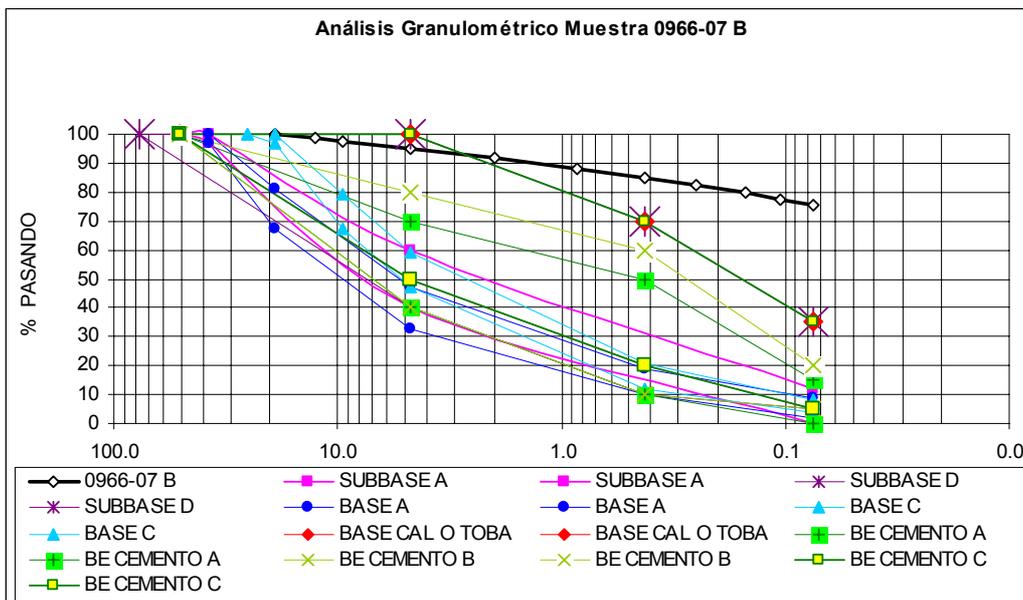


Gráfico 5 Análisis granulométrico muestra 0966-07 B.

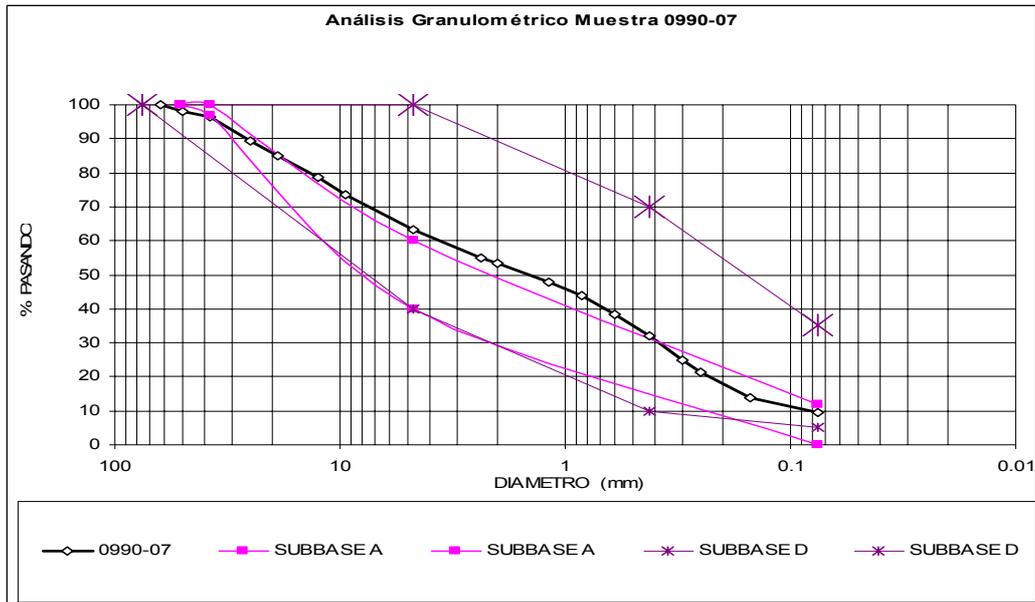


Gráfico 6 Análisis granulométrico muestra 0990-07.

