

**AUSCULTACIÓN EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS.
MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD COMO PARÁMETRO DETERMINADOR DEL
RESULTADO DE LA CONSERVACIÓN**

MAURICIO PRADENA MIQUEL, Ingeniero Civil
mauprade@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo presenta un estudio de uno de los parámetros más relevantes de un camino no pavimentado, la rugosidad, debido a la incidencia en los costos de un camino, específicamente los costos de operación de éste, además de la percepción directa que de ella tienen los usuarios.

Se realizan levantamientos topográficos a distintos caminos para asociar rugosidades a características de estos; se invierten recursos en dominio de rugosímetro MIS II; se realizan mediciones para identificar rugosidades, medir objetivamente comportamientos de los caminos, como reaccionan estos ante las acciones de conservación, etc.

Todo esto para crear un respaldo empírico para el planteamiento de una nueva forma de contratar la conservación a través de medición de la rugosidad.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación

La conservación en Chile para el caso particular de los caminos sin pavimento no contempla, cuantitativamente, el nivel de servicio entregado a los usuarios, sino más bien las obras realizadas obedecen a una estimación basada en la experiencia de los profesionales encargados de la conservación, además, que se limitan las acciones de conservación a aquellas que sean físicamente medibles, para poder fiscalizarlas.

Ante la extensión de la red vial no pavimentada, y la consabida escasez de los recursos, es necesario mejorar, el actual sistema de conservación de estos caminos, poniendo énfasis en el nivel de servicio alcanzado con la acción de conservación, la cuál está directamente asociada al confort percibido por el usuario, ahorro de tiempo y a los costos de operación de los vehículos que circulan, y que constituye un gran porcentaje del costo total del camino.

Se han realizado estudios que apuntan hacia una conservación en caminos sin pavimento mediante el control de la rugosidad (WOLF, PRADENA 2002), es decir que las acciones de conservación se orienten con el fin de entregar un nivel de servicio adecuado para el usuario del camino (dentro de las limitantes de los recursos). Uno de los factores que influyen en el nivel de servicio entregado es el confort en el manejo, este se relaciona con la rugosidad que presenta el

camino. La rugosidad puede ser cuantificada, a través del IRI, Índice de Rugosidad Internacional. En cada camino o sector de éste existirá un IRI óptimo el cual lograr al conservar. Este, se obtiene al comparar y seleccionar el mayor beneficio social neto alcanzado con distintas acciones de conservación considerando la restricción presupuestaria.

1.2 Motivación

Para llevar a cabo una conservación en caminos sin pavimento mediante el control de la rugosidad, es necesario plantear un sistema de pago. Para esto se debe cuantificar las acciones de conservación que tienen mayor relevancia en la obtención de una rugosidad específica. Esto se debe realizar para caminos con diferentes características (TMDA, granulometría, geometría, etc). Lo anterior debe unirse al uso de una herramienta teórica que permita la evaluación, como un proyecto de redes no pavimentadas, de dichas acciones de conservación. Sólo así se tendrá el complemento que permita el planteamiento de una nueva forma de contratar la conservación.

Lo que se pretende es entregar todo el respaldo empírico para realizar dicha proposición, esto es determinar la rugosidad de los caminos, la influencia de las acciones de conservación, cuantificar como varían estas según las diferentes características de los caminos, determinar el equipo adecuado para la medición de rugosidad en caminos no pavimentados, proponer un procedimiento para la determinación de la rugosidad, etc.

1.3 Hipótesis de trabajo

La rugosidad puede ser cuantificada para caminos no pavimentados a través de equipos adecuados y siguiendo un procedimiento establecido.

2. DESARROLLO

2.1 Metodología de trabajo

Se eligen caminos principalmente en estudio, según características de geometría, tráfico, zona climática, granulometría, etc, sin perjuicio de mediciones efectuadas en otros caminos, se realizan levantamientos topográficos a estos caminos para asociar rugosidades a características de estos; se invierten recursos en dominio de rugosímetro MIS II; estudio de validez de resultados de rugosímetro; se realizan mediciones para identificar rugosidades, medir objetivamente comportamientos de los caminos, respuestas a acciones de conservaciones, etc, en particular orientado a lo presentado en este punto.

La idea es crear datos de referencia para posteriormente contrastar resultados en terreno con los teóricos, principalmente, rugosidad (de la cual no existían adecuadas mediciones) y las formas de obtenerla, por lo cual se realiza primero un “planteamiento de escenario” en este sentido, y a partir de esto se avanza en esta contratación. Es así como se observa la influencia en el corto

plazo, ahí, en terreno de las acciones efectuadas en los caminos para su conservación, y en el mediano plazo.

A partir de esto se puede respaldar la proposición de procedimiento de medición y pago de la conservación mediante la medición de la rugosidad.

2.2 Índice de rugosidad internacional (IRI)

La rugosidad puede definirse como las variaciones de altura de un camino, en relación a una referencia absolutamente lisa, que provoca vibraciones en un vehículo como consecuencia del movimiento relativo entre el chasis y el sistema de suspensión.

Las unidades de medida de la rugosidad corresponden al cociente entre unidades lineales. El numerador señala la acumulación de las irregularidades superficiales del camino en una trayectoria dada, a la vez que el denominador indica la longitud del tramo considerado.

