

UNIVERSIDAD DEL BIOBIO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Dr. Sergio Vargas T.

**“EFECTO DEL TAMAÑO Y
ESPACIAMIENTO DE LA UNIDAD
MUESTRAL EN LA INSPECCIÓN VISUAL DE
PAVIMENTOS DE HORMIGÓN”**

PROYECTO DE TÍTULO PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS REQUISITOS PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ANTONIO SOTO DINAMARCA

CONCEPCIÓN, 2015

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Objetivo.....	1
1.2.1 Objetivo General.....	1
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Metodología.....	2
1.3.1 Revisión Bibliográfica.....	3
1.3.2 Diseño Experimental.....	3
1.3.3 Recolección de Datos.....	3
1.3.4 Análisis de Datos.....	3
CAPITULO 2. ESTUDIO DE ANTECEDENTES.....	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Tipos de Muestreo.....	4
2.3 Conceptos de Inspección Visual.....	4
2.3.1 Unidad de Muestreo.....	5
2.3.2 Principales Deterioros.....	6
CAPITULO 3. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	8
3.1 Introducción.....	8
3.2 Variables Explicativas.....	8
3.3 Diseño Matriz Factorial.....	9
3.4 Tamaño Muestral del Experimento.....	9
3.5 Matriz Factorial Definitiva.....	10
3.6 Selección de Tramos de Prueba.....	11
CAPITULO 4. METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE LOS DATOS.....	12
4.1 Introducción.....	12

4.2	Inspección Visual de Tramos.	12
4.2.1	Auscultación Patrón.....	12
4.2.2	Auscultación por Escenario.....	13
4.3	Recolección de Tiempos por Escenarios de Muestreo.....	14
CAPITULO 5. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....		16
5.1	Introducción.....	16
5.2	Descripción de la Recolección de Datos.....	16
5.2.1	Auscultación Patrón.....	16
5.2.2	Auscultación Cronometrada.....	17
5.3	Análisis de Datos de Deterioros.....	17
5.3.1	Análisis de Independencia entre Espaciamiento y Unidad Muestral.....	19
5.3.2	Análisis según Estado del Pavimento.....	20
5.3.3	Análisis Según Espaciamiento.....	21
5.3.4	Análisis Según Tamaño de la Unidad Muestral.....	23
5.4	Estudio de Tiempo de Inspección.....	23
5.4.1	Análisis de Tiempo de Inspección Según Espaciamiento.....	24
5.4.2	Análisis de Tiempo de Inspección Según Tamaño de Unidad Muestral.....	25
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		26
REFERENCIAS.....		29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de la Investigación.....	2
Figura 2. Grafico Número de Auscultaciones V/S Potencia Estadística.....	10
Figura 3. Esquema de Recolección de Datos.....	12
Figura 4. Esquema de Recolección de Datos.....	15
Figura 5. Ejemplos de Tramos Seleccionados.....	16
Figura 6. Auscultación SHRP.....	17
Figura 7. Estado de Pavimento v/s valor-p para Grieta Longitudinal.....	20
Figura 8. Diagrama de Gráfico de Caja.....	21
Figura 9. Gráfico de Caja, Espaciamiento v/s valor-p Grieta Longitudinal.....	22
Figura 10. Gráfico de Caja, Unidad Muestral v/s valor-p Grieta Longitudinal.....	23
Figura 11. Gráfico de Caja, Espaciamiento v/s Tiempo de Medición.....	24
Figura 12. Gráfico de Caja, Unidad Muestral v/s Tiempo de Medición.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tamaño y Espaciamiento de la U.M. para Pavimentos de Hormigón (Concha, 2001).....	6
Tabla 2. Resumen de Fallas en Pavimentos de Hormigón Consideradas en Cada Método (Concha, 2001).....	6
Tabla 3. Descripción de Variables.....	8
Tabla 4. Matriz Factorial Definitiva.....	10
Tabla 5. Tramos Seleccionados para Auscultar.....	11
Tabla 6. Escenarios de Muestreo.....	14
Tabla 7. Tabla Ejemplo de Bases de Datos, Para Grieta Longitudinal y Estado Malo.....	18
Tabla 8. Tabla de Contingencia.....	19
Tabla 9. Test Chi-cuadrado Para Independencia; Espaciamiento v/s Tamaño Muestral.....	20

EFFECTO DEL TAMAÑO Y ESPACIAMIENTO DE LA UNIDAD MUESTRAL EN LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN.

Autor: Antonio Soto Dinamarca.

Departamento de ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: aasoto@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Sergio Vargas Tejeda

Departamento de ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: svargas@ubiobio.cl

Resumen

La inspección visual de pavimentos utiliza métodos sistemáticos y ordenados de levantamiento de información de estado del pavimento, en base a un protocolo previamente definido. Para ello se establecen unidades muestrales (U.M.), las cuales son distribuidas en la zona de auscultación según regla establecida en cada metodología. Dado que cada metodología establece su propio sistema de muestreo, surge la interrogante ¿Qué pasa con la significancia de los datos y con los costos, si el tamaño o el espaciamiento de la unidad muestral varían?

Por lo anterior, en este trabajo se realizó un estudio del efecto del tamaño y espaciamiento de las UM en la significancia y costos de los datos obtenidos. Para ello, se realizó una comparación de una inspección patrón, que considera el levantamiento del 100% del tramo, con inspecciones que consideran distintos escenarios de muestreo, tanto para tamaño como para espaciamiento. Esta comparación fue realizada en 15 tramos de pavimentos de hormigón, separados en estado bueno, regular y malo, lo que completó un total de 270 inspecciones, considerando solo los deterioros referidos al agrietamiento de las losas. Se utilizaron herramientas estadísticas para evaluar la significancia de los datos en cada uno de los escenarios, utilizando el tiempo de inspección como indicador de costo.

Los resultados indicaron que para pavimentos de hormigón, un espaciamiento de 70 m y un tamaño de tres losas para cada U.M. aseguran una buena representatividad de los datos, con un menor tiempo de inspección.

Palabras Claves: Inspección visual de pavimentos, Tamaño de la U.M., Espaciamiento U.M.

5158 Palabras Texto + 22 Figuras/Tablas*250 = 10658 Palabras Totales.

Abstract

Pavements visual inspection uses systematic and orderly methods of gathering information on pavement condition, according to a predefined protocol. To do this sample unites (SU) are established, which are distributed in the auscultation area according rule established by each methodology. Since each methodology establishes its own system of sampling, the question what about the significance of the data and the costs, if the size or spacing of the sampling unit varies? Therefore, in this paper we study the effect of the size and spacing of the SU in the significance and cost of the obtained data. For this purpose, a comparison of a pattern inspection that considers the data collection of 100% of the segments, with inspections sampling considering different scenarios for both, size and spacing was performed. This comparison was carried out in 15 sections of concrete pavements, separated into good, fair and poor condition, which completed a total of 270 inspections, considering only the damage referred to cracking of the slabs. Statistical tools were used to evaluate the significance of the data in each of the scenarios, using the inspection time as a cost indicator.

