

EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCION

HERNÁN DE SOLMINIHAC T., Msc.Ph.D. U. Ingeniero Civil

Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción

Pontificia Universidad Católica de Chile, hsolmini@ing.puc.cl

CRISTIÁN CABRERA T., Ingeniero Civil

APSA Ltda. Chile, cristiancabrera@apsa.cl

ELVA BENGOA P, Ingeniero Civil

Dictuc S.A. Chile, ebengoa@ing.puc.cl

RESUMEN

La evaluación de la capacidad estructural y funcional durante la construcción de pavimentos utilizando ensayos no destructivos en cada etapa de la construcción se presenta como una alternativa complementaria a las tradicionales, pues permite evaluar el comportamiento de la estructura del pavimento como un conjunto de capas, reflejando las propiedades de cada una de ellas y la interacción entre las mismas, además de evaluarlas con sus propiedades en terreno. La evaluación por capas permitiría corregir eventuales diferencias en la construcción de una capa y mejorar la homogeneidad de la estructura del pavimento. Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación en el que se busca implementar una metodología de control de calidad complementaria a la tradicional en las diferentes capas del pavimento durante la construcción, mediante el uso de técnicas no destructivas: Deflectómetro de Impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD) y el Perfilómetro Láser. Se presenta la definición del problema, el esquema de trabajo efectuado, y las pautas a seguir en el corto plazo.

1 INTRODUCCION

La evaluación de la capacidad estructural y funcional capa a capa durante la construcción del pavimentos utilizando ensayos no destructivos, es una alternativa usada en otros países. Actualmente estas tecnologías existen en Chile y son ampliamente utilizadas para la recepción y evaluación de pavimentos en servicio, no así para el control de calidad durante la construcción. Durante la construcción de una estructura de pavimento se llevan a cabo un conjunto de ensayos (tradicionales) para determinar las características de las capas, de forma tal que cumplan con las especificaciones del proyecto y los requerimientos del diseño [MOP, 1986]. Sin embargo, muchos de estos ensayos tienen por objetivo determinar las características constitutivas, mecánicas y de colocación para cada capa de forma individual y no consideran el comportamiento de la estructura como un conjunto [Shell, 1978] [Ali and Koshla, 1987].

Además, la mayoría de los ensayos realizados para control de los materiales representan el comportamiento del material en laboratorio, y no necesariamente representa su comportamiento in situ [Collop et al, 2001] [Zaghloul et al, 2000].

Es importante buscar indicadores que permitan complementariamente evaluar la estructura de pavimento como un conjunto y con sus propiedades en terreno. Esto permitirá modelar adecuadamente la estructura de pavimento al momento de diseñarla y realizar correcciones durante la construcción para obtener una estructura homogénea a lo largo del proyecto. También es necesario determinar características funcionales de las capas como su irregularidad y textura durante la construcción, lo cual permitirá mejorar la serviciabilidad inicial al momento de la puesta en servicio. Con estos indicadores se podría tener control sobre la homogeneidad y calidad de la estructura y superficie de los pavimentos durante su construcción, con ello obtener un buen comportamiento y por consiguiente una mayor rentabilidad de la inversión en obras viales [Livneh, 2001] [Zaghloul, 1996a, 1996b, 2000].

El trabajo que se presenta forma parte del proyecto de investigación “Estudio de Factibilidad para Implementar Metodologías Complementarias para el Control de Calidad durante la Construcción de Pavimentos”, el cual es uno de los siete proyectos de innovación tecnológica que resultaron ganadores en el Segundo Concurso del Fondo de Innovación Tecnológica del Ministerio de Obras Públicas y se encuentra actualmente en ejecución. Este proyecto propone la utilización de tecnologías, de control de capacidad estructural y funcional complementarias al control actual de pavimentos durante la construcción, como la utilización del Deflectómetro de Impacto (FWD) y el Perfilómetro Láser.

Se están realizando una secuencia de mediciones con el FWD y el perfilómetro láser en tramos en construcción con diferentes características en las capas que conforman el pavimento y en diferentes condiciones climáticas. Estos tramos en construcción forman parte de los proyectos actualmente en ejecución del MOP. Estas mediciones se efectúan en las diversas capas del pavimento con el propósito de definir indicadores para controlar la capacidad estructural exigida en cada una de ellas y evaluar la irregularidad superficial. Esto permitirá obtener una base de datos adecuada que ayudará a establecer recomendaciones y pautas para umbrales de medición que permitan asegurar la calidad de la construcción realizando las medidas correctivas in-situ. A modo general la Figura 1 muestra la secuencia de mediciones considerada.

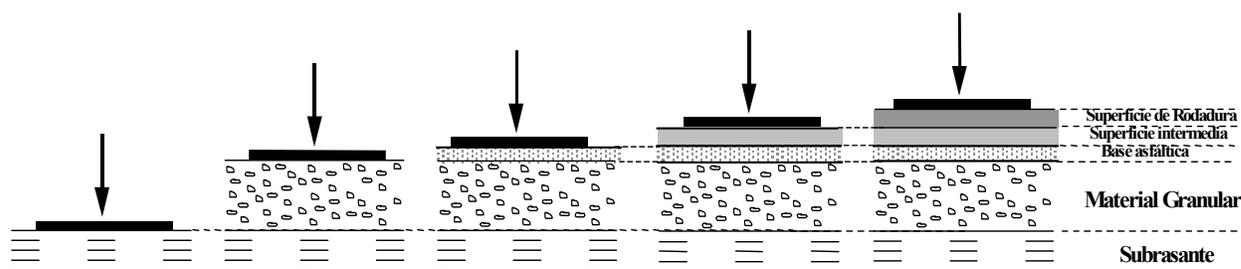


Figura 1 Secuencia de mediciones

Este trabajo constituye la primera parte del proyecto. Se presentarán los avances realizados hasta la fecha: el estado del arte del tema a investigar, la metodología empleada para la selección de los tramos más adecuados para realizar las mediciones, los resultados preliminares obtenidos de las mediciones efectuadas y las recomendaciones y pasos a seguir en la continuación del proyecto.

Para dar la idea general del proyecto se presentan a continuación en forma detallada los objetivos propuestos.

1.1 Objetivos generales y objetivos específicos del Proyecto de Investigación

El objetivo general del proyecto es analizar la factibilidad de implementar metodologías complementarias para el control de calidad durante la construcción de pavimentos mediante técnicas no destructivas.

Los objetivos específicos son:

- Establecer recomendaciones de umbrales para el control de construcción y recepción de pavimentos con las tecnologías propuestas.
- Evaluar la capacidad de considerar cambios de la estructura durante la construcción con el objetivo de optimizar la capacidad estructural y funcional del pavimento de acuerdo a las condiciones del terreno.
- Recomendar técnicas para realizar el control de calidad con la tecnología propuesta.

2 ESTADO DEL ARTE

La información que se muestra corresponde a publicaciones, reportes e informes nacionales e internacionales. La evaluación de la capacidad estructural y funcional de los pavimentos durante el proceso constructivo con métodos no destructivos es realizada en la mayoría de los casos por los propios constructores, no existe mayoritariamente una normativa definitiva, existen básicamente recomendaciones de la metodología a seguir.

2.1 Especificaciones y controles de evaluación de capacidad estructural realizados en Chile

El Manual de Carreteras de Chile no contempla mediciones con deflectómetro de impacto para evaluar la capacidad estructural del pavimento durante la etapa de construcción ni la recepción. Sin embargo, en algunos contratos la Dirección de Vialidad exige actualmente la ejecución de una deflectometría de impacto en toda la longitud del camino terminado utilizando una carga de 50 kN y espaciadas cada 100 m en cada pista en pavimentos asfálticos.

También, en las especificaciones técnicas generales de la Subdirección de Pavimentación y Obras Viales del SERVIU Metropolitano, se exigen controles de deflectometría al término de la construcción del pavimento. Se debe presentar el retroanálisis del módulo resiliente, el número estructural y los EE admisibles obtenidos a través de las mediciones con el FWD (utilizando la

metodología AASHTO). Las mediciones se deben efectuar con una carga normalizada de 40 kN y espaciadas cada 50 m. en cada pista.

2.2 Especificaciones y controles de evaluación de capacidad estructural en otros países

No existe mucha información acerca de umbrales establecidos en cada una de las capas para realizar la evaluación estructural. Las especificaciones y controles de evaluación que se encontraron se limitan en su mayoría sólo a una capa (plataforma de fundación y superficie de rodadura) y los trabajos que se encontraron muestran básicamente la metodología empleada de la medición por capas verificando la importancia de hacer un seguimiento continuo a la estructura durante la construcción.

Un programa de auscultación importante que existe actualmente en España [Ruel, 1998] es el denominado Programa de Auscultación Dinámica de Alto Rendimiento (A.D.A.R.). Dicho programa controla el pavimento durante el proceso de construcción para poder detectar las deficiencias de construcción existentes y repararlas in-situ. Para la evaluación estructural considera que las deflexiones medidas con el FWD en cada una de las capas del pavimento no deben sobrepasar el 15% de las deflexiones obtenidas de un análisis previo del pavimento a través de un programa multicapa.