Con el propósito de usar una escala de rugosidad en caminos común a todos los estudios y proyectos a través del mundo, equipos de investigación de Brasil, Francia, Bélgica, Inglaterra y E.E.U.U. acordaron en el congreso IRRE (International Road Roughness Experiment) celebrado en Brasilia en 1982, un índice llamado IRI (International Roughness Index).

Este parámetro es fundamental, ya que cuantifica la rugosidad, la cual va asociada directamente con los costos de operación de los usuarios, se mide en m/km.

El modelo teórico para el cálculo del IRI, consiste en un conjunto de masas que se mueven en forma vertical al avanzar por el camino y sus irregularidades. Los valores de las constantes de muelles, masas y amortiguadores son estándar. Así se llega a la definición de las variables Z_1 y Z_3 , que son lo que en el método de la Ecuación de Estado se define como "variables de estado", y que son los incrementos de desplazamientos de las masas inferior y superior respectivamente divididos por el incremento de longitud de carretera recorrida, es decir, la pendiente instantánea del movimiento de las masas, así:

$$IRI = \frac{1}{(1-n)} * \sum (1, n) |Z_3 - Z_1| * i \quad (2.1)$$

2.3.-Equipos para medir la rugosidad en caminos no pavimentados.

La medición del IRI puede realizarse a través de distintos equipos, directamente como por ejemplo, Perfilómetros Portátil, Láser, Óptico; es decir equipos clase 1 en la clasificación del Banco Mundial ya que miden el perfil del camino y su medición es independiente de la dinámica del vehículo o indirectamente a través de un Rugosímetro NAASRA, Mays Meter o MIS II, debido a que estos dependen de la dinámica del vehículo; sistema de amortiguamiento, características neumáticos, peso del sistema, etc (equipos de respuesta), clase 3 en clasificación Banco Mundial, por lo que requiere calibrarlo a escala IRI.

El equipo a utilizar en esta investigación es el Medidor de Irregularidad Superficial MIS II, que corresponde a un rugosímetro clase 3 en la clasificación del Banco Mundial, es decir sus mediciones dependen de la dinámica del vehículo (suspensión y amortiguamiento). Este es un equipo de última generación cuyo predecesor es el rugosímetro Australiano NAASRA y el MAYS METER, más mecánicos que el actual MIS II.

2.4 Medidor de irregularidad superficial MIS II

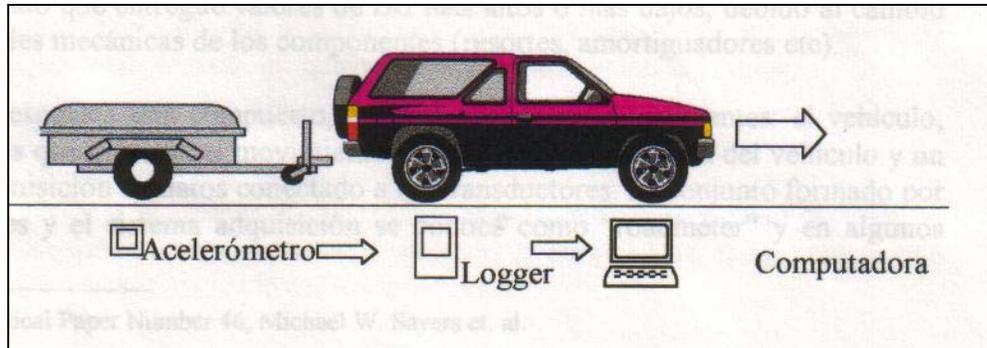


Figura 2.1 : “Proceso de medición de equipo MIS II”

El equipo, consiste básicamente de un acelerómetro y un odómetro, instalados sobre un carro de arrastre provisto de amortiguadores y suspensión adecuados. Las mediciones se realizarán a una velocidad constante y normalizada de 30 Km/hora. La información registrada por el equipo móvil, es almacenada por la interfaz (logger), luego se traspara la información del logger a la computadora para ser procesada y se aplica el software que modela las ecuaciones del IRI (índice de Regularidad Internacional), en (m/Km), con respecto a la aceleración medida en la distancia recorrida por el vehículo.

Un modelo físico o mecánico, como su nombre lo indica, esta constituido por un equipo físico, sobre la base de cuya respuesta, se correlacionan los parámetros necesarios para la determinación del IRI, esto se lleva a cabo con la cuenta o traducción del desplazamiento acumulado por la suspensión en movimiento, o con la detección de las aceleraciones sufridas por un sensor sobre el carro durante el recorrido. La principal característica del MIS II, es que relaciona directamente la aceleración medida por el equipo, con el índice de Regularidad, lo que se consigue con la ayuda del software implementado. La correlación entre la respuesta de aceleración en un tramo con el IRI es normalmente una recta:

$$IRI = A * x + B \quad \text{en que} \quad x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n |Aci|}}{n} \quad (2.2)$$

A,B,: Constantes de calibración

Aci = lectura i de Aceleración instantánea

n = número de lecturas de aceleración en el tramo a medir.

Siempre se debe estandarizar el vehículo o sus lecturas, diferentes medidores deben obtener idénticos resultados. La base del problema es que las propiedades del vehículo de respuesta cambian con el tiempo. El comportamiento del sistema tipo respuesta depende de las características dinámicas de este, lo que necesariamente implica tener que calibrarlo para mantener la contabilidad. La calibración tiene corta estabilidad en el tiempo, mediciones realizadas hoy con un sistema, no tienen comparación con otro realizado hace años atrás.