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 4**

Número de muestra	Est.	Descripción inicial	Clasificación según 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 4 Clasificación de materiales según análisis granulométrico comparado con especificaciones del CR 2002.

7 Deflectometría de Impacto mediante el FWD

Se realizaron ensayos con deflectómetro de impacto con un intervalo de medición 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 de computo 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 defletómetro de impacto y el perfilómetro, así como la evaluación visual del tramo.

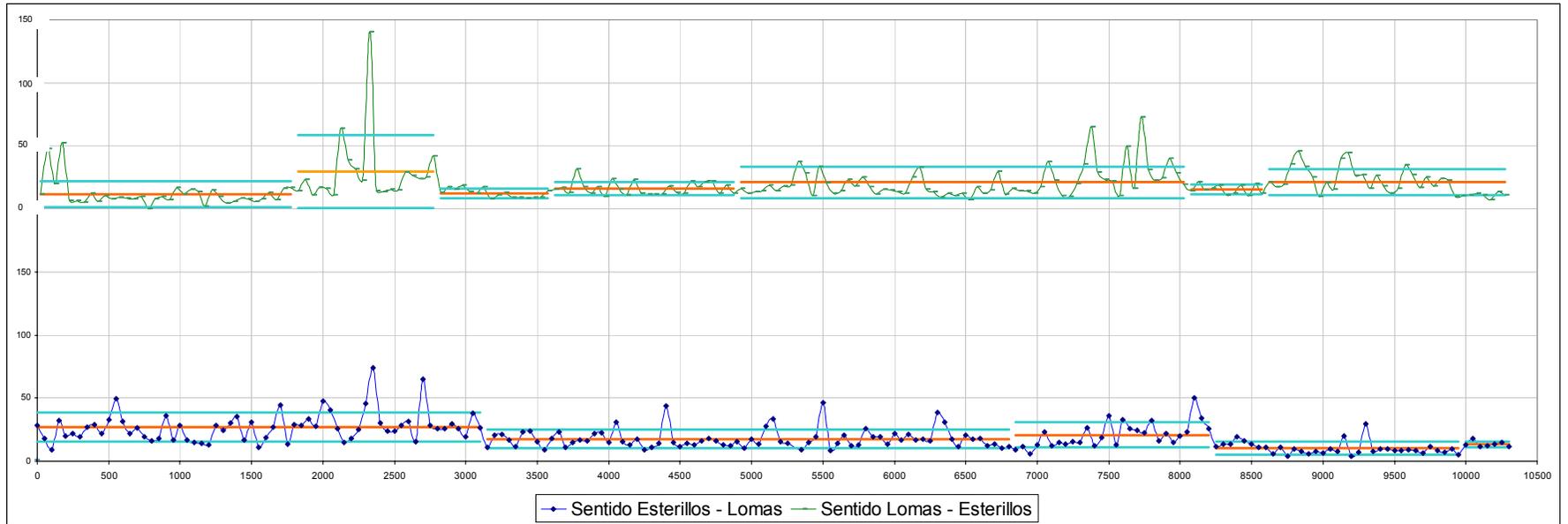


Gráfico 7 Valores de D1 (deflexión central) y análisis de tramos homogéneos.