También se encontraron las especificaciones constructivas en Israel Public Works Department [Livneh, 2001] en donde se exige el control de la capa de subrasante con el FWD. Las mediciones se realizan cada 20 m con una carga de 22kN. Las deflexiones obtenidas no deben sobrepasar un promedio de 0.5mm y un CV de 40% para secciones en corte y un promedio de 0.4 mm y un CV de 30% para las secciones en relleno.

En Francia se tienen valores de deflexión (medidos con deflectógrafo Lacroix) a fin de controlar la capa de subrasante. Los valores están en función del tipo de tráfico: menos que 75 μm para tráficos T0 y T1; de 75 a 100 μm para tráficos T2 y T3, y valores entre 100 y 150 μm para tráficos T4 y T5.

2.3 Especificaciones y controles de evaluación de capacidad funcional en Chile

En Chile el Manual de Carreteras [MOP, 1997] exige que se controle la capacidad funcional de los pavimentos nuevos a través de la medición de la lisura y del IRI en la superficie de rodadura. El valor del IRI es presentado cada 200 m. y la media móvil de 5 tramos consecutivos de 200 m. No se debe superar el valor de IRI de 2m/km en pavimentos asfálticos y de hormigón, mientras que en dobles tratamientos superficiales no se debe superar el valor de 3 m/km. En concesiones de vías principales la media móvil (5 tramos de 200 m.) del IRI no debe superar los 3,5 m/km en todo el período de explotación. En vías secundarias el umbral es de 4 m/km.

No se menciona un control de IRI en las capas de subbase, base, y binder adicional a los controles de compactación, de terminación y de uniformidad. Sin embargo, en el Manual de Carreteras especifica *“no obstante que se aceptarán las tolerancias de terminación señaladas*

para las bases granulares, el Contratista tomará todas las precauciones necesarias para cumplir con los requisitos de espesor, lisura y rugosidad (IRI) y otros exigidos para el pavimento o tratamiento a construir sobre ellas”, esto quiere decir que todo ensayo dirigido a evaluar la calidad de la construcción efectuada es válido.

2.4 Especificaciones y controles de evaluación de capacidad funcional en otros países

Actualmente, en otros países se están llevando a cabo proyectos para afinar más aún el valor del IRI inicial en la construcción de pavimentos. En Estados Unidos, la Federal Highway Administration (FHWA) está desarrollando una investigación denominada Pavement Smoothness Initiative, con la finalidad de mejorar la calidad funcional de la red vial [Swanlund, 2000]. Esta investigación tiene como objetivos proponer nuevos valores iniciales de IRI para la recepción de pavimentos, proponer acciones de mantenimiento efectivas y recomendar especificaciones para controlar el IRI durante el proceso constructivo. Cada estado posee sus propios umbrales de recepción de pavimentos, así como su metodología de evaluación continua de la red vial. En el estado de Georgia, el cual posee las vías con mejor capacidad funcional del país, el 97% de su red vial posee un valor de IRI menor de 1,20 m/km.

España es otro de los países que cuenta con continuos proyectos de investigación para evaluar sus procedimientos de diseño y construcción. La especificación actual sobre regularidad superficial del Ministerio de Fomento para tramos de carretera de nueva construcción se encuentra en la Orden Circular 308/89CyE sobre "Recepción definitiva de Obras" y en la Nota de Servicio complementaria de OC 308/89 en las que fijan criterios sobre regularidad superficial de la capa de rodadura y se exige su cumplimiento. La **Tabla 1** recoge dicha especificación para capas de rodadura

Tabla 1 Especificaciones Españolas para el IRI de recepción

SUPERFICIE RODADURA	DE	% de longitud con IRI (subtramo cada 100m)		
		50	80	100
		1,5 m/km	2,0 m/km	2,5 m/km

Si se asume una distribución normal para la serie de valores de IRI, los percentiles que se muestran anteriormente en las especificaciones españolas permiten definir un valor promedio de 1,85 m/km con una desviación típica de 0,39 m/km. En un estudio realizado en tramos de recepción en obra [Crespo del Río, 1999], se determinó que los valores de IRI obtenidos, así como los valores de las desviaciones correspondientes eran mucho menores a los propuestos por la Norma. Esto demuestra una buena ejecución en obra, además, es importante conseguir un valor promedio adecuado y lograr que las dispersiones de los valores estén acotadas por un valor pequeño de la desviación respecto a la media. Con estos antecedentes, existen especificaciones más rigurosas para algunas concesiones de tramos de autopistas. Se utiliza el IRI dividiendo cada tramo en subtramos de 1000 m. de longitud por sentido y se toman mediciones cada 20 m. en cada uno de ellos.

Los resultados para cada subtramo se presentan en la **Tabla 2**:

Tabla 2 Especificaciones Españolas para algunas concesiones

TIPO DE VÍA	IRI MEDIO (m/km)	σ (m/km)	VALOR MAX (m/km.)	MEDIA+2 σ
CONSTRUCCIÓN	1,25	0,25	3,0	-----
CONSERVACIÓN	-----	-----	3,0	2,0

El Programa A.D.A.R. [Ruel, 1998] contempla las siguientes especificaciones:

Tabla 3 Especificaciones Españolas para el control de IRI por capas

CAPA	PORCENTAJE DE TRAMO		
	50%	80%	100%
SUPERFICIE DE RODADURA	1,5	2,0	2,5
1a CAPA BAJO RODADURA	2,5	3,5	4,5
2a CAPA BAJO RODADURA	3,5	5,0	6,5

También se cuenta con las nuevas especificaciones de Portugal [Sánchez, 2001], en donde se hace una diferenciación entre los umbrales de pavimentos de hormigón y de asfalto, lo cual se ha demostrado que no es conveniente pues los primeros presentan durante su vida útil valores tan altos de IRI como los pavimentos asfálticos. [Swanlund, 2000]:

Tabla 4 Especificaciones de Portugal para el IRI inicial

TIPO DE PAVIMENTO	% de longitud con IRI (subtramo cada 100m)				
	50%	75%	80%	90%	100%
ASFALTO	1,5 m/km	---	2,5 m/km	3,0 m/km	---
HORMIGÓN	2,0 m/km	2,5 m/km	---	---	3,0 m/km

En Canadá [Tremblay, 1999] se están realizando estudios para especificar valores de IRI para la recepción de pavimentos medidos con perfilómetro inercial. La siguiente Tabla muestra valores permitidos actualmente para pavimentos asfálticos:

Tabla 5 Especificaciones de Canadá para el IRI inicial

CAPA	% de longitud con IRI (subtramo cada 100m)		
	70%	90%	100%
SUPERFICIE DE RODADURA	1,2	1,4	1,8

Una metodología detallada del control del IRI en las distintas capas del pavimento (capas asfálticas) muestra los resultados del proyecto piloto realizado en la Municipalidad de Dubai, en los Emiratos Árabes Unidos [Zaghloul, 1998] en el cual se desarrollaron e implementaron las especificaciones de control de regularidad durante la construcción. La metodología empleada analiza el IRI en dos longitudes base: 100 m. para evaluar la calidad de la construcción del pavimento y de 1000 m. para evaluar el comportamiento funcional de la capa final del asfalto en el largo plazo. Se controló con un valor de IRI en ambas huellas de la pista de 1,2 m/km para las capas de asfalto finales y de 1,3 m/km para las capas intermedias. Además, dos de las lecturas de 100 m. de la sección (1000 m) podían exceder los valores mencionados anteriormente, 1,35 m/km

en la capa final del pavimento y 1,5 m/km en las otras capas. Ninguna lectura podía ser mayor que 1,6 m/km. Esto se controlaba en cada capa, no se procedía a construir la siguiente capa hasta que se cumplieran las especificaciones. Una vez que se evaluaron todas las capas se calculó el IRI en 1000 m y se comparó con los límites de la siguiente tabla:

Tabla 6 Especificaciones de IRI inicial en el Proyecto de la Municipalidad de Dubai.

Clase de Vía	IRI promedio en 1000 m	
	Inicial	Terminal
Autopistas / Vías Expresas (Urbanas)	0,9 +/- 0,05	3,2
Autopistas / Vías Expresas (Rurales)	1,0 +/- 0,05	2,8
Vías Arteriales	1,0 +/- 0,05	3,2
Vías colectoras	1,2 +/- 0,05	3,8
Vías Locales	1,5 +/- 0,05	3,8
Areas industriales (todas las clases)	1,5 +/- 0,05	4,5

Con esta metodología de trabajo los constructores obtienen resultados rápidos de las operaciones de pavimentación.

Este trabajo se basa en los resultados obtenidos de una investigación preliminar en donde se evaluó la influencia de valores iniciales de IRI en el comportamiento del pavimento en el largo plazo [Zaghloul, 1996 b]. Valores iniciales elevados de IRI ocasionan mayores deterioros en el tiempo, mayor costo de mantenimiento, una vida útil de servicio inadecuada y rehabilitaciones o reconstrucciones a temprana edad del pavimento. Aún solucionándose los deterioros iniciales, el pavimento siempre presentará fallas funcionales en el tiempo más graves que aquel pavimento que inició su vida útil con un valor de IRI menor [Hossain and Parcels, 1995].