Con este objeto se debe disponer de Canchas de Calibración, que corresponden a pavimentos de características conocidas, con el fin de encontrar el factor de calibración. Esta cancha, como se dijo, debe tener valores establecidos de IRI, los que en lo posible habrán sido obtenidos con un perfilómetro láser, evitándose así la recursividad del error producto de los equipos mecánicos.

2.4.1 Repetibilidad MIS II

Por error de repetibilidad entenderemos las diferencias en los resultados entregados por el equipo, es decir este error es la máxima diferencia encontrada entre dos mediciones a un mismo punto.

Para calcularlo se realizó un estudio que consistió básicamente en mediciones simultáneas a una pista definida con anterioridad y luego determinar las máximas diferencias entre estas distintas mediciones. Es importante determinar la repetibilidad en un instante de tiempo, y luego determinarla cada cierto tiempo, debido a los cambios en las propiedades mecánicas del vehículo. Cada equipo de respuesta tendrá su propia repetibilidad, la cual es necesario conocer.

2.4.2 Verificación de validez de resultados

Se realizan una serie de mediciones sobre un tramo de referencia, medido anteriormente con el equipo calibrado. Se debe verificar que el valor medido no difiera del valor de referencia en más allá del rango de la repetibilidad. Si esto ocurriera debe realizarse una nueva calibración.

Para determinar la validez de los resultados en el tiempo, se eligió una cancha de verificación. La cancha elegida fue la Ruta de la Madera en el sector km 14-16, debido a que presenta una cierta estabilidad de la rugosidad en el tiempo y adecuados niveles de rugosidad para este fin.

2.4.3 Calibración

Se consideraron diferentes canchas en distinto estado, desde Hormigón y Asfalto en excelente estado, hasta Hormigón muy dañado, de 400, 500, y 600 m. Se procedió, primeramente a pasar con el instrumento patrón por cada una de las canchas cuatro veces, y luego se determinó la media de éstas y este quedó finalmente como la medición del instrumento en dicha cancha, este procedimiento se efectuó para cada una de las canchas con ambos equipos, para luego por medio de un análisis de regresión encontrar la ecuación de calibración del MIS III, que transforma las medidas de éste a escala IRI. Este procedimiento fue realizado con el perfilómetro Two Laser Profiler (TLP), certificado por Laboratorio Nacional de Vialidad.

2.5 Resultados MIS II

2.5.1 Repetibilidad

Por error de repetibilidad entenderemos las diferencias en los resultados entregados por el equipo, al medir un mismo punto. Este error dependerá de la distancia a la cual se calcula el IRI, siendo menor para una mayor distancia debido a la compensación de este. El error de repetibilidad para este equipo es 0,2 IRI para medidas cada 500 m (válido para el periodo en que se realizó esta investigación).

Se considera un error adecuado al equipo y acorde con los resultados que se esperan conseguir de esta investigación, considerando que los perfilómetros manejan un error aproximado de 0,1 IRI para 100 m.

El análisis se encuentra en APÉNDICE 4.1.

2.5.2 Auscultación de los caminos en estudio

El estudio es general para caminos no pavimentados, más particularmente enfocado a los caminos de la región, pero extrapolable a caminos de otras zonas del país con los ajustes necesarios, por lo tanto, en particular se trabajó con caminos elegidos porque contienen las características más representativas de los caminos regionales, sin perjuicio de la consideración de otros dentro del desarrollo de la investigación (PRADENA 2001). Estos son caminos por una parte curvos y con pendientes, y otros más planos y rectos, en zonas climáticas distintas, en unos la precipitación es mayor que en otros, con distintos estados de saneamiento, materiales con características diferentes (IP, CBR, Desgaste), diferentes TMDA, y se encuentran relativamente cercanos para facilitar el trabajo de toma de datos, y ambos están enmarcados dentro de contratos de Conservación Global, lo que asegura un buen balizaje y la realización de las actividades de conservación que eran necesarias para el desarrollo de la investigación (PRADENA 2001).

Los caminos considerados en este estudio son por una parte Copiulemu- Florida por puente Dadi (68E-554) con una extensión de 18.4 km perteneciente a la red comunal secundaria y los caminos pertenecientes a la red comunal primaria Antigualla-Cañete por Licauquén con 20 km, Licauquen-Paicaví por Ponotro con 21.3 km. y Peleco-Paicaví con 13 km , los cuales forman una red.