8 Índice de Regularidad Superficial

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

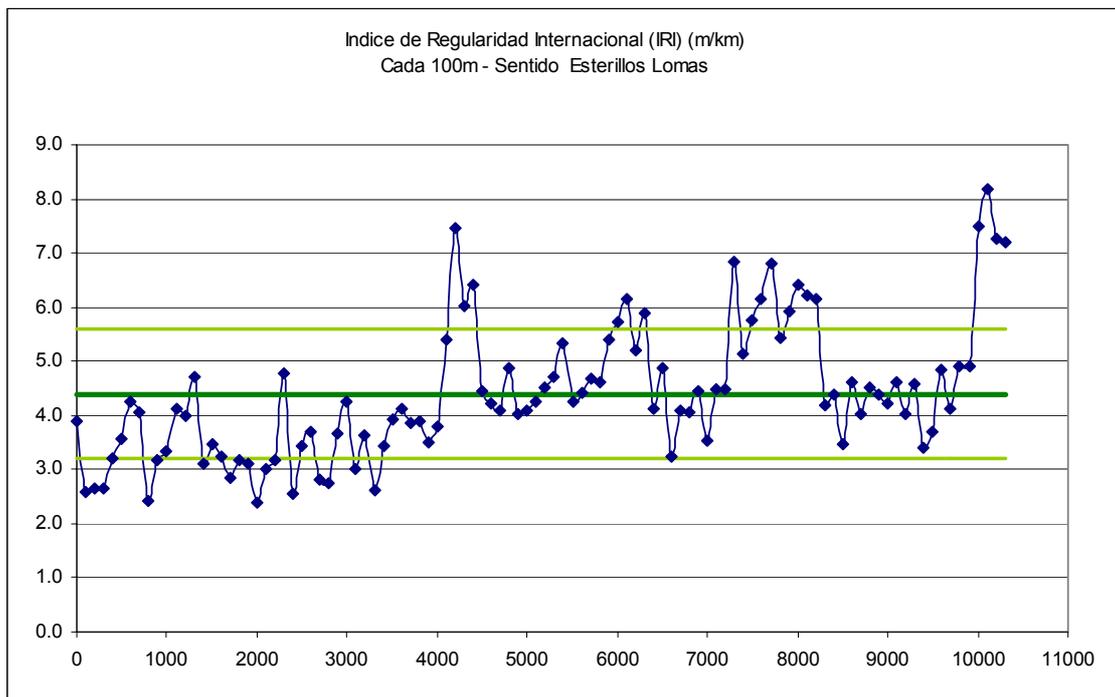


Gráfico 8 Valores de IRI cada 100 metros Sentido Esterillos – Lomas.