2.5 Estudios y publicaciones relacionados con el presente trabajo

Un trabajo en que se muestra la importancia del control de la capacidad estructural capa a capa utilizando el FWD es el realizado en Dubai, (Emiratos Arabes Unidos) [Zaghloul, 1996a]. Los resultados de este estudio mostraron que la deflexión de una capa depende altamente de la deflexión de la capa anterior. Es importante que se repare cualquier zona de baja capacidad antes de construir la siguiente capa.

Otro proyecto interesante del control de la capacidad estructural por capas se realizó en Colombia, efectuado por una empresa particular [Bockelmann, 2000] en donde se analizaron vías de la red urbana de Bogotá (3000 km, mediciones cada 50 m) conformadas por diversidad de estructuras, encontrándose materiales granulares, materiales estabilizados con cemento, materiales estabilizados con emulsión asfáltica, y cemento y mezclas asfálticas en caliente. A partir de las mediciones, se retroanalizaron los datos de las deflexiones y utilizando la metodología AASHTO [AASHTO, 1993] y la metodología propuesta por Gustav Rohde [Rohde, 1994] para determinar el número estructural efectivo de cada capa evaluada. Esto permitió evaluar la calidad de la construcción, comparando los valores obtenidos con los valores del diseño inicial. El trabajo realizado permitió calibrar los coeficientes de aporte estructural utilizados y recomendados por la prueba AASHTO en las diferentes capas que conforman el pavimento. Estos resultados presentan una primera estadística para la ciudad de Bogotá.

Entre los proyectos de medición realizados en Chile se tienen mediciones efectuadas por APSA de deflexiones y regularidad en los mismos puntos a nivel de subrasante y binder en diversas partes de Chile, en proyectos realizados estos últimos 5 años. Uno de los trabajos efectuados evaluó un pavimento de asfalto en la zona central de Chile durante la etapa de construcción. Los resultados de esta evaluación se presentan en la Figura 2 a la **Figura 4**. Se utilizó el FWD a nivel de subrasante, a nivel del terraplén y a nivel de binder, como se puede observar en la Figura 2 Se puede identificar la homogeneización de las deflexiones máximas a nivel de capa de binder, a diferencia de la base granular.

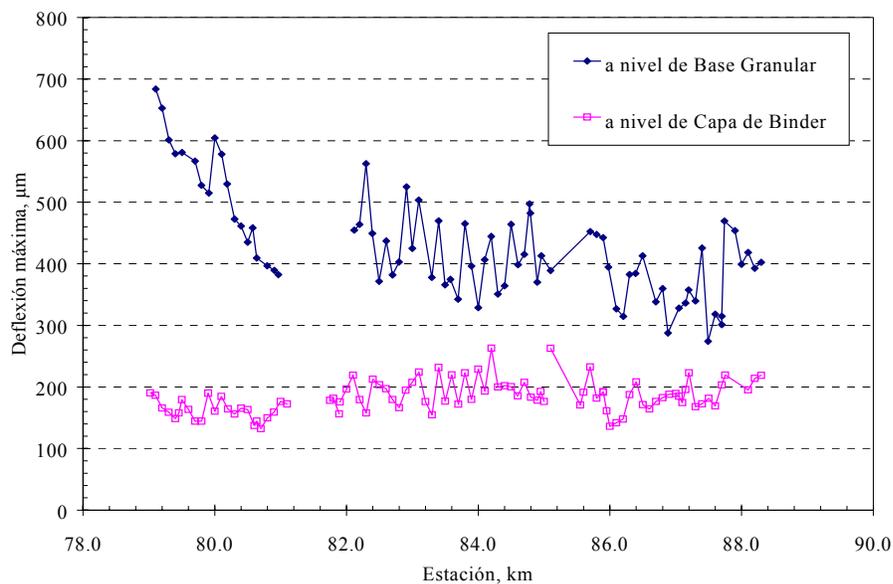


Figura 2. Ejemplo real de evaluación de la deflexión máxima a 25 kN por capas

En la Figura 3 se muestra el número estructural determinado a nivel de la carpeta de binder y su comparación con el valor de diseño requerido para pavimento terminado. Se puede identificar que el primer sector requiere bastante menos número estructural de la carpeta de rodado para llegar al valor de diseño que el segundo, el cual no ha alcanzado el valor del NE de diseño. Sin embargo, conocida esta información, dicho sector puede modificarse a un costo menor

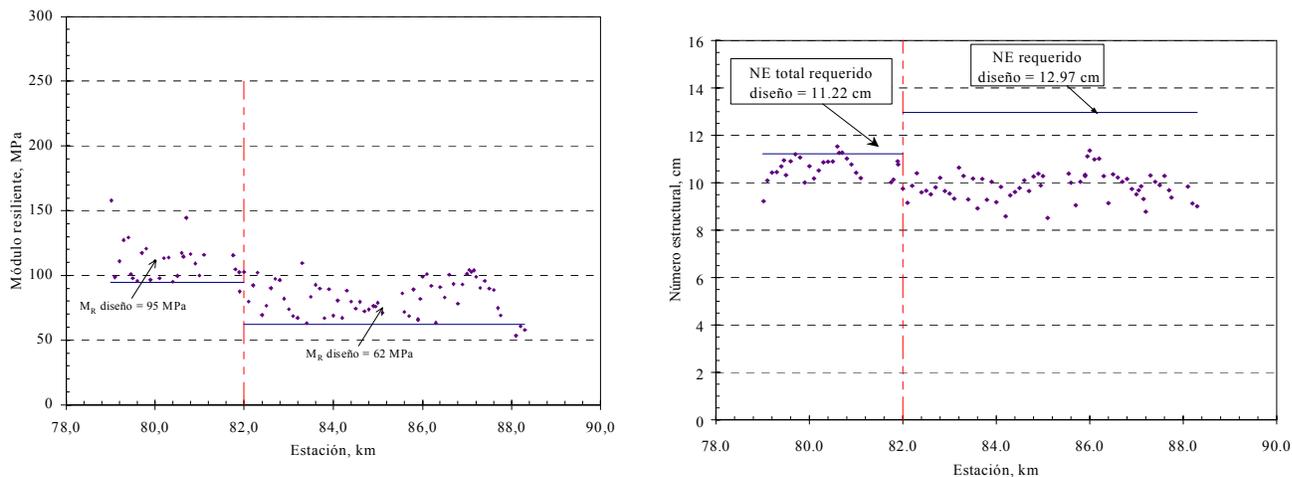


Figura 3 Ejemplo real de evaluación estructural a nivel de binder.

En la Figura 4 se muestran mediciones de rugosidad a nivel de binder y capa asfáltica.

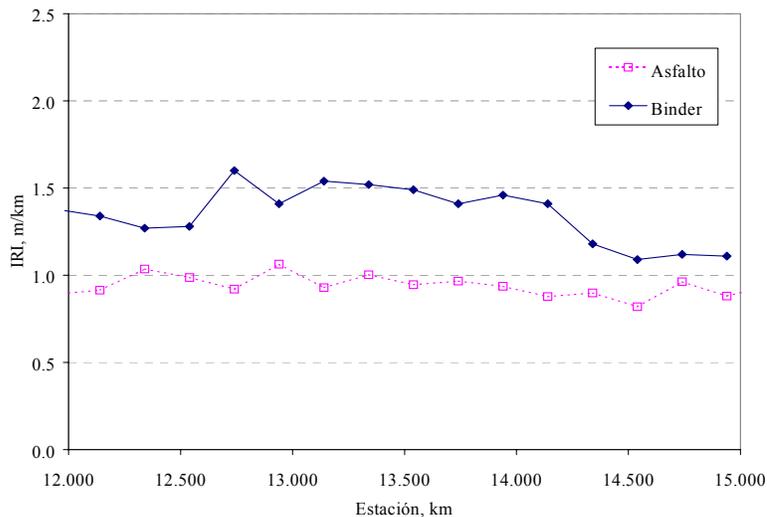


Figura 4 Ejemplo real de la evaluación de IRI por capa.

Otro proyecto que se considera es el estudio de la deflectometría de impacto y perfilometría de la Ruta 5 Norte, Sector Polpaico - La Trampilla (Tramo de Prueba). Este estudio se utilizará debido a que las mediciones programadas no se realizarán en forma continua para un mismo tramo, por lo cual, no se analizará el efecto del clima. Para evaluar esta variable se realizarán mediciones en el Tramo de Prueba, durante el período de estudio para analizar el efecto del clima en el comportamiento de las capas.

3 SELECCIÓN DE TRAMOS

La medición propuesta considera tramos en construcción proporcionados por el MOP. Los tramos fueron elegidos de una serie de contratos en ejecución. La selección de tramos se realizó en forma complementaria con la información recolectada de los antecedentes del Estudio definitivo de cada contrato y con la inspección visual en terreno.

Además, los tramos seleccionados debían completar el factorial de casos propuesto por el estudio el cual se describe a continuación.