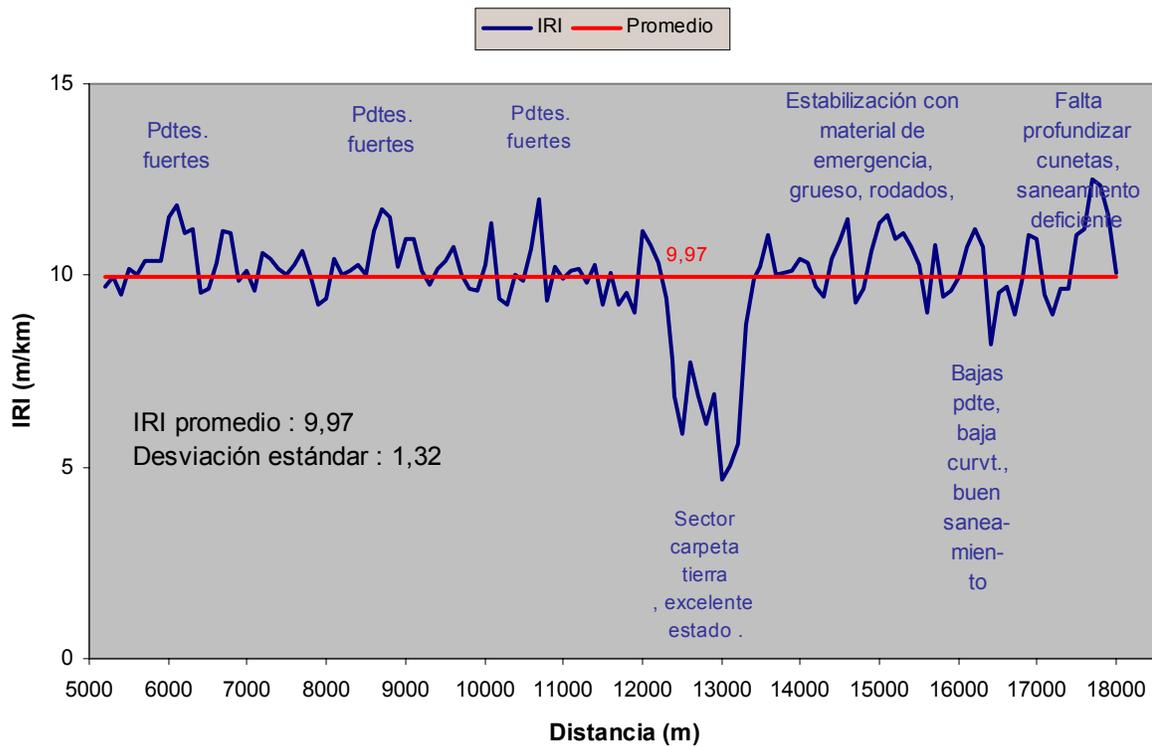
En beneficio del tiempo y los recursos, se procedió a trabajar principalmente con dos caminos, Antigualla Cañete por Licauquén y Copiulemu Florida por puente Dadi, con un TMDA de 120 y 140 veh/día respectivamente, mayormente en este último por sus características, las cuales se aprecian claramente en el resultado de la auscultación. Sin perjuicio de esto, se realizaron mediciones en otros caminos.

A continuación se presentan los gráficos distancia vs IRI para ambos caminos.

Se realizó auscultación de algunas variables, como la rugosidad (entre 08/01/2001 y 15/01/2001), muestras de granulometrías (carpeta y subrasante), levantamiento topográfico con datos de pendientes, curvatura, anchos calzada, saneamiento, roce, etc.

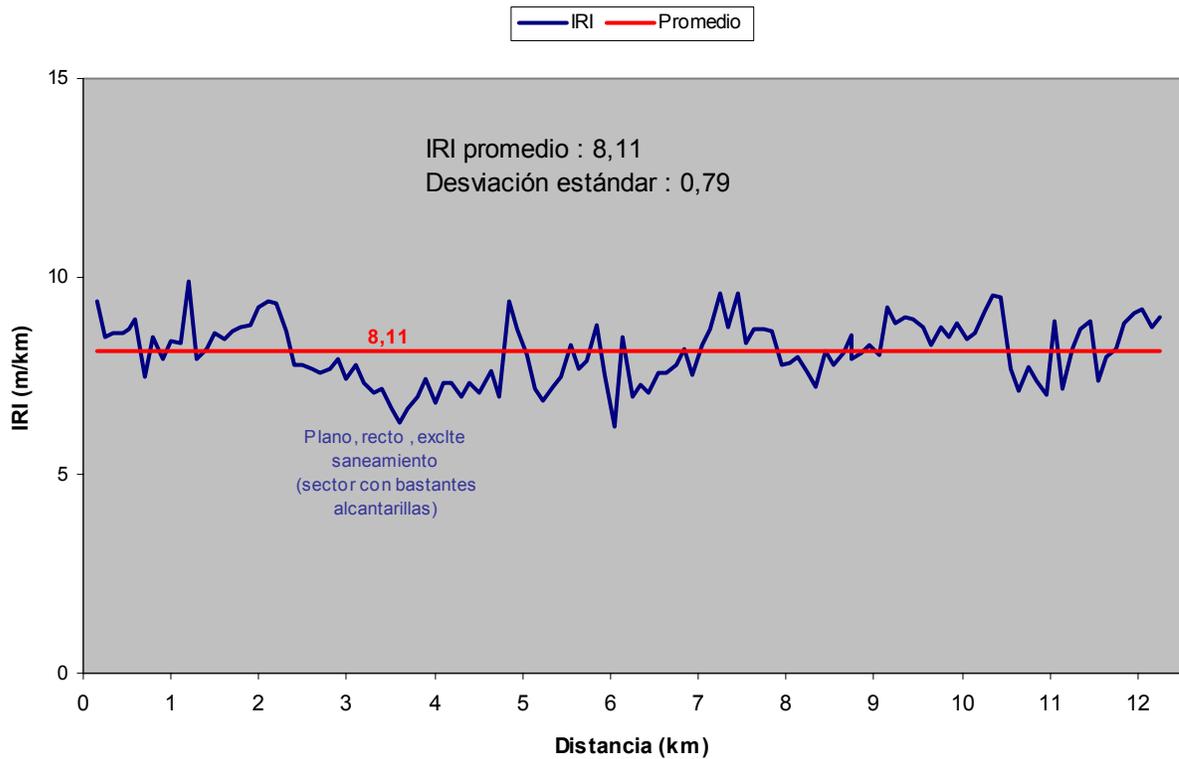
En la figura se aprecia como afectan distintos factores del camino al IRI, observando que las variaciones de este obedecen a cambios en el saneamiento, tipo material, geometría, etc. Esta figura entrega la medición objetiva de estos fenómenos.