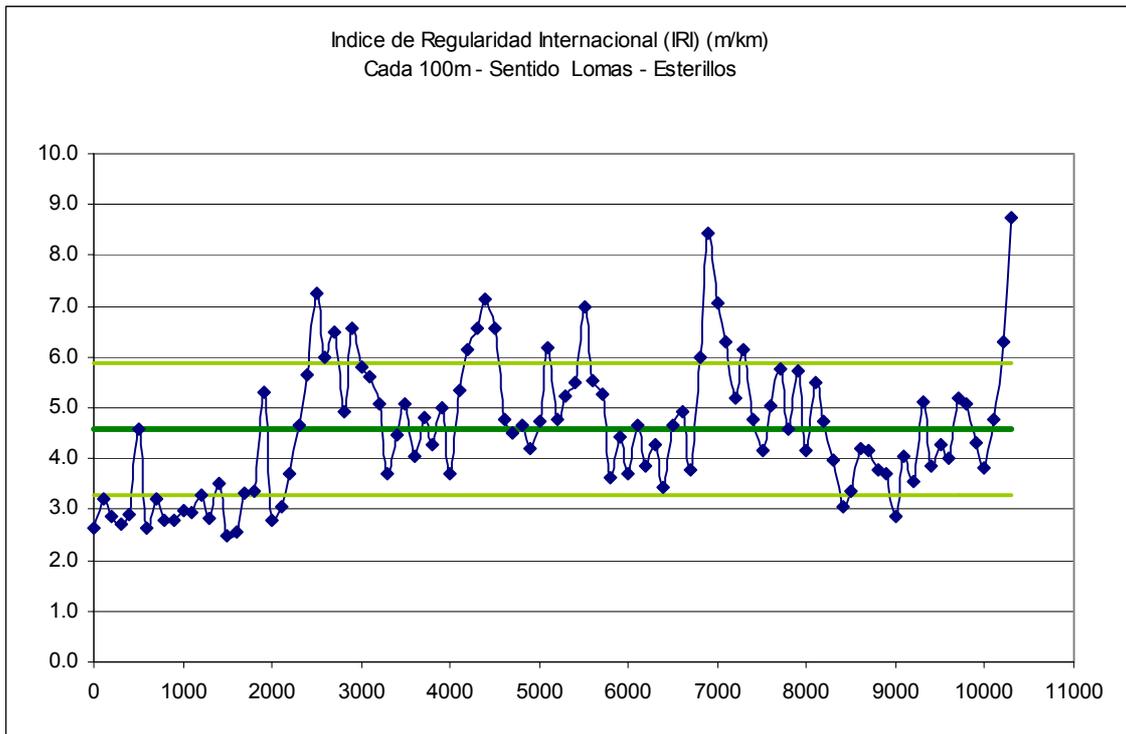


Gráfico 9 Valores de IRI cada 100 metros Sentido Lomas - Esterillos.

Del ensayo de regularidad superficial por medio del cual se determina el valor de IRI, representado en los gráficos 8 y 9 se obtienen valores que oscilan entre 3 y 9 (m/km) lo cual, unido con los valores de deflexiones, que en términos generales son bajos, evidencia que el tramo presenta un mayor deterioro en su capacidad funcional que en su capacidad estructural.

9 Resumen de Información recopilada

Se presenta a continuación un resumen de la información generada referente a la evaluación visual, la caracterización de materiales que conforman la estructura de pavimento y las mediciones instrumentales de la capacidad estructural (FWD) y capacidad funcional.