3.1 Definición del Factorial de Casos

El factorial de casos que se propone en el proyecto contempla como parámetros las estructuras tipo de pavimento y capacidad de soporte de la plataforma de fundación (conjunto terraplén más terreno natural); el cual será posteriormente contrastado con los casos posibles o efectivos de medir. El factorial de casos incluye dos grandes grupos de pavimentos, divididos por tipo de estructuras, básicamente pavimentos asfálticos (capas asfálticas sobre capas granulares) y doble tratamiento superficial. Para la elección de los tramos y priorización de las mediciones, el primer grupo es considerado obligatorio, mientras que el segundo es de carácter alternativo y de complemento.

De esta forma, el factorial de casos propuesto combina los grupos de estructuras con la capacidad de soporte de la plataforma de fundación. Cada grupo de tipo de estructura tiene distintos rangos de espesores, que representan a los existentes en los Contratos donde se realizarán las mediciones. La capacidad de soporte de la plataforma de fundación ha sido caracterizada por el Módulo Resiliente Compuesto dado por el conjunto terraplén y terreno natural, a éste se la ha denominado Módulo Resiliente de la Plataforma de Fundación (MR_{PF}). En este caso se ha considerado como material de terraplén también el material de mejoramiento.

Los rangos para los valores de MR_{PF} se definieron en base a una revisión bibliográfica de los valores utilizados en distintos países (Francia, España, Estados Unidos, Gran Bretaña, Sudáfrica) y según las características de los suelos naturales chilenos [MOP, 1997] [MOP, 1986], pero *especialmente de los disponibles en los contratos considerados en el estudio (combinación de terraplén con el terreno natural)*. La Tabla 7 muestra el factorial de casos propuesto relacionado con la clasificación de la Plataforma de Fundación utilizada para la obtención de los valores de MR_{PF}

Tabla 7 Características de los tramos a evaluar

CLASIFICACION DE LA PLATAFORMA DE FUNDACION (TERRAPLEN+TERRENO NATURAL)				TIPO DE PAVIMENTO			
				CARPETA ASFALTICA (GRUPO 1)		DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL (GRUPO 2)	
				TIPO 1	TIPO 2	TIPO 1	TIPO 2
TIPO	CAPACIDAD DE SOPORTE	MR_{PF} (MPa)	CBR (%) *	CA 5-10; BG 15-20; SBG 15-20	CA 10-15 BG 15-20; SBG 15-20	BG 15-25	BG 15-25; SBG 15-25
PF1	Malo a Regular	40 – 60	3 – 7	X	X	X	X
PF2	Regular a Bueno	60 – 120	7 – 20	X	X	X	X
PF3	Bueno a muy bueno	120 – 200	20 – 60	X	X	X	X
PF4	Muy Bueno	> 200	> 60	X	X	X	X

* Utilizando la relación CBR – MR recomendada por la DV CA= Carpeta Asfáltica BIN = Capa de Binder BA = Base asfáltica BG= Base Granular SBG= Subbase Granular SR= Subrasante

3.2 Descripción de contratos seleccionados

De un número inicial de 10 contratos que se nos proporcionó inicialmente se descartaron 6 debido al estado de avance (finalizando o aún sin fecha de inicio). Las características más importantes de cada contrato se encuentran contenidas en la siguiente tabla resumen.

Tabla 8 Contratos disponibles para realizar mediciones

No	Contrato	Región	Estructuración	CBR (%) diseño
01	Carrizal Puente Belco (Los Conquistadores)	VII	0.08CA/0.18BG/0.20SBG	10.8
02	Bifurcación Chovellén – Límite Regional	VII	TSD/0.25BG/0.15SBG	20
03	Los Pozos – Combarbalá (Tramo II y III)	IV	TSD/0.20-0.25BG/	20
04	María Pinto – Santa Inés	Met	DTS/0.14-0.20BG/0.18-0.26SBG	3-15
05	Valparaíso Laguna Verde	V	0.05CA/0.05BIN/0.15BG/0.15SBG	9.4
06	San Felipe - Los Andes	V	0.05CA/0.05-0.06BIN/0.05- 0.06BA/0.15BG/0.12SBG	12

CA= Carpeta Asfáltica BIN = Capa de Binder BA = Base asfáltica BG= Base Granular
DTS = Doble tratamiento Superficial SBG= Subbase Granular SR= Subrasante

3.3 Ubicación de contratos seleccionados en el factorial propuesto

Para poder llenar el factorial de casos propuesto, es necesario analizar los valores del módulo compuesto terraplén-terreno natural (MR_{PF}). Los valores del MR_{PF} fueron obtenidos a través de la ecuación de Palmer y Barber para hallar el módulo compuesto terraplén-plataforma de fundación en función de los datos de CBR de los materiales del terreno natural y de los terraplenes proyectados, así como de la altura de los mismos.

La selección de tramos para las mediciones se realizó con el aporte de la información existente en los antecedentes del diseño y las visitas realizadas en terreno con fin de completar el factorial de casos propuesto. En algunos casos se han seleccionado tramos en base a los antecedentes disponibles, pero debido a las modificaciones normales en un proceso de construcción es posible que estos cambien de ubicación (posición de celda) en el factorial de casos, los cuales se indican mediante un “*”.

Tabla 9 Tramos de medición correspondientes al Factorial de Casos

MR _{FP} (MPa)	TIPO DE PAVIMENTO			
	CARPETA ASFALTICA (GRUPO 1)		DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL (GRUPO 2)	
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 1	TIPO 2
	CA 5-10; BG 15-20; SBG 15-20	CA 10 - 15; BG 15-20; SBG 15-20	BG 15-25	BG 15-25; SBG 15-25
40-60	(*)	(*)	(*)	CH 20420 – 20530
60-120	CA 17820 – 17980 CA 24940 – 25080	SF 4780 – 5080	(*)	CH 20540 – 20560
120-200	CA 17760 – 17800 CA 18000 – 18060 CA 25100 – 25160	SF 7000-8000	CO 61980-62000	MP 6140 –6440 MP 6130 – 6200 MP 720 – 900 MP 3200 – 3520
> 200	VA: 3500-4500	SF 12240 – 12540	CO 65120 – 65740 CO 60720 – 61020 CO 61480 - 61520 CO 61040 – 61340 CO 61730 – 61770 CO 62000 –62020	MP 5720 – 6130

CA: CARRIZAL – PUENTE BELCO

SF: SAN FELIPE LOS ANDES

CO: LOS POZOS – COMBARBALÁ

MP: MARIA PINTO – SANTA INES

CH: BIFURCACION CHOVELLEN LIMITE REGIONAL VA: VALPARAISO-LAGUNA VERDE

Dentro de lo posible, con el avance del estudio se complementarán los espacios en blanco de las celdas del factorial.

4 METODOLOGIA DE MEDICION

Se recomiendan mediciones en tramos de 300 m para las mediciones con el FWD. La frecuencia de 10 m dependerá en algunos casos de conseguir efectivamente la homogeneidad de las alturas de terraplenes y tipo de terreno natural. En caso contrario se aumentará la frecuencia de mediciones con el fin de obtener grupos de mediciones comparables entre sí. En forma complementaria se realizarán mediciones en torno a puntos donde se hayan efectuado calicatas en el estudio definitivo del contrato. De esta forma se tiene la certeza del material que constituye el suelo natural, así como la poca variación de altura de terraplén.

En las capas de subrasante y subbase granular se utilizará el plato de carga grande (r=0,23m). Se realizarán mediciones con ambos platos de carga (grande y chico, de r=0,15m) en la capa de base granular con el fin de comparar las deflexiones obtenidas al medir las capas asfálticas (medidas con plato chico). En las capas asfálticas se utilizará solamente plato chico.

Respecto a las mediciones realizadas con el Perfilómetro Láser, los resultados de las mediciones en la capa de subrasante no dan valores representativos pues esta capa es abierta al tránsito inmediatamente luego de su colocación. Además, las tolerancias de nivelación son mayores para

esta capa, las cuales se corrigen con las siguientes capas granulares que son colocadas. Como una conclusión inicial se tiene que las mediciones de IRI en la capa de subrasante no serían representativas para controlar el comportamiento de este parámetro durante el proceso de construcción en los tipos de contratos que tenemos para medir. Esta medición sería más significativa en aquellos contratos en que el avance de construcción sea continuo.

5 RESULTADO DE MEDICIONES

Las siguientes figuras (5 a 15) muestran los valores promedio de mediciones más su desviación standard en los tramos en que se ha evaluado más de una capa.