Fig 2.2
Auscultación Copiulemu Florida por puente Dadi



Camino con bastantes pendientes, curvatura, en general buen estado de saneamiento, regular roce, variaciones en la rugosidad. El promedio es elevado al comparar con el otro camino presentado (Antiguala Cañete por Licauquen) debido a las características de ambos, además la desviación estándar es mayor. Se observa la influencia de distintos factores en la rugosidad como las pendientes (6000, 9000, 11000 m), estabilización con material de emergencia (14500-16000 m) y saneamiento deficiente (17500 m) produciendo un aumento del IRI. El sector de tierra (12000-13500 m) tiene un excelente comportamiento en la época que se realizó la auscultación, carente de precipitaciones. También factores como bajas pendientes, baja curvatura y buen saneamiento inciden en una baja rugosidad (16200-16900).

Fig 5.2
Auscultación Antigualla Cañete por Licaucién

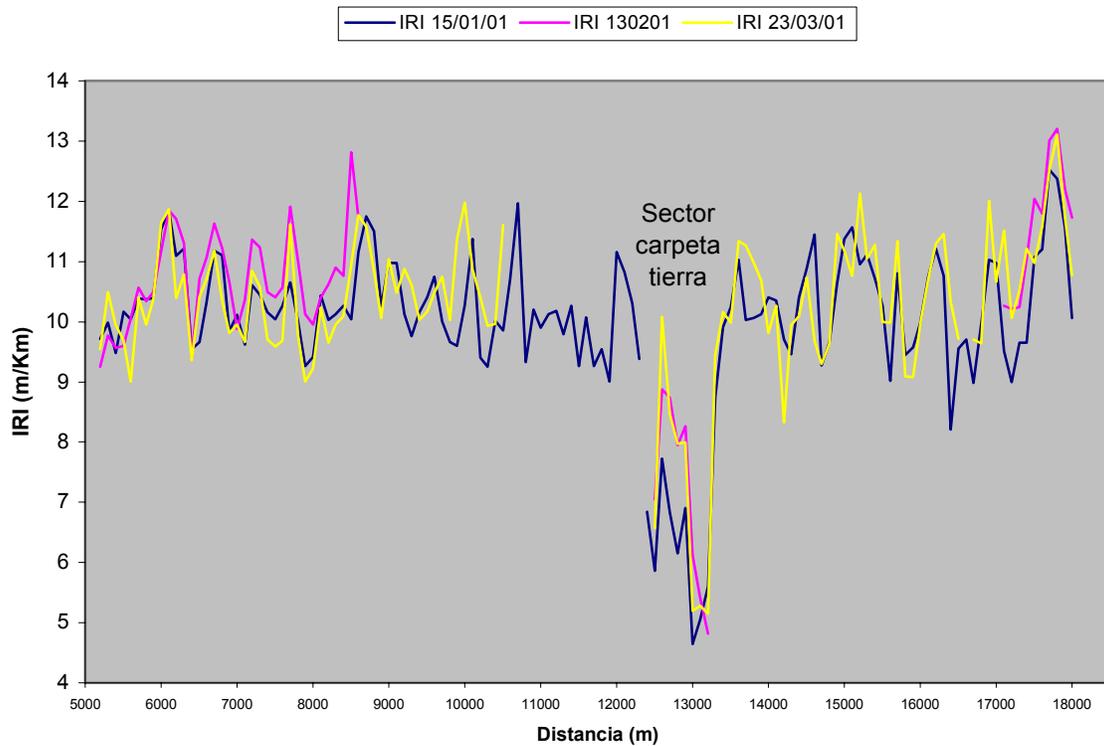


Camino mayormente plano, baja curvatura, en general buen estado de saneamiento, buen roce, buen estado de rugosidad, sin grandes variaciones de ésta como lo indica la desviación estándar. El promedio es menor que el camino anterior esto debido a las características de ambos. Se observa la influencia de distintos factores en la baja rugosidad como bajas pendientes, baja curvatura, excelente saneamiento y buen drenaje (2,3-4,9 km).

2.5.3 Evolución de rugosidad para distintas granulometrías

Se realizó este estudio con el objeto de observar la evolución en el tiempo de la rugosidad para caminos con diferentes granulometrías.