The results indicated that for concrete floors, a spacing of 70 m and a size of three slabs for each SU ensure good representation of the data, with less inspection time.

Keywords: Pavement visual inspection, SU size, SU Spacing

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Contexto.

En Chile se han desarrollado dos metodologías para la inspección visual de pavimentos, la metodología MINVU (MIDEPLAN, 1992) y la metodología del MOP (MOP, 2003), que consisten en métodos sistemáticos y ordenados de levantamiento de la inspección visual de pavimentos, en base a un protocolo previamente definido. En ellas se establecen unidades muestrales, cuyo tamaño y distribución en la zona de auscultación son propias de cada una de ellas.

A raíz de lo anterior nacen las interrogantes; ¿Qué pasa con la representatividad de los datos y con los costos si el tamaño de la unidad muestral varía?, ¿Qué pasa con la representatividad de los datos y con los costos, si el espaciamiento de la unidad muestral varía?

Concha (2001) desarrolló una metodología de calificación de estado para pavimentos urbanos, la cual fue elaborada en base a 5 métodos de auscultación. En su trabajo analizó las ventajas y desventajas presentes en estas metodologías con respecto a la estructura general y formas de medición; pero no realizó un estudio que determinara el balizado y/o tamaño óptimo de la unidad muestral. En esta metodología se adopta un balizado cada 25 metros, en concordancia con el balizado sugerido en la metodología utilizada por el MINVU a esa fecha.

En consideración a lo anterior, en este trabajo se realizó un análisis de la influencia del espaciamiento y el tamaño de la unidad de muestreo en la inspección visual de pavimentos, en relación a la significancia estadística de los datos y a los costos de llevar a cabo la inspección en terreno. Para este trabajo en particular se han considerado solo pavimentos de hormigón.

1.2 Objetivo.

1.2.1 Objetivo General

- Realizar un estudio de la influencia del tamaño y espaciamiento de la U.M. en la significancia estadística de los datos y el tiempo de la inspección visual de pavimento de hormigón.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Sintetizar las metodologías existentes de inspección visual de pavimentos de hormigón en cuanto a tipos de deterioro, tamaño y espaciamiento de la unidad muestral.
- Diseñar un experimento de terreno para la inspección visual de pavimentos considerando distintas combinaciones de tamaño y espaciamiento de unidades muestrales.
- Recolectar datos de deterioro y de tiempo de recolección, en base al experimento diseñado.
- Analizar los datos recolectados para los distintos escenarios de muestreo en función de la representatividad y del tiempo de cada uno de ellos.
- Determinar la influencia del tamaño y espaciamiento de la UM en la inspección visual de pavimentos de hormigón.

1.3 Metodología.

La metodología de trabajo para el cumplimiento de los objetivo, consideró 4 etapas, y sus correspondientes sub etapas. Al final de cada etapa se definieron hitos de cumplimiento que describen y sintetizan el logro de cada una de ellas. La figura 1 presenta esquemáticamente la metodología utilizada

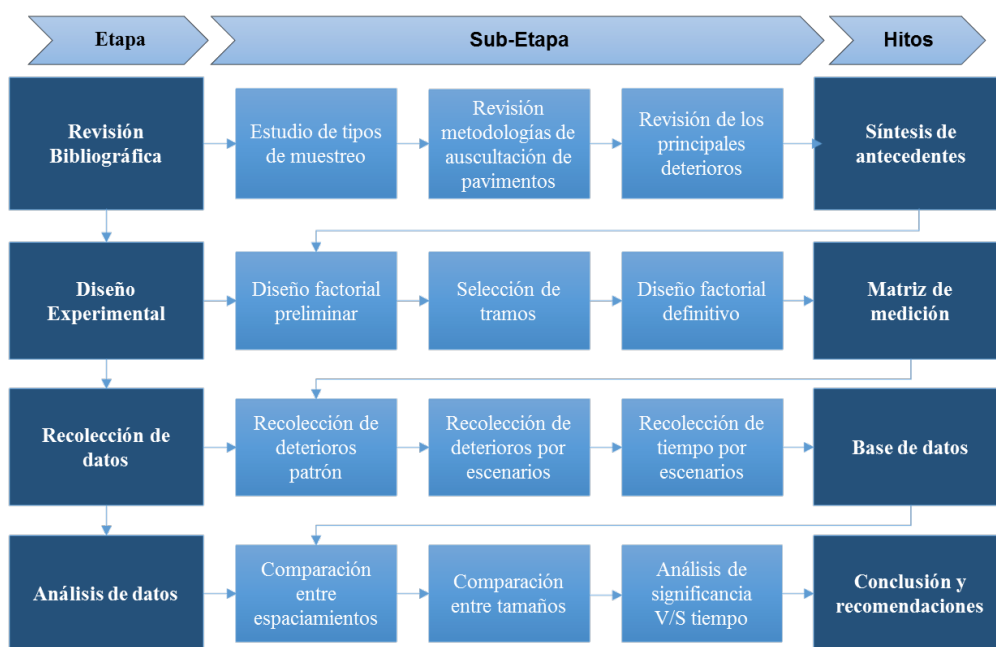


Figura 1. Metodología de la Investigación.

1.3.1 Revisión Bibliográfica

Se estudiaron los conceptos relacionados con unidad de muestreo, metodologías de auscultación de pavimentos de hormigón, y tipo de deterioros característicos que sufren los pavimentos de hormigón. En esta etapa se obtuvo la información base para la realización del trabajo, y se concluyó con una síntesis de los principales elementos del muestreo de campo, en la auscultación de pavimentos de hormigón.

1.3.2 Diseño Experimental

Se realizó el diseño experimental para el análisis de la influencia de la unidad de muestreo en la inspección visual de pavimentos de hormigón. En el desarrollo de esta etapa se realizaron 3 actividades: diseño factorial preliminar, selección de los tramos de auscultación y diseño factorial definitivo. Se concluyó con la obtención de una matriz de escenarios de muestreo que establece el número de tramos, los espaciamientos y los tamaños de la unidad de muestreo para las mediciones de campo.

1.3.3 Recolección de Datos

Se recolectaron los datos de auscultación visual en cada tramo seleccionado. En primer lugar se estableció una inspección patrón mediante metodología SHRP, luego se realizaron las mediciones por escenarios de muestreo (tamaño y espaciamiento), y posteriormente mediciones de tiempo de inspección para cada escenario, y en cada uno de los tramos seleccionados. Esta etapa concluyó con la obtención de una base de datos de deterioros y tiempo de mediciones por tramo y escenarios de muestreos.

1.3.4 Análisis de Datos

En esta etapa se realizó un análisis de los datos, dividido en dos etapas: análisis del comportamiento del tamaño de unidad muestral y el espaciamiento de la unidad muestral respecto de la significancia de los datos. Posteriormente se analizó el tiempo de auscultación para los diferentes tamaños y espaciamiento de la unidad muestral. Esta etapa finalizó con la conclusión respecto de la influencia del tamaño y espaciamiento de la U.M. en la significancia de los datos y los tiempos de medición.