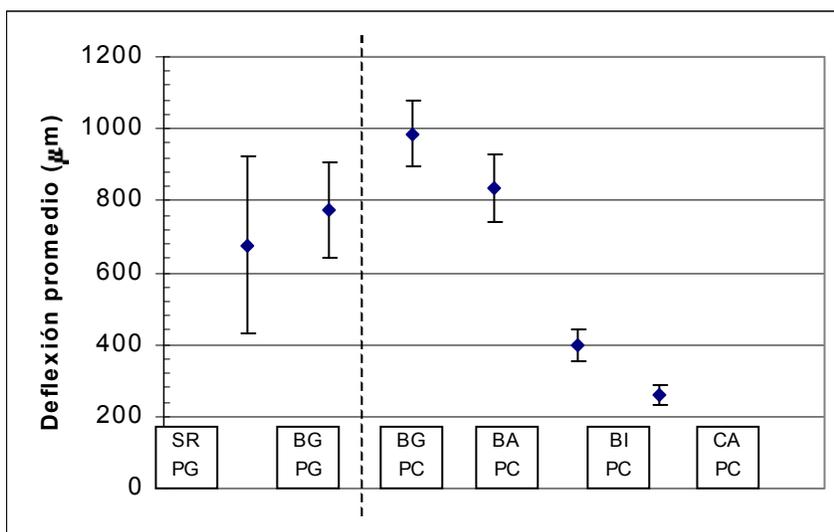


Figura 5 Variación Estadística Deflexión Promedio – Contrato San Felipe – Los Andes

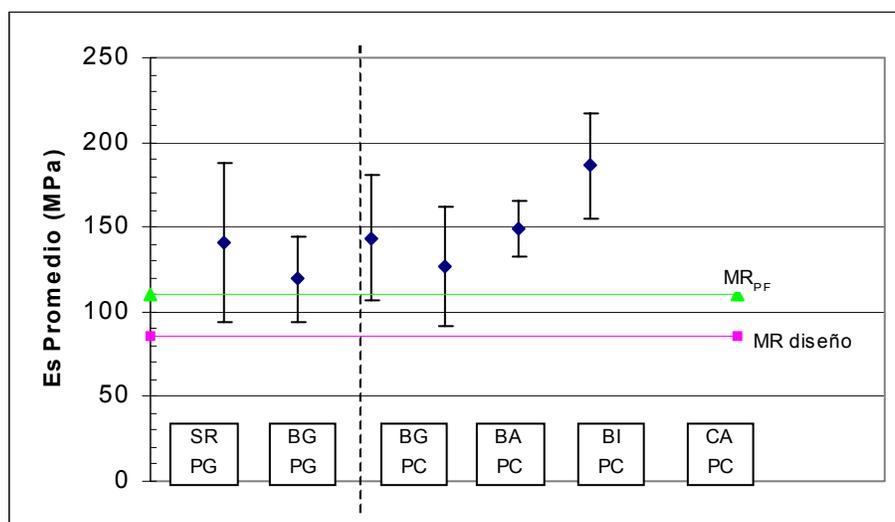


Figura 6 Variación Estadística Es Promedio – Contrato San Felipe – Los Andes

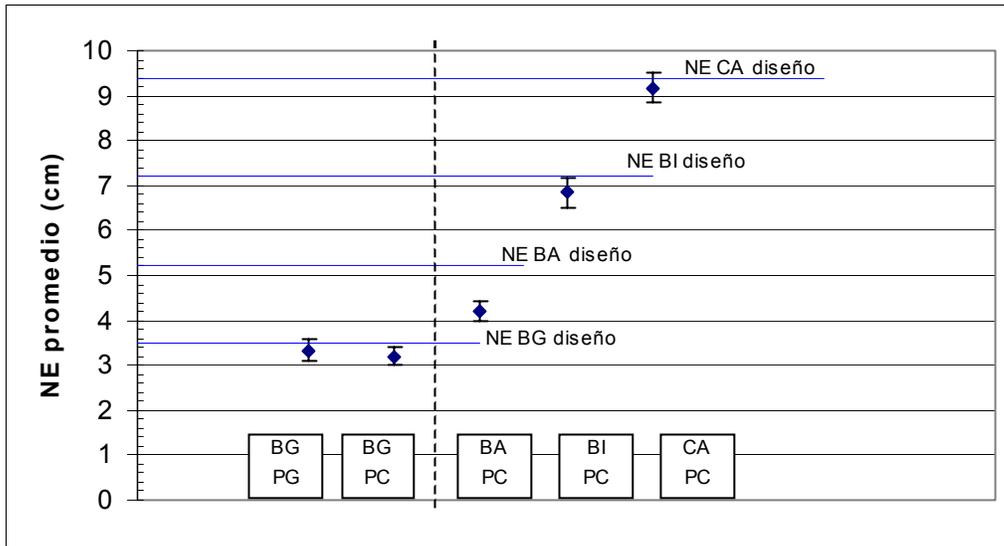


Figura 7 Variación Estadística NE promedio – Contrato San Felipe-Los Andes

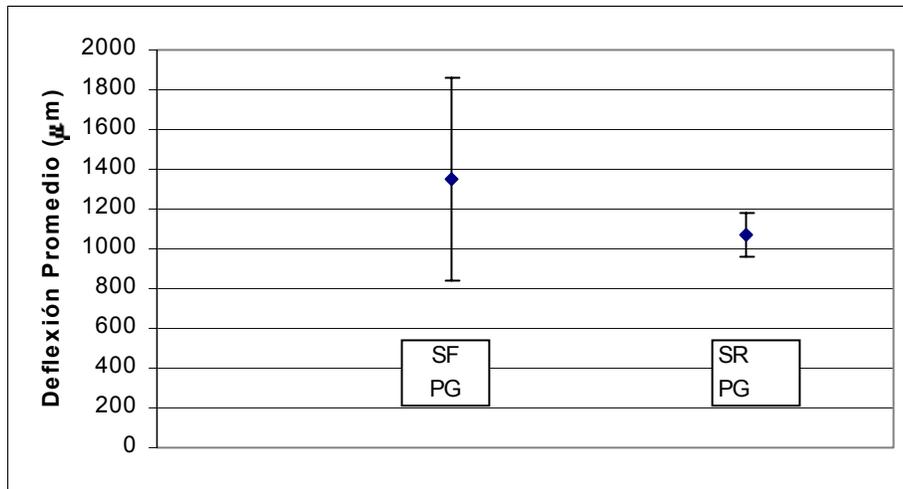


Figura 8 Variación Estadística Do Promedio – Contrato Valparaíso-Laguna Verde

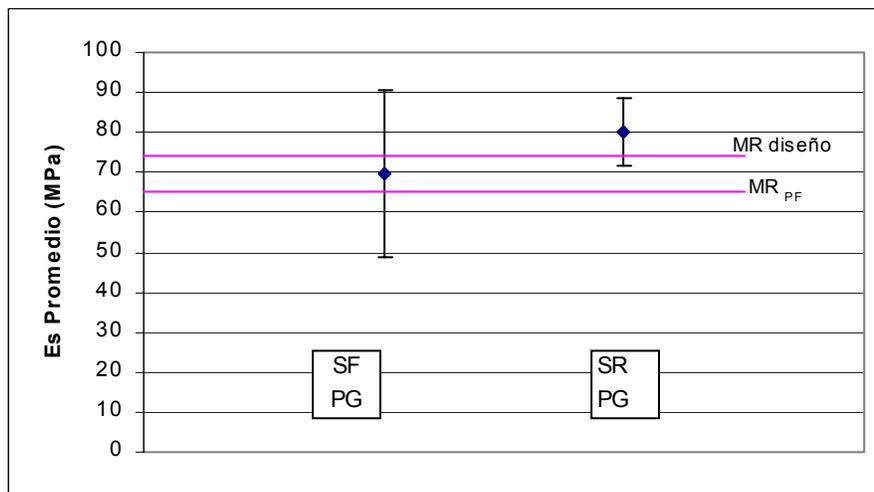


Figura 9 Variación Estadística Es Promedio – Contrato Valparaíso – Laguna Verde

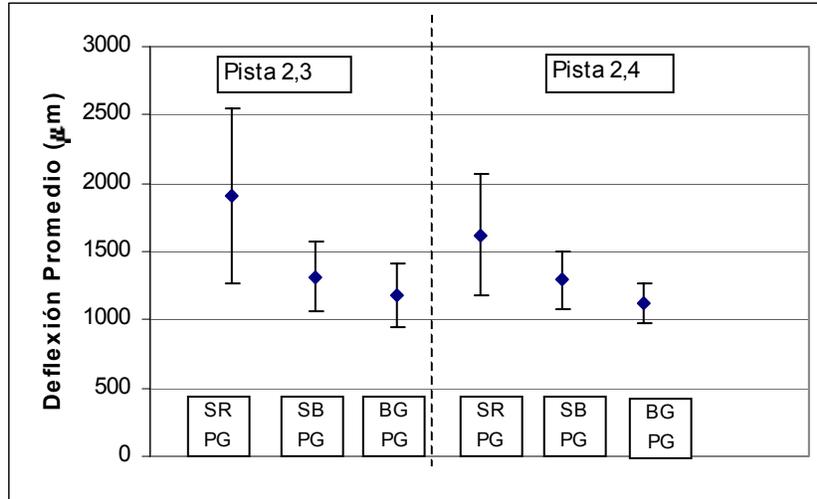


Figura 10 Variación Estadística Do Promedio – Contrato Bifurcación Chovellén-Límite Regional