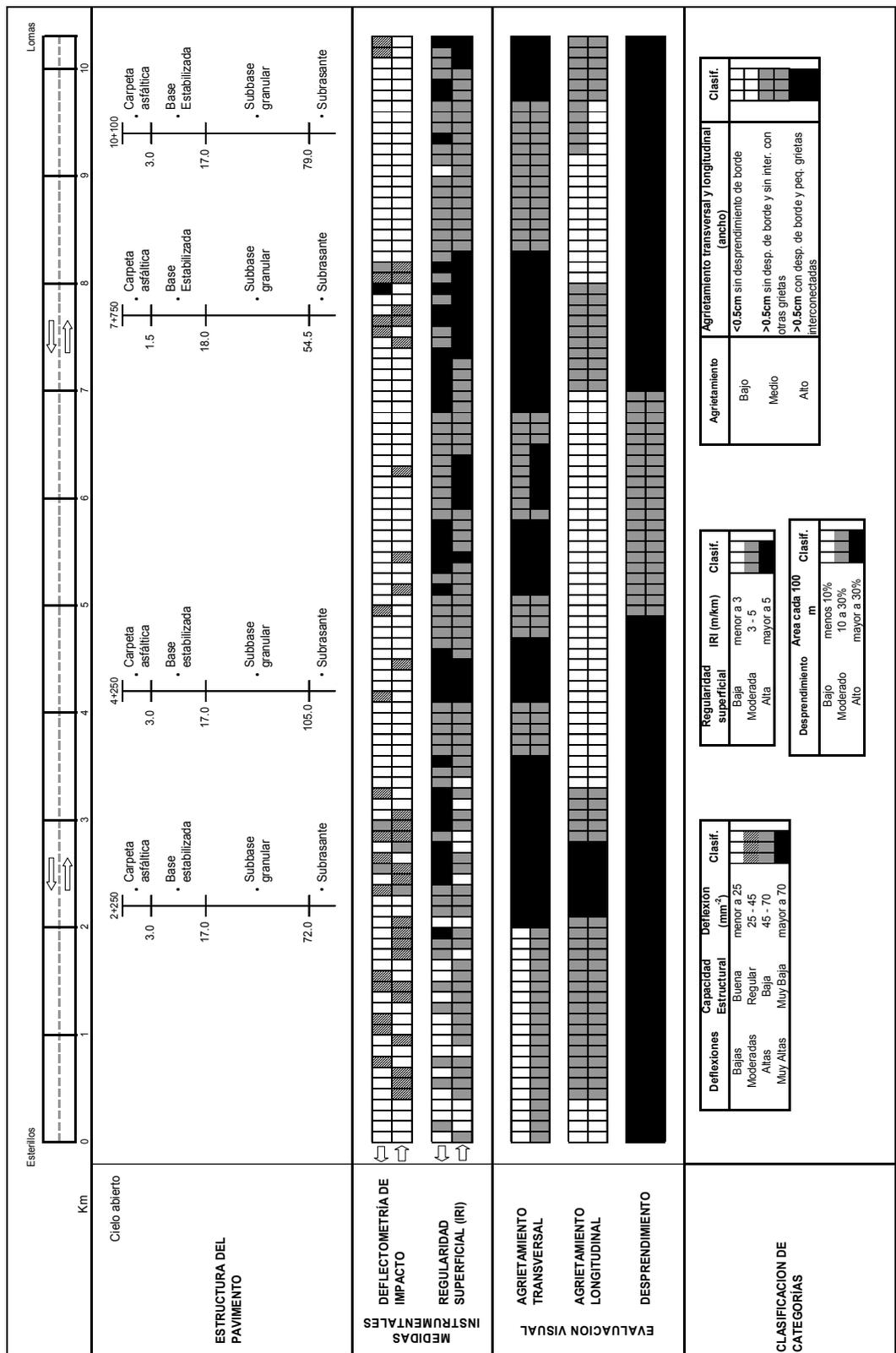


Gráfico 10 Esquema resumen de Mediciones Instrumentales y Evaluación Visual

10 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 de cómputo 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 supuesto 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 entonces 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. Por las características de las deflexiones encontradas y bajo el supuesto que, el espesor de capa de ruedo que se utilizará a lo largo de todo el tramo será homogéneo se decide realizar el retrocálculo de módulos a las deflexiones obtenidas con el percentil 90, es decir se considera toda la sección como un tramo homogéneo.

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 5 Valores de deflexiones basados en el percentil 90.

Por medio del programa Everstress se realiza el retrocálculo de módulos haciendo uso de un modelo de multicapa elástico y se obtiene luego de repetidas iteraciones valores de deflexiones con un porcentaje de error de 5.98%. Se eliminaron los valores de las deflexiones medidas en el geófono D4 ya que el Everstress solo trabaja con 8 geófonos y elimina ese valor por defecto. En la tabla 8 (se muestran las deflexiones originales obtenidas mediante la deflectometría de impacto (percentil 90%) las cuales se comparan con las deflexiones retrocalculadas, mediante este procedimiento iterativo se evalúa la capacidad estructural existente en las diferentes capas de los materiales, la cual se muestra en la ilustración 8.

<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 6 Comparación de deflexiones.