CAPITULO 2. ESTUDIO DE ANTECEDENTES.

2.1 Introducción.

Este capítulo plantea una descripción general de los tipos de muestreos y de las metodologías de inspección visual de pavimentos aplicadas en Chile. Se indican sus principales características y se realiza un análisis comparativo entre las distintas metodologías.

2.2 Tipos de Muestreo.

Existen múltiples técnicas para seleccionar muestras. Debido a ello es importante seleccionar una técnica adecuada para el estudio estadístico, ya que las conclusiones que se obtienen dependen esencialmente de la muestra analizada.

El muestreo se divide en dos grandes grupos, muestreo probabilístico aleatorio en el cual de alguna forma interviene el azar; y el muestreo no probabilístico, el cual no utiliza el azar, sino que criterios del investigador, es decir, el investigador decide si la muestra es o no representativa. De los tipos de muestreo probabilísticos (William G. Cochran, 1988) los más importantes son; el muestreo aleatorio que se puede describir como un tamaño de muestra n de una población de tamaño N de tal manera que cada muestra posible de tamaño N tenga la misma probabilidad de ser seleccionada; el muestreo por conglomerados, que se define como un muestreo aleatorio en la que cada unidad de muestreo es un conjunto, o conglomerados; y el muestreo sistemático que se desarrolla al seleccionar aleatoriamente un elemento de los primeros k elementos de un grupo y después cada k -ésimo elemento.

Las metodologías de inspección visual de pavimentos utilizan principalmente muestreo de tipo sistemático para el levantamiento de información de deterioro de los pavimentos. Esto se debe principalmente a que la mayoría de las inspecciones optan por especificar un tamaño y espaciamiento de muestreo, para evitar el análisis estadístico.

2.3 Conceptos de Inspección Visual.

La inspección visual es una técnica no invasiva que puede ser aplicada en forma manual o mecanizada y que permite identificar y caracterizar los defectos superficiales de un pavimento.

Existen diversas técnicas para abordar la inspección visual, diferenciándose en aspectos como la forma de tomar los datos, los tipos de deterioros, frecuencia de muestreo y calificación de estado. Además la forma de inspeccionar depende del tipo de superficie del pavimento, ya que cada

metodología considera las fallas más recurrentes según el tipo de pavimento. El nivel de detalle que se quiera obtener depende del objetivo trazado ya sea para un proyecto de investigación, un mantenimiento programado o la reparación en si de un tramo.

De las metodologías existentes diseñadas para la inspección visual de pavimentos, las más relevantes en carretera son los métodos del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2003) y el método SHRP de Estados Unidos utilizada a nivel de proyecto (SHRP, 2003). Para el caso urbano, se han realizado adaptaciones de las metodologías aplicadas en caminos interurbanos. En 1992, el Ministerio de Planificación (MIDEPLAN) propuso un método de inspección visual para ser aplicada en estudios de factibilidad la cual fue incorporada por el MINVU (MIDEPLAN, 1992).

Adicionalmente se han desarrollado investigaciones como la de Concha (2001), quien propuso la metodología de inspección visual para el sistema de gestión de pavimentos urbanos SIGMAP, la cual consiste en un proceso de inspección visual destinado a caracterizar y calificar defectos superficiales. Este proceso se separa en cuatro etapas: Codificación, Inventario, Inspección y Generación de informes.

El detalle de cada una de las metodologías mencionadas se puede revisar en el anexo A.

2.3.1 Unidad de Muestreo

La unidad de muestreo en relación a la auscultación de pavimentos, se define como un segmento de la carretera o calle, con una longitud determinada, en donde se realiza la inspección visual. Se identifica mediante un balizado y se localiza cada cierto intervalo, el cual determina la frecuencia de muestreo. El tamaño, número y frecuencia de muestreo requiere de un análisis estadístico basado en un muestreo sistemático, restringiendo el error y el intervalo de confianza, para poder garantizar la representatividad de los datos. Realizar el análisis estadístico es complejo, por lo que en la mayoría de los casos se opta por especificar el tamaño y la frecuencia del muestreo, dependiendo de la metodología de auscultación a utilizar. En Tabla 1, se muestra una síntesis de los criterios utilizados en cada metodología para definir la unidad de muestreo.

Tabla 1. Tamaño y Espaciamiento de la U.M. para Pavimentos de Hormigón (Concha, 2001).

Método	Tamaño UM	Espaciamiento UM
SHRP	100% tramo a Auscultar	N/A
MOP	10 Primeras Losas	Cada 1 Kilometro
MINVU	1 Losa	Cada 25 Metros
SIGMAP	1 Losa	Cada 25 Metros Caso general y Cada 40 Metros Juntas desfasadas

2.3.2 Principales Deterioros

Las metodologías mencionadas anteriormente presentan variaciones respecto a los deterioros que miden, a la forma de medición y a las dimensiones de las muestras, entre otras características. Los diferentes deterioros se agrupan en familias dependiendo de su origen o dependiendo de la manifestación de estos mismos. Estas agrupaciones, se emplean para formulación de escalas de severidad. Tabla 2 presenta un resumen de los deterioros considerados en cada metodología de auscultación, antes mencionadas, para pavimentos de Hormigón.

Tabla 2. Resumen de Fallas en Pavimentos de Hormigón Consideradas en Cada Método (Concha, 2001).

Tipo de falla	Métodos de Auscultación			
	SHRP	MOP	MINVU	SIGMAP
Grieta de esquina	X	x	x	x
Grieta adyacentes	X			
Grieta longitudinal	X	x	x	x
Grieta transversal	X	x	x	x
Grieta oblicuas		x	x	
Sello de juntas longitudinales	X	x		x
Sello de juntas transversales	X	x		x
Desconche			x	
Desconche junta longitudinal	X	x		x
Desconche junta transversal	X	x		x
Mapeo	X			
Peladuras	X			
Pulimiento de agregado	X			x
Agujeros	X			
Levantamiento de borde	X			
Escalonamiento de juntas	X			x
Escalonamiento de grieta transversal	X			
Descenso de berma	X		x	
Separación berma - pavimento	X			
Parches	X		x	x
Baches abiertos		x		x
Bombeo de agua y finos	X	x		
Desgaste			x	x

De las metodologías estudiadas, la metodología SHRP es la más completa ya sea por el tipo de muestreo como por el tipos de deterioros que registra, por lo tanto puede ser considerada como una metodología patrón para la comparación de resultados con el resto de las metodologías.

CAPITULO 3. DISEÑO EXPERIMENTAL.

3.1 Introducción.

En esta sección se describe el diseño experimental desarrollado para definir los escenarios de muestreo en la inspección visual de pavimentos de hormigón. Para ello se identificaron las variables explicativas que definen el muestreo y se construyó una matriz factorial que cuenta con los niveles necesarios para analizar la influencia del tamaño y espaciamiento de la U.M. en la auscultación de deterioros.