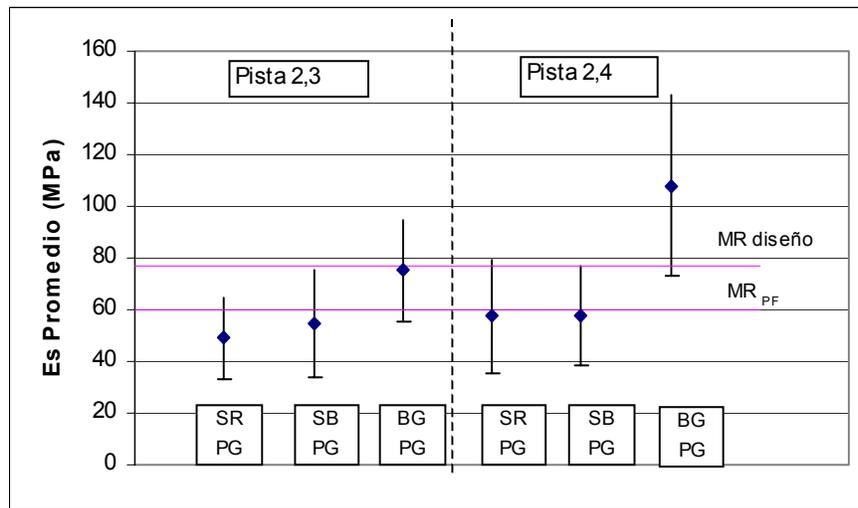


Figura 11 Variación Estadística Es Promedio – Contrato Bifurcación Chovellén Límite Regional

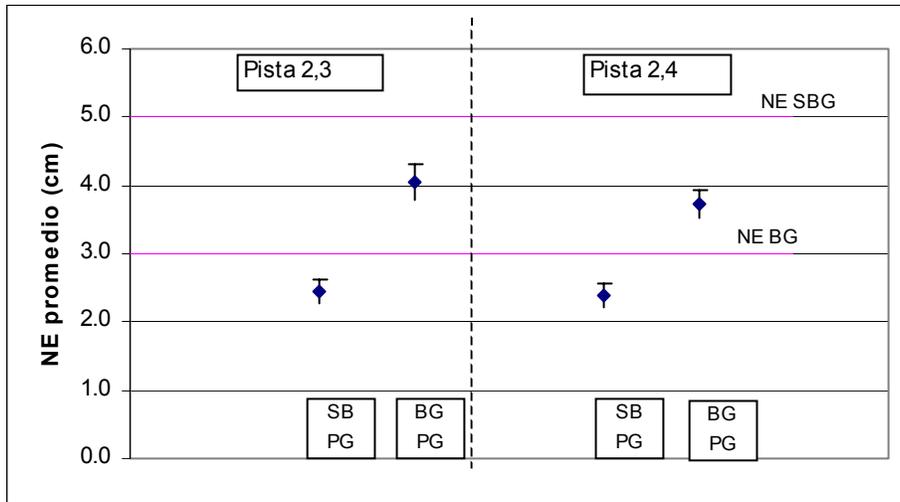


Figura 12 Variación Estadística NE promedio - Contrato Bifurcación Chovellén Límite Regional

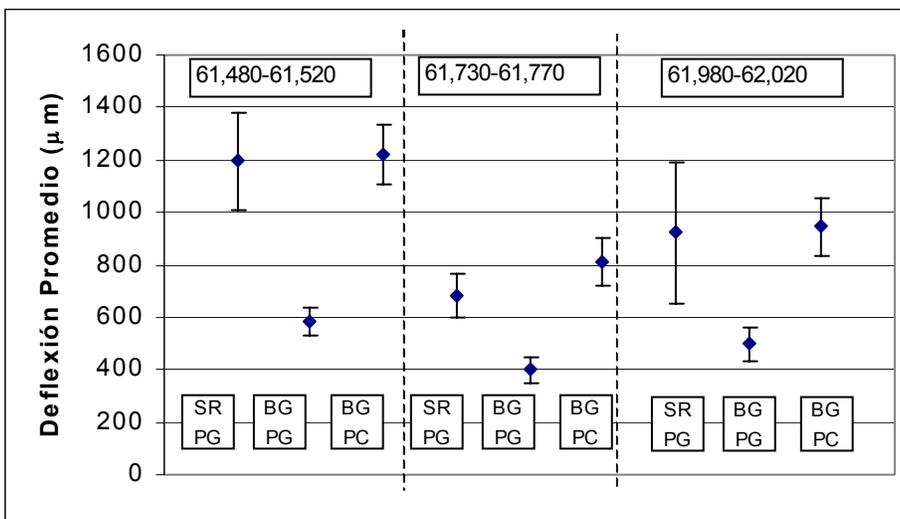


Figura 13 Variación Estadística Do Promedio – Contrato Los Pozos Combarbalá

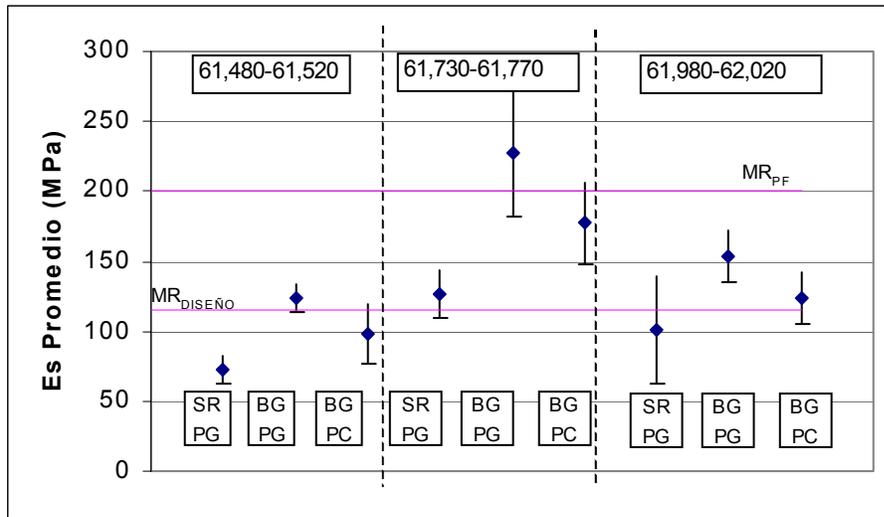


Figura 14 Variación Estadística Es Promedio – Contrato Los Pozos Combarbalá

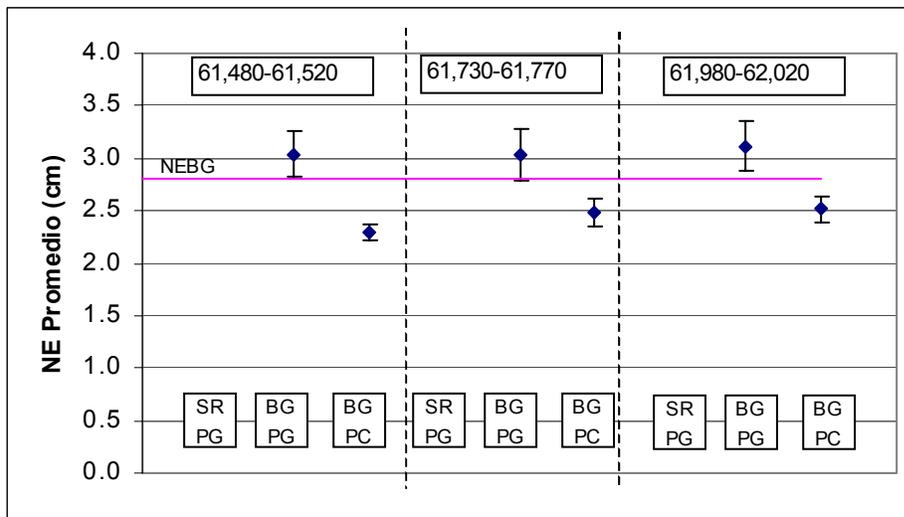


Figura 15 Variación Estadística NE Promedio – Contrato Los Pozos Combarbalá

En las siguientes figuras (16 a 19) muestran los resultados detalladamente en uno de los contratos donde se realizó la secuencia completa de medición de capas.

Deflexiones máximas normalizadas a 40 kN y 20 °C.

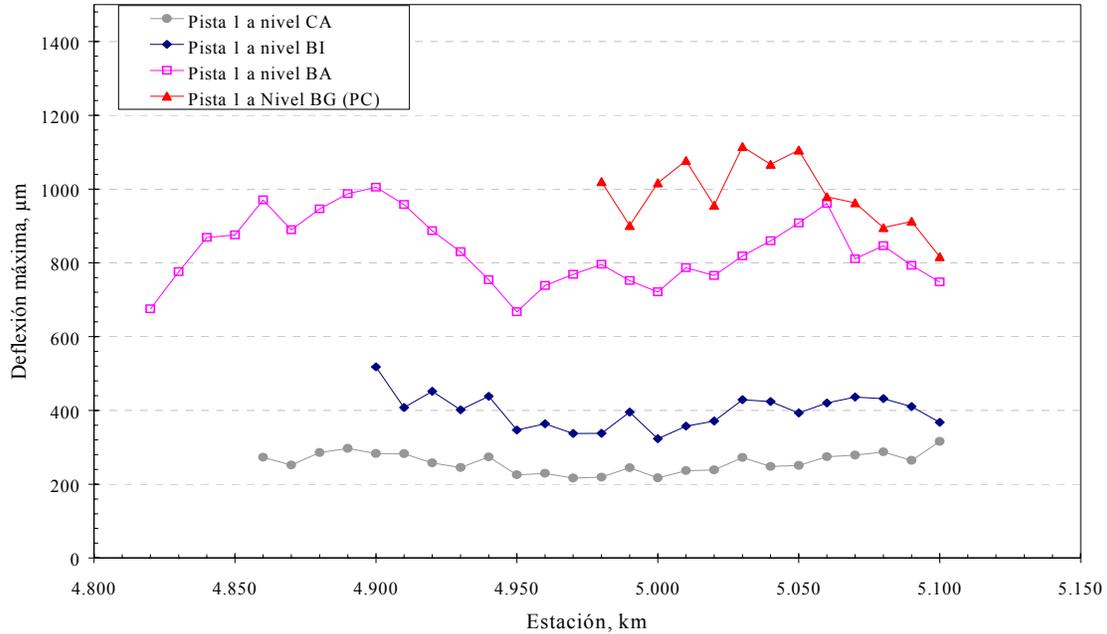


Figura 16 Mediciones de Deflexión con Plato Chico

Deflexiones máximas normalizadas a 40 kN y 20 °C.