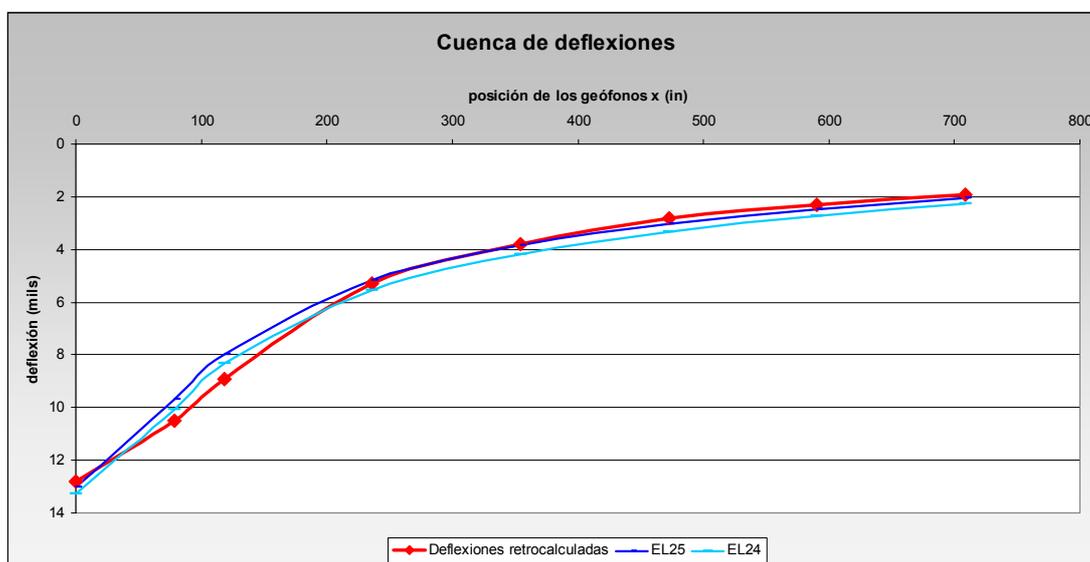


Gráfico 11 Comparación de deflexiones

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

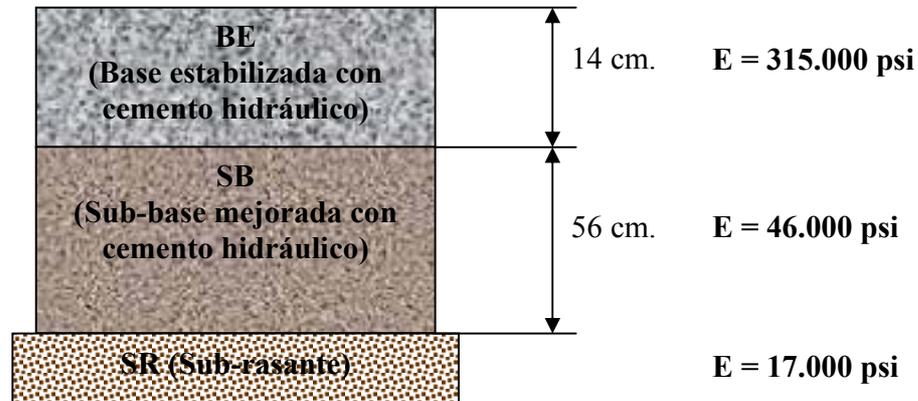


Ilustración 7 Pavimento existente

Considerando como un valor típico de módulo para una base estabilizada BE-35 de 600.000 psi podemos ver como el valor obtenido corresponde con una pérdida de aproximadamente un 47.5% 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, así como agrietamiento en bloques y grietas longitudinales de severidad alta.

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.

11 Conclusiones

Mediante la evaluación visual se lograron identificar importantes zonas de deterioro, caracterizadas por agrietamientos transversales y longitudinales de severidad alta, los deterioros mas avanzados e importantes se localizan entre las estaciones 2+000-3+000 y las estaciones 7+000-8+000, sin embargo existen otras zonas deterioradas a lo largo del tramo. El agrietamiento transversal es el que presenta mayor severidad.

Los agrietamientos transversales y longitudinales son indicios de fallas estructurales de la base estabilizada, las cuales, es indispensable corregir con reparaciones de profundidad total en la base estabilizada, ya que de no ser así, cualquier espesor de sobrecapa de Mezcla Asfáltica en Caliente colocada sobre esta sección presentará un reflejo de grietas en el corto plazo (máximo 6 años con las técnicas más modernas para retardar el reflejo de grietas).

Los cálculos realizados muestran una evidente pérdida de capacidad estructural del pavimento luego de 14 años de servicio desde el año 1994 (referencia según oficio DO-I-07-1107 del 10 de octubre de 2007) la cual es coherente con las condiciones superficiales existentes y las fallas estructurales detectadas.

Así las cosas, el análisis realizado por el LanammeUCR demuestran que se requiere intervenir con mayor amplitud la estructura del pavimento actualmente en servicio antes de poder definir un espesor final de mezcla asfáltica en caliente, si se quiere evitar el reflejo de grietas o falla prematura de la nueva estructura a colocar.

Una vez restituida la condición de la Base Estabilizada en las secciones identificadas, el nuevo espesor a colocar dependerá del TPD existente y del tránsito proyectado a un periodo de diseño definido por el CONAVI, se recomienda tomar en cuenta factores de crecimiento vehicular que muestren la futura influencia de condiciones como la apertura de la Costanera Sur, entre otras.