Para el diseño experimental se aplicó una metodología de base estadística, para determinar el número de ensayos a realizar.

3.2 Variables Explicativas.

Las variables a considerar en el diseño experimental se clasificaron en dependientes e independientes. A continuación, en la tabla 3 se presenta una descripción de cada variable para la auscultación de pavimentos de hormigón, y los distintos niveles establecidos en cada una de ellas.

Tabla 3. Descripción de Variables.

Variable	Tipo	Descripción
Estado	Dependiente	Bueno: < 20% de deterioro; Regular: 20% <= deterioro <=60% ; Malo: >60% de deterioro.
Espaciamiento	Independiente	Variable numérica. Indica 6 niveles de espaciamientos: 25, 40, 55, 70, 85, 100.
Tamaño de UM	Independientes	Variable Numérica. Indican 3 niveles: 1 losa, 2 losas y 3 losas.
Deterioros	Independientes	Variable categórica. Describe los deterioros del pavimento: grietas esquina, grieta longitudinal, grietas transversales y parches, en sus unidades correspondientes.

El criterio de selección de los niveles de las variables descritas en la tabla anterior fue:

Para la variable estado se preseleccionaron los tramos contando la cantidad de losas con deterioros, priorizando los que en su longitud tuvieran una cantidad homogénea de estos, lo cual se realizó en forma visual y en terreno.

El criterio para designar los 6 niveles de espaciamiento fueron, no tener un espaciamiento mayor a 100 metros esto es para tener como mínimo 2 mediciones por cuadra; que el espaciamiento menor fuese de 25 metros para poder realizar la auscultación de 3 losas como máximo sin que existan superposición de las losas y que los espaciamientos no fueran múltiplos. Es por ello que el incremento del espaciamiento fue de 15 metros.

Los tres niveles de tamaño de U.M. se implementaron bajo el criterio en que un inspector podría auscultar 3 losas como máximo sin tener que desplazarse mayormente.

Para los deterioros seleccionados se consideró que estuviesen incluidos tanto en la metodología SHRP (patrón) como a la SIGMAP (escenarios) y que tuviesen criterios similares en su medición.

3.3 Diseño Matriz Factorial.

En base a las variables descritas anteriormente se diseñó una matriz factorial. La matriz factorial ordena las variables explicativas y permite encontrar el número de ensayos a realizar, en el experimento.

Para el diseño de la matriz factorial se consideraron las siguientes variables:

- Factor A: Estado del pavimentos, con tres niveles: Bueno. Regular y malo.
- Factor B: Espaciamiento de la muestras, Con 6 niveles: E1=25m, E2=40m, E3=55m, E4=70m, E5=85m, E6=100m.
- Factor C: Tamaño muestra, con tres niveles: 1 losa, 2 losas, 3 losas.

Posteriormente fue necesario determinar el mínimo de tramos a medir en cada celda, para luego evaluar la influencia de las variables sobre la medición de deterioros.

3.4 Tamaño Muestral del Experimento.

Para el cálculo del número de auscultaciones se utilizó el método de (Cohen, 1988) el cual define el tamaño muestral mínimo para un experimento multifactorial. Para este caso se consideró un análisis de varianza (ANOVA) el que determina el numero de asucultaciones, para una potencia estadística $(1-\beta)$, precisión (α) y un efecto tamaño de la muestra (f) . (Cohen, 1988)

El número de auscultaciones fue calculado con el software G*POWER considerando las combinaciones de factores de la matriz factorial. Se consideró una potencia estadística $(1-\beta)=0,7$, un nivel de significancia de $\alpha =0,1$, y un efecto tamaño medio de $f= 0,25$, según la convención de Cohen.

En la Figura 2 se detalla los resultados obtenidos.

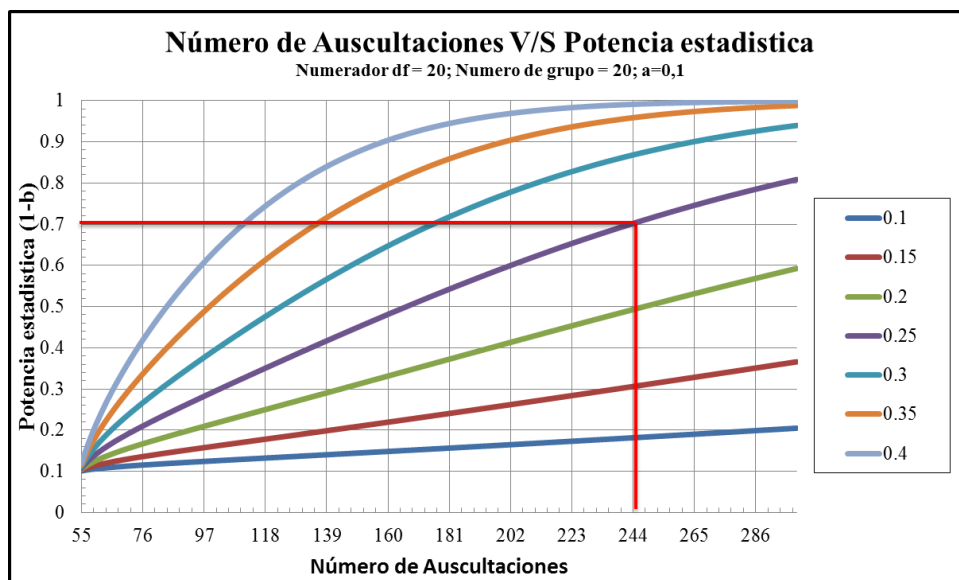


Figura 2. Grafico Número de Auscultaciones V/S Potencia Estadística.

Finalmente el número mínimo de auscultaciones fue de 244 ensayos, divididos en 5 ensayos por celda. Estos ensayos corresponden a tramos de medición de la matriz factorial definida.

3.5 Matriz Factorial Definitiva.

En la tabla 4 se muestra la matriz factorial definitiva de pavimentos de hormigón, considerando un tamaño mínimo de 5 mediciones por celda. Esta significa que en cada celda se inspeccionaron al menos 5 tramos de calzada.

Tabla 4. Matriz Factorial Definitiva.

Espaciamiento	Tamaño Muestra (losas)	Estado del pavimentos		
		Bueno	Regular	Malo
E1	1	5	5	5
	2	5	5	5
	3	5	5	5
E2	1	5	5	5
	2	5	5	5
	3	5	5	5
E3	1	5	5	5
	2	5	5	5
	3	5	5	5
E4	1	5	5	5
	2	5	5	5
	3	5	5	5
E5	1	5	5	5
	2	5	5	5
	3	5	5	5
E6	1	5	5	5
	2	5	5	5
	3	5	5	5

3.6 Selección de Tramos de Prueba.

Los tramos de prueba se refieren a tramos de pista de longitud de 300m de hormigón, separados en estado bueno, regular y malo. Sobre cada uno de ellos se realizó inspección visual con distintos tamaños y espaciamentos de la UM.