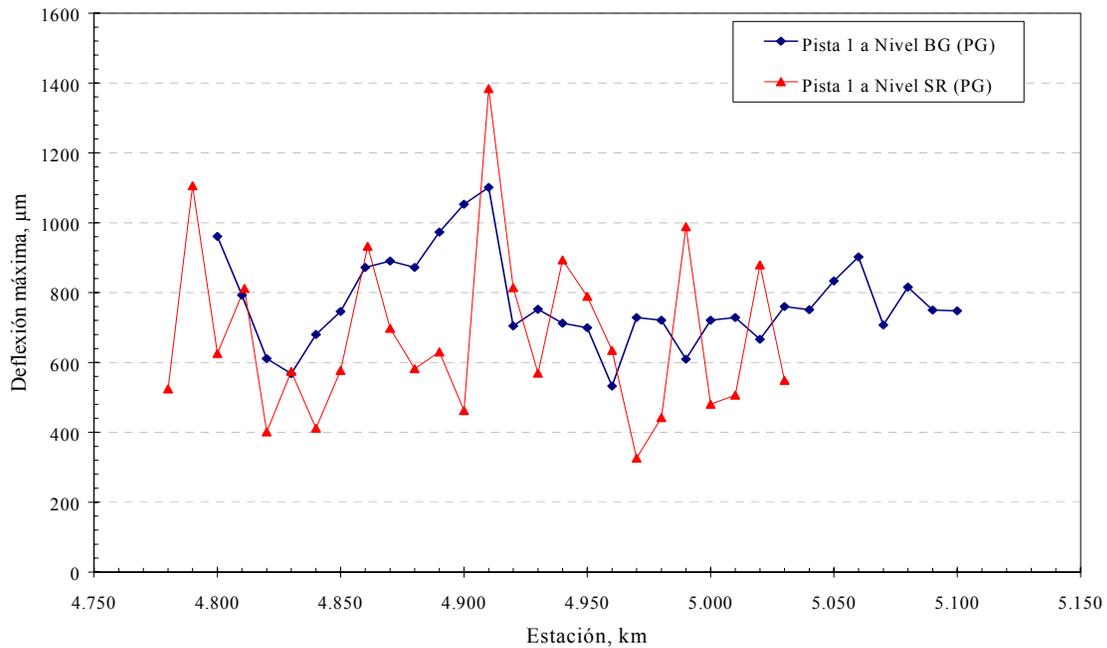


Figura 17 Mediciones de Deflexión con Plato Grande

Módulo elástico de la subrasante.

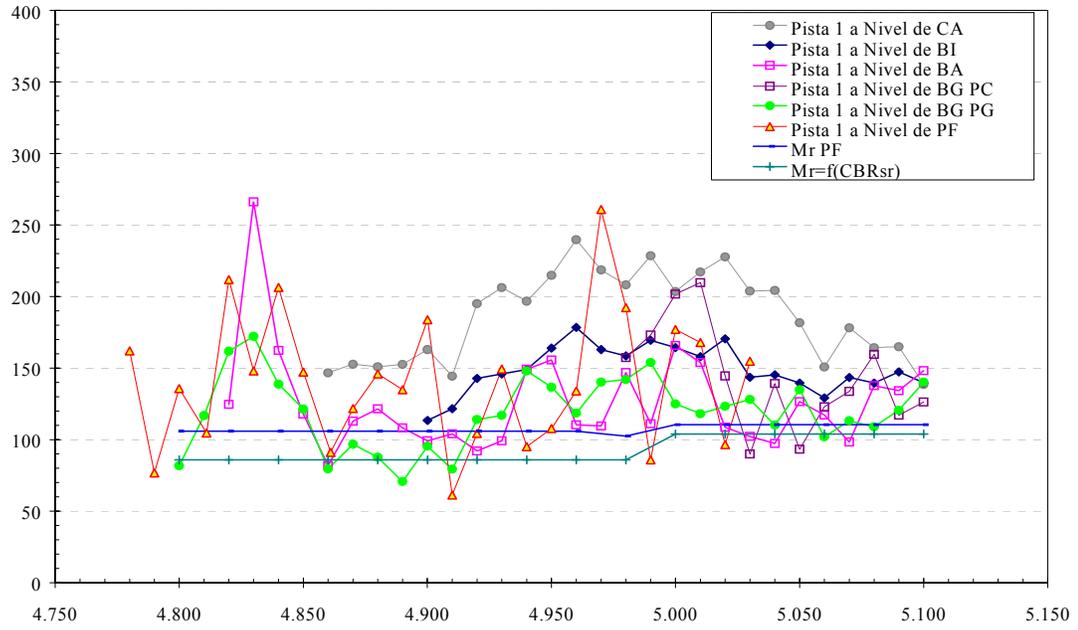


Figura 18 Módulo Elástico de la Subrasante calculado en cada capa

Número estructural efectivo.

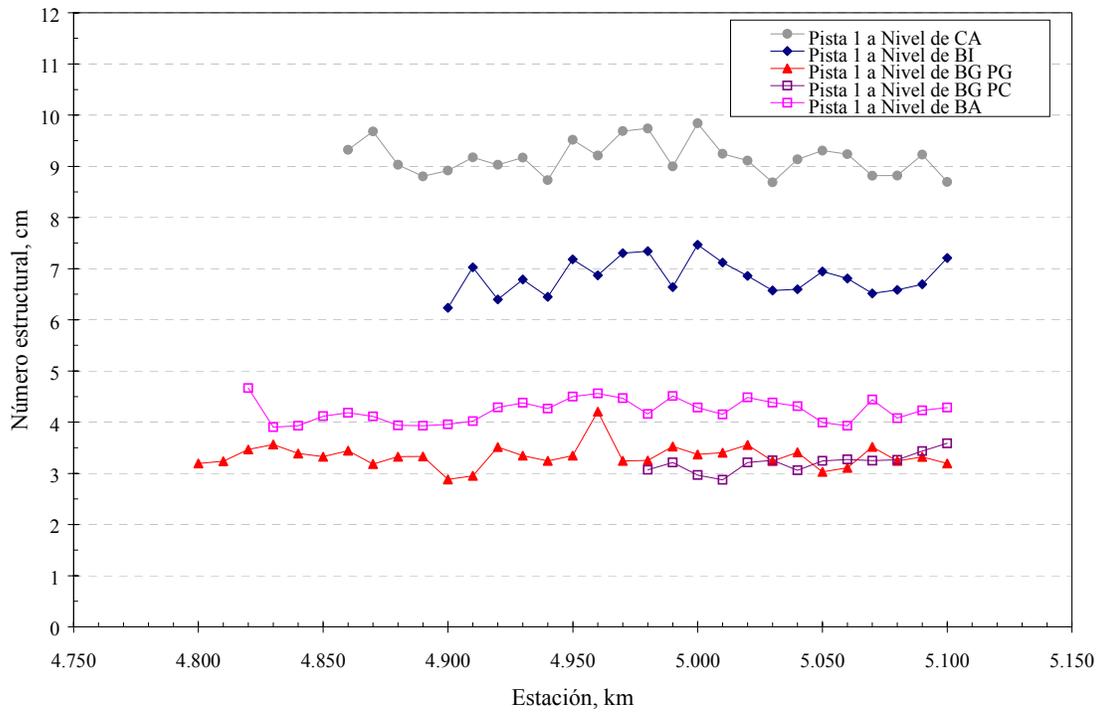


Figura 19 Número Estructural en cada una de las capas

En la Tabla 10 se muestra un resumen estadístico de las mediciones realizadas a la fecha.