Fig. 5.3
Evolución de rugosidad para carpetas con distintas granulometrías

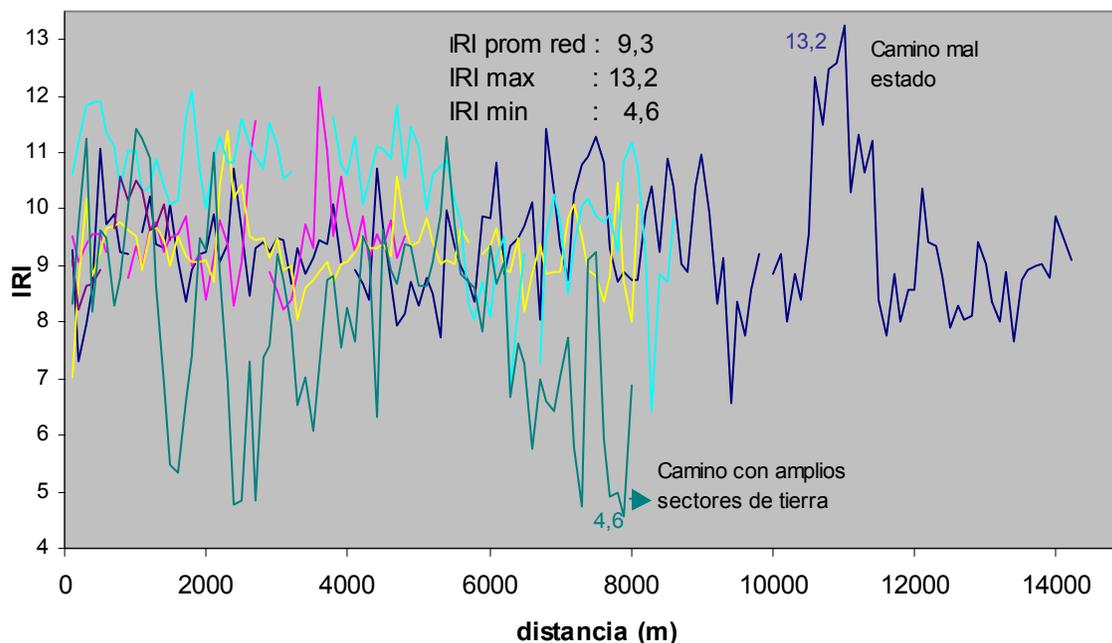


Se aprecia un leve aumento de rugosidad, en aproximadamente 3 meses, en la carpeta de ripio, en general poco concluyente ya que esta dentro del rango de repetibilidad del equipo. En el sector con tierra, se aprecia un aumento entre el 15/01/2001 y el 13/02/2001, aproximadamente un mes, concluyente, mayor que repetibilidad del equipo. Ahora entre la última fecha y el 23/03/2001, aproximadamente un mes, no existe una variación concluyente. Como tendencia se puede observar cierta mantención de la rugosidad en el tiempo, pero esto no pasa mas allá de una tendencia, por lo tanto es necesario seguir observando la evolución.

2.5.4 Auscultación red no pavimentada provincia de Concepción

En este punto se presenta una auscultación de los caminos no pavimentados de la provincia de Concepción. Se muestran los rangos de rugosidades existentes y las rugosidades promedios.

Figura 5.5
Auscultación red no pavimentada provincia de Concepción.



Esta figura muestra el promedio de IRI para una red, también los valores extremos, el IRI máximo asociado a un camino en mal estado y el IRI mínimo producto del material fino componente de la carpeta, que presenta un buen comportamiento en la época en que se realizó esta auscultación, carente de precipitaciones.

2.6 Proposición para toma de datos de rugosidad. Procedimiento de toma de datos en terreno con MIS II y recomendaciones

Con el objeto de normalizar la toma de datos de rugosidad en terreno en los Contratos controlados mediante la rugosidad, se propone la siguiente metodología:

Esta auscultación se efectuará a lo menos una vez durante el mes anterior al de la fecha del estado de pago, el momento de realizar la primera medición será determinado de acuerdo a un procedimiento que asegure transparencia, objetividad, seguridad y representatividad, en este procedimiento además se determinarán los plazos para realizar esta medición, estará claramente definido en las bases del contrato. El organismo fiscalizador, podrá efectuar más de una medición, en el momento que estime conveniente, las que en ese caso se promediarán. Cada medición corresponderá a una lectura en cada sentido (ver justificación en APÉNDICE 4.2) y su promedio respectivo, esta se realizará a 40 cm del borde de la berma (lo cual asegura una

medición por los mismos sectores independiente del operador, y el fin) , independiente del ancho del camino, manteniendo constante esta distancia durante todo el recorrido a auscultar.

El cálculo de IRI se realizará cada 500 m, comenzando desde el km 0, (según lo observado durante esta investigación, se considera que es una distancia adecuada para el equipo, en cuanto a resultados confiables (ver repetibilidad en resultados MIS II), y que demuestra con detalle acorde a las superficies a medir y manejo de información adecuado) , se calculará el promedio final (considerando ambos sentidos), y la desviación estándar asociada (considerando ambos sentidos) al total del camino auscultado, incluyendo los puentes, la cual será la información a considerar para el cálculo de la fórmula de pago. La menor distancia que puede medirse es de 1 km,. Excepcionalmente se considera medir 500 m, caso en el que deberá medirse dos veces, y promediar (por efectos de error total de repetibilidad,.)

En el caso de que mediciones se encuentren fuera del rango de velocidad de toma de datos del equipo, la medición seguirá siendo aceptable para efectos de pago, si por lo menos el 75% de las mediciones son válidas por cada medición (cada sentido) sacando del cálculo del promedio estas medidas fuera del rango de velocidades del rugosímetro (este valor se propone de acuerdo al comportamiento observado y medido en los caminos, pudiendo modificarse por el organismo fiscalizador de acuerdo al desarrollo de los contratos), a menos que el organismo fiscalizador considere que los puntos no validos deben ser incluidos ya que requieren de medición para verificar su real estado, por ejemplo, sector visiblemente deteriorado.