La tabla 5 muestra un listado con los tramos considerados.

Tabla 5. Tramos Seleccionados para Auscultar.

Código	Tramo	Estado	% de deterioros.
02	Av. Andalien (inicio: Calle Pedro Mayoral, fin: Pasaje dos sur)	Bueno	0%
03	Alto concepción (Inicio: Nonguen #800, fin: Nonguen #694)	Bueno	10%
05	Av. Pedro de Río Zañartu (Inicio: Calle Temistocle Rojas, Fin: Calle Arancibia)	Bueno	0%
06	Av. Nahuelbuta (Inicio: Condominio Antilco #2580, Fin: Calle Budi)	Bueno	6%
07	Camino al Venado (Inicio: Acceso a laguna, Fin: Alto Penehue).	Bueno	2%
08	Calle Las Heras (Inicio: Calle Caupolicán, Fin: Calle Castellón).	Regular	56%
01	Calle Cochrane (Inicio: Calle Ormpello, Fin: Calle Colo Colo).	Regular	51%
04	Calle Nonguen (Inicio: Calle Lo Pequen, Fin: Calle Nonguen #314).	Regular	39%
14	Calle Bulnes (inicio: Calle Lord Cochrane, Fin: Calle O'Higgins).	Regular	53%
15	Calle Baquedano (Inicio: Calle San Martín, Fin: Calle Blanco encalada).	Regular	42%
09	Calle Anibal Pinto (Inicio: Calle Cruz, Fin Calle Las Heras),	Malo	100%
11	Calle Víctor Lamas (Inicio: Calle Serrano, Fin: Calle Lincoyan).	Malo	98%
12	Calle Salas (Inicio: Calle Vicuña Mackenna, Fin: Calle Jorge Washington).	Malo	93%
10	Calle Anibal Pinto (Inicio: Doctor Carlos Olivares, Fin: Calle Diego de Almagro).	Malo	68%
13	Calle Serrano (Inicio: Calle Maipú, Fin: Bernardo O'Higgins).	Malo	94,5%

CAPITULO 4. METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE LOS DATOS.

4.1 Introducción.

En este capítulo se describe el proceso de recolección de datos de deterioros en terreno, y de obtención de tiempos de inspección por escenarios.

4.2 Inspección Visual de Tramos.

La recolección de datos de auscultación para cada tramo se desarrolló en dos etapas: una auscultación patrón utilizando la metodología SHRP y una auscultación por escenarios de espaciamiento y tamaño muestral, utilizando la metodología SIGMAP. Cada tramo fue inspeccionado 19 veces, 1 inspección patrón y 18 escenarios de muestreo, por lo tanto en cada celda de la matriz se realizaron 95 inspecciones visuales. La figura 3 muestra el esquema de trabajo realizado en terreno.

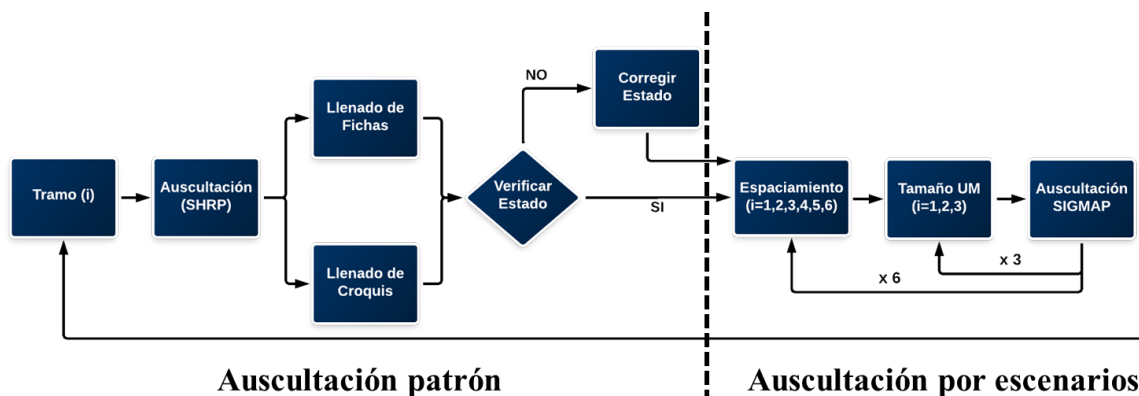


Figura 3. Esquema de Recolección de Datos

4.2.1 Auscultación Patrón.

La auscultación patrón se desarrolló utilizando la metodología SHRP debido a que recomienda una inspección del 100% de la longitud de tramo. La auscultación patrón se desarrolló en 3 etapas.

La primera etapa se refiere a la selección de tramos, la segunda etapa consiste en la capacitación y selección de personal, la tercera etapa corresponde a la recolección de datos en terreno.

a) Selección de Tramos:

La cantidad de auscultaciones fue obtenida como resultado del diseño experimental, el cual indicó que se necesitan 15 auscultaciones de 300 metros de longitud, 5 auscultaciones en estado

malo, 5 auscultaciones en estado regular y 5 auscultaciones en estado bueno, para cada escenario de muestreo.

Los tramos seleccionados se presentan en el capítulo anterior.

b) Capacitación de Personal.

El personal de la inspección fue capacitado previamente en la ejecución del procedimiento y en la identificación de los deterioros en cada tramo de pavimento.

Se formaron equipos de trabajo de 2 personas donde uno estuvo a cargo del llenado de los croquis y el otro del balizado. El responsable a cargo del llenado del croquis fue el de mayor experticia en la identificación de los deterioros, debido a que es necesario un adecuado manejo de la simbología de los deterioros.

c) Recolección de datos.

En esta etapa se utilizó como procedimiento la metodología SHRP. Para ello se utilizó el croquis propuesto por la metodología registrando los siguientes deterioros: grieta esquina, grieta longitudinal, grieta transversal y parche.

Posteriormente se llenó el cuadro resumen de cada auscultación. Los datos recopilados en croquis y fichas resumen, se encuentran en el anexo B.

Las calles fueron auscultadas con un flujo vehicular constante. Es por ello que fue necesario que el personal que realizó las inspecciones contara con implementos de seguridad básico: chaleco reflectante, antiparras, y conos para demarcación. Para el llenado del croquis fue necesario que los inspectores utilizaran: huinchas, pintura, cámara fotográfica y croquis de inspección.

4.2.2 Auscultación por Escenario.

La auscultación por escenarios de muestreo se desarrolló utilizando la metodología de inspección visual del sistema SIGMAP. Para el llenado de las fichas de esta metodología se utilizó como base los datos de la auscultación patrón. Los datos obtenidos para cada escenario se presentan en las fichas de registro en anexo C.

El número de escenarios auscultados fueron los indicados por el diseño experimental. Estos se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Escenarios de Muestreo.