Tabla 10 Resumen estadístico de valores obtenidos en las mediciones

Contrato N°1

Tramo	Capa Medida	Tipo de Plato	DO (µm)			Es (MPa)			NE (cm)		
			Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)
17,760-18,160	Subrasante	P.Grande	1233	278	23	73	19	27	---	---	---
24,940-25,160	Subrasante	P.Grande	1225	122	10	70	7	10	---	---	---

Contrato N°2

Tramo	Capa Medida	Tipo de Plato	DO (µm)			Es (MPa)			NE (cm)		
			Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)
20,400-20,550 Pista 2,3	Subrasante	P.Grande	1909	645	34	49	16	32	---	---	---
	Subbase	P. Grande	1316	255	19	54	21	38	2.4	0.2	7
	Base Granular	P.Grande	1180	236	20	75	20	26	4.0	0.3	7
20,400-20,550 Pista 2,4	Subrasante	P.Grande	1624	439	27	57	22	38	---	---	---
	Subbase	P. Grande	1291	214	17	57	19	34	2.4	0.2	7
	Base Granular	P.Grande	1124	142	13	115	35	30	3.7	0.2	6

Contrato N°3

Tramo	Capa Medida	Tipo de Plato	DO (µm)			Es (MPa)			NE (cm)		
			Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)
61,480-61,520 Pista 2,3	Subrasante	P.Grande	1196	185	15	72	9	13	---	---	---
	Base Granular	P.Grande	585	55	9	124	10	8	3.0	0.2	7
	Base Granular	P.Chico	1221	110	9	98	22	22	2.3	0.1	3
61,730-61,770 Pista 2,3	Subrasante	P.Grande	680	83	12	127	17	13	---	---	---
	Base Granular	P.Grande	399	48	12	227	45	43	3.0	0.2	8
	Base Granular	P.Chico	813	90	11	177	29	16	2.5	0.1	6
61,980-61,020 Pista 2,3	Subrasante	P.Grande	925	270	29	101	39	38	---	---	---
	Base Granular	P.Grande	500	64	13	154	18	12	3.1	0.2	8
	Base Granular	P.Chico	945	109	12	123	19	15	2.5	0.1	5

Contrato N°4

Tramo	Capa Medida	Tipo de Plato	DO (µm)			Es (MPa)			NE (cm)		
			Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)
5,700-5860	Subrasante	P. Grande	590	144	24	155	41	26	---	---	---
5,900-6,100	Subrasante	P.Grande	730	187	26	185	47	25	---	---	---

Contrato N°5

Tramo	Medición	Tipo de Plato	DO (µm)			Es (MPa)			NE (cm)		
			Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)
0,700-1,000 Pista 2,3	Sello Fundación	P.Grande	1348	509	38	70	21	30	---	---	---
	Subrasante	P.Grande	1070	114	11	80	8	11	---	---	---

Contrato N°6

Tramo	Capa Medida	Tipo de Plato	DO (µm)			Es (MPa)			NE (cm)		
			Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)	Prom.	STD	CV (%)
4,780-5,100 Pista 1,3	Subrasante	P.Grande	677	246	36	141	47	33	---	---	---
	Base Granular	P.Grande	773	132	17	119	25	21	3.3	0.2	7
	Base Granular	P.Chico	986	91	9	144	37	25	3.2	0.2	6
	Base Asáltica	P.Chico	833	93	11	126	35	28	4.2	0.2	5
	Binder	P.Chico	398	47	12	149	16	11	6.8	0.3	5
	Carpeta	P.Chico	259	27	10	186	31	17	9.2	0.3	4
12,240-12,540 Pista 2,3	Subrasante	P.Grande	652	249	38	145	46	32	---	---	---
	Binder	P. Grande	378	42	11	136	15	11	4.3	0.2	6

6 COMENTARIOS FINALES Y PASOS A SEGUIR EN LA INVESTIGACIÓN

La medición de la capacidad estructural y funcional en las distintas capas que conforman el pavimento durante el proceso constructivo se presenta como una alternativa a los ensayos tradicionales para mejorar la calidad de la construcción. En base a la revisión bibliográfica efectuada nos damos cuenta de la factibilidad de implementarlas en Chile, teniendo presente que existen diversas metodologías para la implementación y es necesario desarrollar una metodología adecuada en función de nuestras necesidades.

Actualmente, este proyecto sigue en ejecución, continúan las mediciones y en forma paralela la revisión bibliográfica respectiva. En cuanto a las celdas o tramos que aún hacen falta para completar el factorial de casos propuesto, se buscará incorporar nuevos contratos con la Dirección de Vialidad.

Con los resultados obtenidos de las deflexiones y del proceso de retroanálisis se realizará un análisis estadístico exhaustivo y conceptual de cuáles son los parámetros representativos para la estructura del pavimento y los umbrales asociados, considerando las distintas variables de diseño.

Como parte de la definición de umbrales se analizará la aplicación de conceptos estadísticos de homogeneidad y control de calidad para los parámetros seleccionados que caracterizan la estructura del pavimento (deflexión, módulo resiliente, número estructural, etc.)

Dentro de las líneas de investigación, y en la búsqueda de definición de umbrales, se realizará una comparación entre resultados teóricos de deflexiones mediante modelos multicapas elásticos con los obtenidos in-situ, tal como se viene realizando en otros países (principalmente España). El objetivo es poder incorporar umbrales a estructuras no consideradas en el estudio.

También es importante relacionar las mediciones efectuadas con los cambios de capacidad de soporte que puede sufrir la estructura debido a los efectos de cambio de humedad. Para esto se han programado las nuevas mediciones en el Tramo de Prueba para distintas condiciones climáticas.

Como un complemento de la investigación se analizará si existen relaciones de los ensayos de deflectometría con los ensayos tradicionales de control, como por ejemplo, el nivel de compactación.

Con las actividades propuestas en el plan de trabajo se esperan obtener los siguientes resultados:

- Dar las bases para la implementación de metodologías complementarias para el control de calidad de la construcción y recepción de pavimentos.
- Emitir recomendaciones técnicas para realizar el control de calidad con las tecnologías propuestas en base a los trabajos realizados en terreno sobre los pavimentos en construcción proporcionados por el MOP.

7 BIBLIOGRAFIA

- [AASHTO, 1993] AASHTO (1993), **Guide for Design of Pavement Structures**, Washington D.C., USA
- [Ali and Koshla, 1987] Ali N. And Koshla P. (1987), **Determination of Layer Moduli Using a Falling Weight Deflectometer** Transportation Research Record N° 1117 Washington D.C, pp. 1-10
- [ASTM, 2000] American Society for Testing Materials (2000), **Annual Book of ASTM Standards**, Section 4, vol. 04-03, Road and Paving Materials, USA
- [Bockelmann, 2000] Bockelmann, C. (2000), **Experiencias del Falling Weight Deflectometer (FWD) Empleado para el Control de Construcción de las Diferentes Capas de un Pavimento**, documento presentado en l XXXI Reunión del Asfalto, Córdoba, Argentina
- [Collop, 2001] Collop A. et al (2000), **Assessing Variability of In Situ Pavement Material Stiffness Moduli**, Journal of Transportation Engineering, Vol. 127 N°1, ASCE
- [Crespo del Río 1999] Crespo del Río, (1999) **Calidad Ante la Rodadura**, documento presentado en las Jornadas Sobre la Calidad en el Proyecto y Construcción de Carreteras, Barcelona, España.
- [Livneh, 2001] Livneh, M. (2001) **Use of Falling Weight Deflectometer and Light Drop Weight for Quality Assessment During Road Formation and Foundation Construction**, Practical Paper 01-0106, Transportation Research Record, Washington D.C
- [MOP, 1986] Ministerio de Obras Públicas (1986), **Especificaciones y Métodos de Muestreo**, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Chile
- [MOP, 1997] Ministerio de Obras Públicas (1997), **Especificaciones Técnicas Generales. Manual de Carreteras**, Volumen 5, Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Chile.
- [Rohde, 1994] Rohde, G. (1994), **Determinig Pavement Structural Number for FWD Testing**, Transportation Research Record N° 1448, pp 61-98
- [Ruel, 1998] Ruel, A. (1998), **Metodología Para la Elaboración del Informe Final del Programa A.D.A.R. Para Control de Obras en Ejecución**, I Congreso Andaluz de Carreteras, España.
- [Sánchez, 2001] Sánchez B.(2001), **Auscultación en Carreteras – Características Superficiales**, documento preparado para las Jornadas Chileno Españolas del Asfalto, Chile
- [Shell, 1978] Shell (1978), **Shell Pavement Design Manual**, Shell International Petroleum Company Limited, England
- [Tremblay, 1999] Tremblay, G. (1999), **Spécifications d’uni et traitement des données d’IRI**, Bulletin d’information Technique, Ministère des Transports du Québec, Canadá.
- [Swanlund, 2000] Swanlund, M (2000) **Enhancing Pavement Smoothness**, Public Roads, Volume 64, No. 2. Federal Highway Administration, Washington D.C.
- [Zaghloul, 1996a] Zaghloul S. and Seed N. (1996) **The use of FWD in Asphalt Pavement Construction**, ASTM Comitee D-4 on Road and Paving Materials pp. 66-81, USA
- [Zaghloul, 1996b] Zaghloul S. (1996) **Benefits of Constructing Smoother Pavements**, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 65, pp747-770
- [Zaghloul, 2000] Zaghloul, S.and Elfino, M (2000) **End-Result Specifications for Warranted Asphalt Pavements** Transportation Research Record 1730, Paper N°00-0495, pp. 177-186