Es necesario considerar la repetibilidad del equipo, cualquiera sea este, y su variación en el tiempo, para considerar verdaderas las conclusiones y no producto del error asociado al equipo utilizado. Es decir, diferencias mayores a la repetibilidad pueden considerarse concluyentes.

Otro punto importante es el rendimiento del equipo, para MIS II actualmente se estima en 600 km/mes , con las mejoras a las deficiencias encontradas en la presente investigación, consideradas en la fabricación de un nuevo rugosímetro, este rendimiento debería alcanzar el orden de los 800 a 1000 km.

En particular, como tomar una medición con MIS II, recomendaciones para la toma de datos de terreno con este equipo, experiencia lograda en el desarrollo de esta investigación y datos útiles para el funcionamiento de cualquier equipo medidor de rugosidad se encuentra en APÉNDICE 4.3.

3.-CONCLUSIONES

Los factores que influyen con una marcada tendencia en el estado de la carpeta de rodado, son generales para todo el camino como geometría, TMDA, y mas puntuales como estado del saneamiento y drenaje, Esto se comprobó, mediante la medición de la rugosidad. Así, generalmente caminos con mayores pendientes y curvatura tienen rugosidades mayores que aquellos mas planos y rectos, además puntualmente aumenta la rugosidad en saneamiento deficiente y mal drenaje.

Para los caminos no pavimentados de la provincia de Concepción el IRI máximo medido resultó 13.2 m/km, el mínimo 4.6 m/km, y el promedio 9.3 m/km; atribuible a factores como caminos con menor atención y buen comportamiento de materiales finos en época con escasas precipitaciones, que es cuando se efectuó la medición. Se determinó los rangos de rugosidades existentes en esta red, lo que permitió asociar la inversión global realizada con los resultados reales obtenidos, información valiosa desde el punto de vista de la planificación. Esta medición nos entrega los valores extremos de rugosidad existentes en la red.

No es posible validar mediciones a velocidades diferentes a la especificada para el equipo (30 km/hr) debido a que las ecuaciones encontradas dependen del material existente en el lugar y de las condiciones particulares, muy variables en caminos no pavimentados. Se concluyó, eso si que esto es posible para caminos pavimentados.

Se determinó el rendimiento del equipo medidor de rugosidad MIS II, 600 km/mes, los inconvenientes a mejorar en la próxima versión, y como tomar mediciones de rugosidad concluyentes.

Con la cuantificación, por medio del IRI, de los comportamientos y estados de diferentes carpetas de rodado, se logró identificar los factores que en ella influyen. La importancia de esto radica en que se vuelve medible en terreno, en la realidad de lo que se quiere conservar, algo dejado, hasta aquí, en manos de una planificación de gabinete basada en el uso de herramientas teóricas y en la experiencia de los profesionales involucrados en la conservación de los caminos.

En esta investigación se estableció una base técnica para el control de la rugosidad en los contratos por medición de la rugosidad, así como para efectuar mediciones de rugosidad con otros fines mediante una proposición de toma de datos de rugosidad. Se concluye sobre como realizar mediciones en terreno, entregando resultados claros y objetivos, además de un procedimiento para la toma de datos con este equipo (MIS II) y con cualquier rugosímetro, vertiendo la experiencia adquirida en el desarrollo de la presente investigación.

4. APÉNDICE

4.1.Cálculo de repetibilidad MIS II

Este error dependerá de la distancia a la cual se calcula el IRI, siendo menor para una mayor distancia debido a la compensación de este, por ejemplo el error será mayor si se pide IRI cada 100 m, que cada 500 m.

Es calculado según la siguiente forma.

$$\text{Error final} = \frac{Re}{\sqrt{n}} \quad (4.1)$$

Con

Re : error de repetibilidad para la distancia a la cual se calcula el IRI.

n : número de mediciones

La forma de proceder ante el aumento de este error en el tiempo, es definir el límite admisible para los fines propuestos, una vez traspasado este límite, es necesario realizar una nueva calibración.