Espaciamiento	Tamaño muestra (N° de losas)	Estado del pavimentos		
		Bueno	Regular	Malo
Cada 25 metros.	1 losa	5	5	5
	2 losa	5	5	5
	3 losa	5	5	5
Cada 40 metros.	1 losa	5	5	5
	2 losa	5	5	5
	3 losa	5	5	5
Cada 55 metros.	1 losa	5	5	5
	2 losa	5	5	5
	3 losa	5	5	5
Cada 70 metros	1 losa	5	5	5
	2 losa	5	5	5
	3 losa	5	5	5
Cada 85 metros.	1 losa	5	5	5
	2 losa	5	5	5
	3 losa	5	5	5
Cada 100 metros.	1 losa	5	5	5
	2 losa	5	5	5
	3 losa	5	5	5

Se realizó en total de 270 inspecciones visuales, considerando 6 espaciamientos, 3 tamaños de UM, 3 estados y 5 repeticiones por estado.

4.3 Recolección de Tiempos por Escenarios de Muestreo.

Para la recolección de tiempos por escenarios se seleccionaron 3 tramos de 300 metros cada uno para auscultar y registrar tiempos. Estos fueron escogidos utilizando como criterio que fuesen homogéneos en cuanto a deterioros en la longitud del tramo, lo cual fue verificado de forma visual. Los tramos fueron distintos a los ya antes seleccionados, debido que los inspectores que realizaron las mediciones cronometradas fueron capacitados utilizando los 15 tramos de auscultación patrón y se consideró que de esta forma no se influencia los resultados obtenidos en las mediciones de tiempo, con la experiencia que obtuvo el inspector al auscultar los tramos. Los datos que se recopilaron se presentan en fichas de registro en anexo D.

Los tramos seleccionados para el desarrollo de esta etapa fueron los siguientes:

- Calle Lincoyán entre calle San Martín y calle Víctor Lamas. Tiempo 1.
- Calle Víctor Lama entre calle Lincoyán y calle Aníbal Pinto. Tiempo 2.
- Calle Tucapel entre calle Manuel Rodríguez y calle Brasil Tiempo 3.

Las auscultaciones se realizaron aplicando la metodología de Concha, en la figura 4 muestra el esquema de trabajo realizado en terreno.

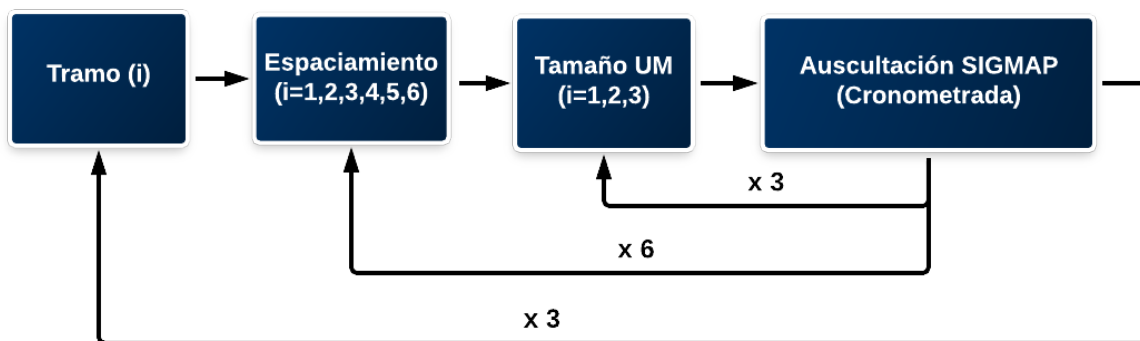


Figura 4. Esquema de Recolección de Datos

En cada tramo seleccionado se realizaron 18 mediciones correspondientes a 18 escenarios de muestreo (6 espaciamientos y 3 tamaños).

CAPITULO 5. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

5.1 Introducción.

En este capítulo se describe la faena de recolección de datos para la auscultación patrón, por escenarios y mediciones de tiempo, además se desarrolló un análisis de la influencia del tamaño y espaciamiento de la UM en la significancia de los datos recolectados. También se presenta un análisis de los tiempos de inspección para los distintos escenarios considerados.

5.2 Descripción de la Recolección de Datos.

5.2.1 Auscultación Patrón

Las Auscultación patrón de los 15 tramos seleccionados se realizaron utilizando la metodología SHRP. Se utilizó la siguiente metodología de trabajo:

a) Selección del Tramo.

Visita a diferentes tramos donde se contó cantidad de losas con deterioro en 300 metros, con la finalidad de identificar tramos homogéneos, y además identificar la variable estado utilizada en el experimento. En la figura 5 muestra fotos de tramos seleccionados.



Figura 5. Ejemplos de Tramos Seleccionados.

b) Auscultación SHRP:

Con una Huincha de 50 metros se balizo y milimetro cada tramo, posteriormente se realizó el llenado del Croquis, la figura 6 muestra un ejemplo.



Figura 6. Auscultación SHRP

Las mediciones se realizaron entre Octubre 2012 y Diciembre 2012, con flujo vehicular constante.

5.2.2 Auscultación Cronometrada.

Las auscultaciones se realizó entre Enero 2013 y Febrero 2013, donde se utilizó la metodología desarrollada por Concha.

En cada tramo seleccionado se realizó 18 auscultaciones, debido a la combinación de 6 espaciamentos y 3 tamaños de unidad muestral, variables descritas en el diseño experimental. Para cada medición se desarrolló la inspección de forma completa, la cual consiste en auscultación con la metodología seleccionada, balizado y cronometrado.

5.3 Análisis de Datos de Deterioros.

Se contrastaron los datos obtenidos de la auscultación patrón, con las mediciones en cada escenario propuesto en el análisis factorial ya indicado anteriormente, respecto de los datos. El objetivo fue verificar si mejoró o empeoró la significancia estadística de los datos respecto de distintos espaciamentos y tamaños U.M. La significancia de la inspección por escenario con la inspección patrón fue medida a través de valor-p según prueba de los signos de Wilcoxon.

El método no paramétrico de Wilcoxon de una muestra, permite comparar los datos obtenidos de las mediciones por escenario con una mediana teórica obtenida de la medición patrón. La prueba de los signos de Wilcoxon de una muestra de la mediana utiliza la siguiente hipótesis prueba:

H0: Mediana=Media hipotética versus

H1: Mediana≠ Media Hipotética.

El valor-p obtenido de la prueba de los signos de Wilcoxon, es un valor de probabilidad, por lo que oscila entre 0 y 1. Así se suele decir, que valores altos de valor-p no rechazan la hipótesis nula H_0 o dicho de forma correcta, no permite rechazar la H_0 . De igual manera valores bajos de valor-p rechazan la hipótesis nula H_0 . En cada test se obtuvo un valor-p, considerando que para un 95% de confianza las mediciones eran iguales si $p > 0.05$. En el caso que se probara que en términos estadísticos los valores encontrados en los escenarios eran igual a los de la inspección patrón se consideró que mientras mayor es el valor-p, mayor es la significancia estadística. La tabla 10 muestra a modo de ejemplo los valor-p (en porcentaje) para el deterioro grieta longitudinal en los 5 tramos de estado malo. Los números (9, 10, 11, 12, 13) indican el código del tramo, el cual es presentado en tabla 7.

Tabla 7. Tabla Ejemplo de Bases de Datos, Para Grieta Longitudinal y Estado Malo.

Espaciamiento	Tamaño muestra (losas)	Tramo				
		9	10	11	12	13
E1	1	45.60%	36.70%	50.50%	29.00%	50.50%
	2	72.40%	96.90%	66.60%	61.00%	90.60%
	3	100.00%	61.00%	41.00%	45.60%	100.00%
E2	1	94.40%	72.60%	0.294	72.60%	36.30%
	2	72.60%	83.40%	0.529	83.40%	36.30%
	3	36.30%	83.40%	94.40%	83.40%	83.40%
E3	1	20.80%	29.50%	40.20%	100.00%	40.20%
	2	29.50%	100.00%	83.40%	14.20%	40.20%
	3	40.20%	83.40%	67.50%	100.00%	83.40%
E4	1	28.10%	78.70%	59.00%	100.00%	28.10%
	2	28.10%	17.80%	59.00%	59.00%	28.10%
	3	28.10%	59.00%	17.80%	100.00%	78.70%
E5	1	10.00%	10.00%	58.40%	100.00%	20.10%
	2	20.10%	10.00%	100.00%	100.00%	85.50%
	3	36.10%	58.40%	85.50%	58.40%	58.40%
E6	1	18.10%	100.00%	18.10%	18.10%	100.00%
	2	78.90%	100.00%	18.10%	18.10%	78.90%
	3	78.90%	100.00%	18.10%	18.10%	42.30%

Para este caso en particular todos los valor-p fueron mayores a 0.05 lo que indicó que todos los escenarios de muestreo entregaron valores significativos respecto de la auscultación patrón. Esto fue repetido para cada deterioro y para cada estado de pavimento. El resumen de los resultados se encuentra en el anexo E.

Una vez obtenidos los valor-p para cada escenario de tamaño, espaciamiento y estado, estos fueron analizados para verificar si existía diferencia significativa entre ellos, se identificó cuáles fueron los escenarios que otorgaron una mayor significancia respecto de la medición patrón.

Se analizaron los valor-p respecto de cada una de las variables explicativas descritas en el experimento. Posteriormente se analizó la dependencia entre las variables tamaño y espaciamiento, y por último se realizó un análisis de tiempo de inspección.

5.3.1 *Análisis de Independencia entre Espaciamiento y Unidad Muestral.*

El análisis de independencia de las variables espaciamiento y tamaño U.M., se realizó mediante tablas de contingencias y aplicando un test de chi-cuadrado.

a) Tabla de Contingencia. Test chi-cuadrado para Independencia.

La tabla de contingencia registró un total $n = 560$ deterioros, para distintos espaciamientos y unidades muestrales consideradas en este trabajo. Para efecto del análisis se agruparon todos los deterioros y se contabilizaron según escenarios de análisis (espaciamientos y tamaño U.M.). Se construyó una tabla de contingencia para cada tramo de análisis (5 regular y 5 malos). Las cuentas o frecuencias de los deterioros se clasifican en la tablas 8 a modo de ejemplo se utilizará la medición Código N°12.

Tabla 8. Tabla de Contingencia.

UM/ESP.	E1	E2	E3	E4	E5	E6	TOTAL
1	42	25	15	12	12	8	114
2	60	39	29	24	18	14	184
3	87	55	38	36	28	18	262
TOTAL	189	119	82	72	58	40	560

En las columnas de la tabla 8 se agrupan todos los deterioros obtenidos en los 3 tamaños muestrales por cada espaciamiento y en las filas se agrupan los deterioros de los espaciamientos por cada tamaño muestral.

Finalmente se desarrolló la prueba de Hipótesis para verificar la independencia de las Variables. Este procedimiento se realizó en los 10 tramos analizados obteniendo el resultado que se muestra en la tabla 9. En anexo F se puede revisar el detalle de test chi-cuadrado.

Tabla 9. Test Chi-cuadrado Para Independencia; Espaciamiento v/s Tamaño Muestral.

Tramo	Estado	Valor X2	Valor teórico (18,3)	
1	Regular	2.6256785	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	Se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
4	Regular	5.36434782	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
8	Regular	1.66460754	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	Se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
14	Regular	2.65687386	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	Se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
15	Regular	2.57910854	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	Se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
9	Malo	0.43941026	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	Se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
10	Malo	2.20822	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
11	Malo	0.64453	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	Se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
12	Malo	1.60302718	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	Se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.
13	Malo	1.05623643	$X^2 < X^2_{(1-\alpha)}$	Se acepta la H0, por lo que se concluye que las dos variables son independientes.

A través de esta tabla resumen se puede concluir que para cada tramo inspeccionado hay independencia entre el espaciamiento y tamaño muestral, debido a que se acepta H0.

5.3.2 Análisis según Estado del Pavimento

Para realizar el análisis según el estado del pavimento, se utilizó un gráfico de densidad de puntos (estado de pavimento v/s valor-p de deterioros). En el eje de la abscisa, el estado del pavimento se dividió en bueno, regular y malo, y en el eje de la ordenada se graficó el valor-p obtenido para cada deterioro registrado. La figura 7 muestra a modo de ejemplo, el gráfico para el caso de las grietas longitudinales.

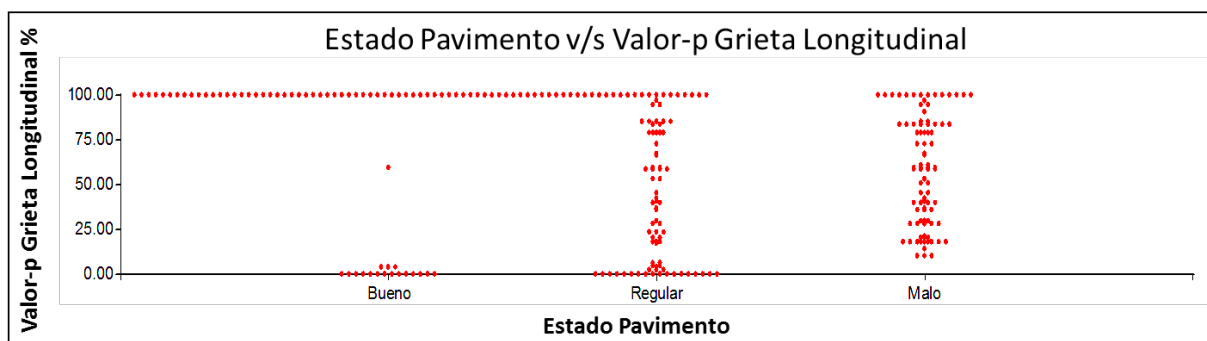


Figura 7. Estado de Pavimento v/s valor-p para Grieta Longitudinal.