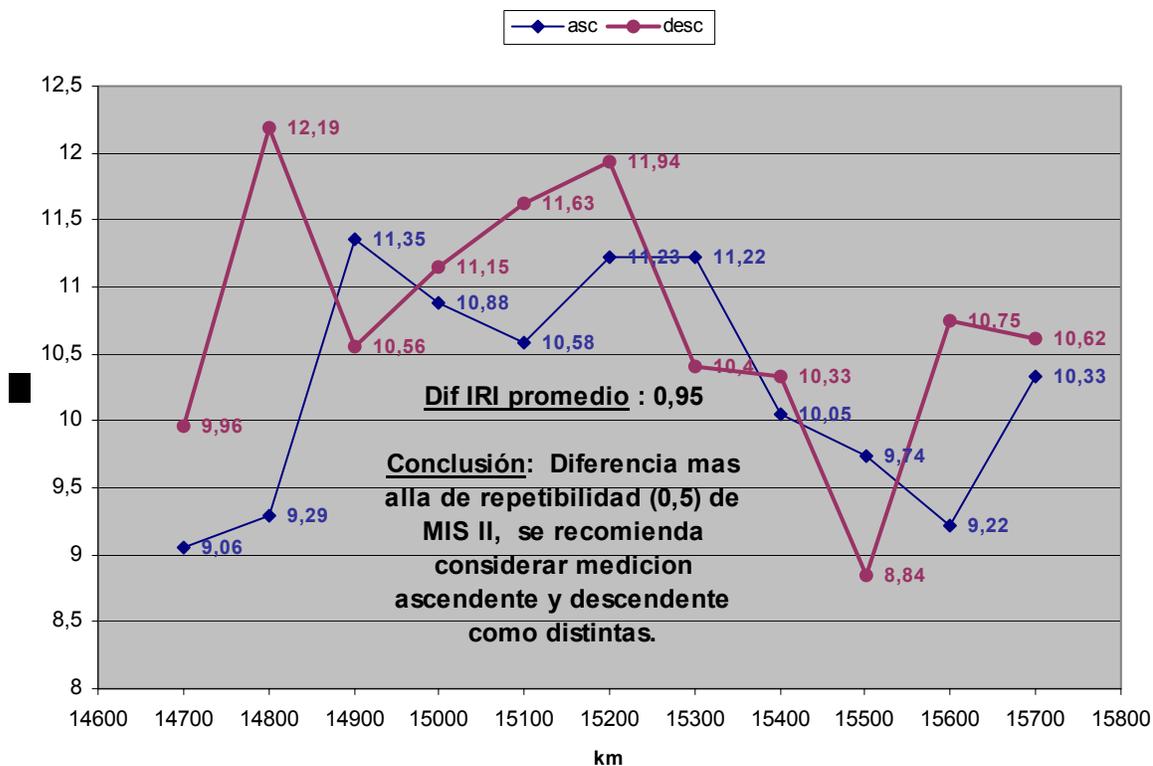
Para el cálculo de la repetibilidad de MIS II, al 12/02/2001, se procedió a realizar cinco mediciones en cancha de ruta de la madera, al resultado, en VE, valor estadístico, (que es el resultado entregado por el equipo, recordemos que luego, por medio de una ecuación se traspasa a IRI), se le calcula la desviación estándar, luego se multiplica por dos, y se elige el máximo, siendo este el error de repetibilidad, en VE, que luego es traspasado a IRI, por medio de la ecuación de calibración del equipo.

4.2. Medición del mismo punto en forma ascendente y descendente

Se realizaron mediciones en forma ascendente y descendente por el mismo sector para determinar si es necesario considerar las mediciones como diferentes.

Fig 4.1.

Comparación medición ascendente y descendente sector rugoso.



4.3 Dificultades, recomendaciones y conclusiones de la toma de datos de terreno con MIS II

4.3.1 Metodología para la toma de datos

Se realizan las mediciones cada 3,5 km aproximadamente (capacidad efectiva actual del equipo), manteniendo, dentro de lo posible, la velocidad especificada de 30 km/hr, al completar esta distancia, se procesa la información (para identificar posibles errores), se obtiene el IRI, luego se realiza la siguiente medición, alcanzando la velocidad especificada en el punto en que termino la anterior. Así se continúa hasta medir todo el tramo.

4.3.2 Mediciones a velocidad diferente a la especificada.

Como se menciona anteriormente la velocidad de adquisición de datos es de 30 km/hr. Se realizó un estudio para ver la factibilidad de validar mediciones a velocidades diferentes a la especificada. La conclusión de ese estudio es que no es posible, ya que las ecuaciones encontradas dependen del material existente en el lugar y de las condiciones particulares del camino, muy variables en caminos no pavimentados, por lo tanto las mediciones deben ser a la velocidad especificada, manejando un rango entre 28-30 km/h. Para caminos pavimentados la tendencia marcada es que si es posible realizar esta validación con ecuaciones del tipo.

$$IRI_{30}=0,5219*IRI_{25}+ 1,9089 \quad (4.2)$$

En esta ecuación se muestra la correlación entre un IRI tomado a la velocidad de 25 km/hr, llevado a la velocidad especificada. Se propone seguir estudiando el tema, debido a que no es el objetivo de la presente investigación.

4.3.3 Rendimiento rugosímetro

Otro punto importante es el rendimiento del equipo, el cual actualmente se estima en 600 km/mes (*), y que con las mejoras a los puntos considerados anteriormente subiría a 700 a 800 km/mes. Con esta información, y considerando una red no pavimentada en la Región de aproximadamente 1200 km, se necesitarían dos equipos MIS II, para realizar el control.

(*) Se consideran 20 días útiles de trabajo al mes con personal adecuado (camioneta, chofer, operador equipo), 10 días para mantenimiento y reparación, con un promedio de 6 h diarias de operación, 30 km/día de rendimiento.

5. REFERENCIAS.

INDEX (1999) Medidor de Irregularidad Superficial (MISII). Folleto instructivo. Santiago. Chile

INDEX (2000) Calibración MIS II. Documento interno Dirección de Vialidad. Santiago. Chile

MOP. DV (1991) Catalogo de Conservación de Caminos. Departamento de Conservación. Subdepartamento de Planificación de la Conservación. Santiago. Chile

NAASRA (1981) Standard operating instructions for the NAASRA roughness meter and guide for the present serviceability rating of road pavements. Sidney. Australia

Pradena, M., (2001) Análisis de rugosidad en caminos no pavimentados, Memoria de Título, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción.

Sayers, M. Gillespie, T. Paterson, W. (1986) Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. World Bank Technical Paper Number 46. Washington DC. USA