Los gráficos de estado del pavimento v/s valor-p fueron desarrollados para los cuatro deterioros registrados: grieta de esquina, grieta longitudinal, grieta transversal y parche, con 270 mediciones obtenidas para todos los tramos. La totalidad de los gráficos se pueden ver en anexo E.

La figura 7, que se utiliza de ejemplo, muestra que en el pavimento de estado bueno hay una mayor densidad de puntos en los extremo, valor-p 100% o valor-p 0%. Esto se debe a que en el

pavimento de estado bueno, hay una baja o nula cantidad de deterioros, por lo que la prueba de Wilcoxon indica total o nula significancia. Por lo anterior para futuros análisis los pavimentos en estado bueno fueron excluidos.

Tanto para el estado regular como para el estado malo, la figura 5 muestra una homogeneidad en la nube de puntos valor-p. Se realizó un test de igualdad de medias para ver la posibilidad de agruparlos. En este caso al comparar el estado bueno con el estado regular y el bueno con el malo se tiene un valor p menor a 0.01%, y al comparar el estado regular con el malo el valor-p es de 11.98%. Por tanto, ambos estados (regular y malo) fueron agrupados para análisis posteriores.

5.3.3 Análisis Según Espaciamiento.

Para valor-p v/s espaciamiento se utilizó un gráfico de caja con el fin de ordenar y visualizar la información obtenida. La figura 8 indica el detalle de la información agrupada para un espaciamiento tipo, donde:

- Li= Límite inferior.
- Q1= Indica el 25% de los datos.
- Q2= Mediana indica el 50% de los datos.
- Q3= Indica el 75% de los datos.
- Q3-Q1= Indica donde se encuentra el 50% de datos.
- Ls= Límite superior.

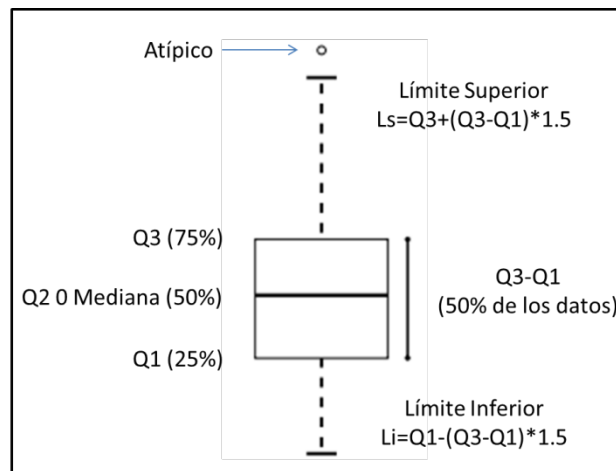


Figura 8. Diagrama de Gráfico de Caja.

Tal como se establece en el diseño experimental, el espaciamiento se dividió en 6 niveles (Nivel 1 = 25mt, Nivel 2 = 40 mt, Nivel 3 = 55 mt, Nivel 4 = 70 mt, Nivel 5 = 85 mt y Nivel 6 = 100

mt). Para cada espaciamiento se graficó el valor-p obtenido según deterioro registrado agrupando los estados regular y malo, y todos los tamaños muestrales.

La figura 9 muestra a modo de ejemplo, el gráfico para grietas longitudinales.

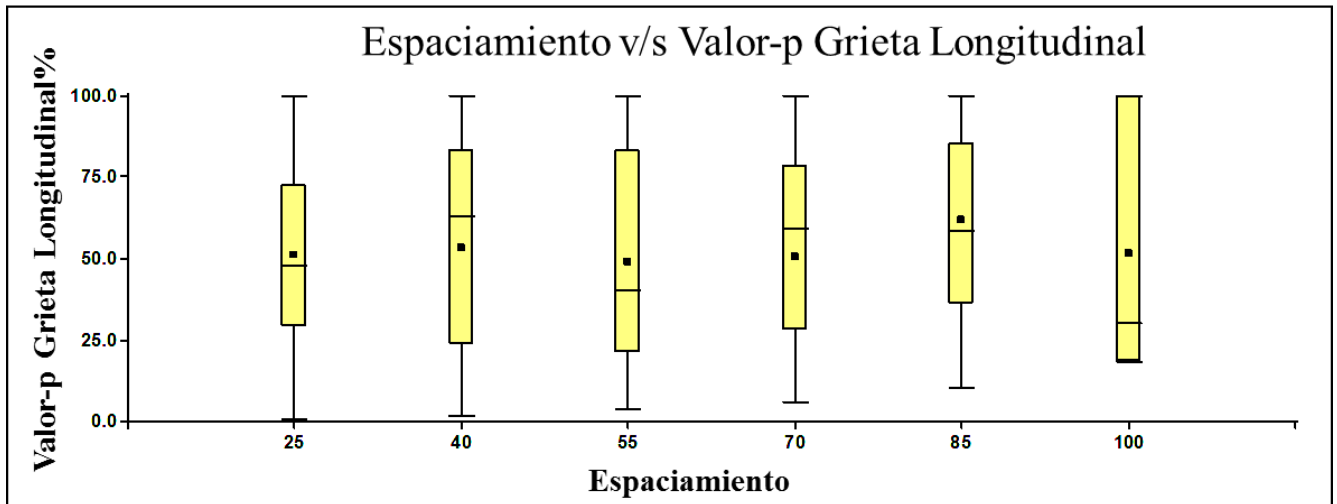


Figura 9. Gráfico de Caja, Espaciamiento v/s valor-p Grieta Longitudinal.

Se analizó el comportamiento del espaciamiento para los cuatros deterioros registrados, grieta de esquina, grieta longitudinal, grieta transversal y parche, en 270 mediciones obtenida de los 15 tramos seleccionados. En anexo E se incluye la totalidad de los gráficos.

La figura 9 que se utiliza de ejemplo, indica que al agrupar la información en los 6 niveles de espaciamiento el 50% de los datos está comprendido con valores de valor-p entre 25% y 75%, lo que indica que para cada espaciamiento, los distintos tamaños de muestreo, tanto para estado regular y malo, arrojaron resultados que en términos estadísticos son iguales a la inspección patrón. Al comparar entre espaciamientos no se visualiza diferencias significativas entre ellos, para verificar lo anterior se realizó un test de Kruskal Wallis, el cual indicó que no existe diferencias significativas en los 6 espaciamientos, por lo que no se puede inferir que al aumentar o disminuir el espaciamiento se obtenga un valor-p más alto o más bajo. De esto se deduce que el espaciamiento no influye en una mayor representatividad de los datos de deterioros, para los estados regular y malo.

5.3.4 Análisis Según Tamaño de la Unidad Muestral.

Para realizar el análisis según tamaño de la unidad muestral ésta se dividió en 3 niveles (Nivel 1 = 1 losa, Nivel 2 = 2 losas, Nivel 3 = 3 losas) de acuerdo al diseño experimental.

La figura 10 muestra, a modo de ejemplo, el gráfico de caja para grieta longitudinal. En cada tamaño de U.M. se ha incluido todos los espaciamientos así como los estados regular y malo.

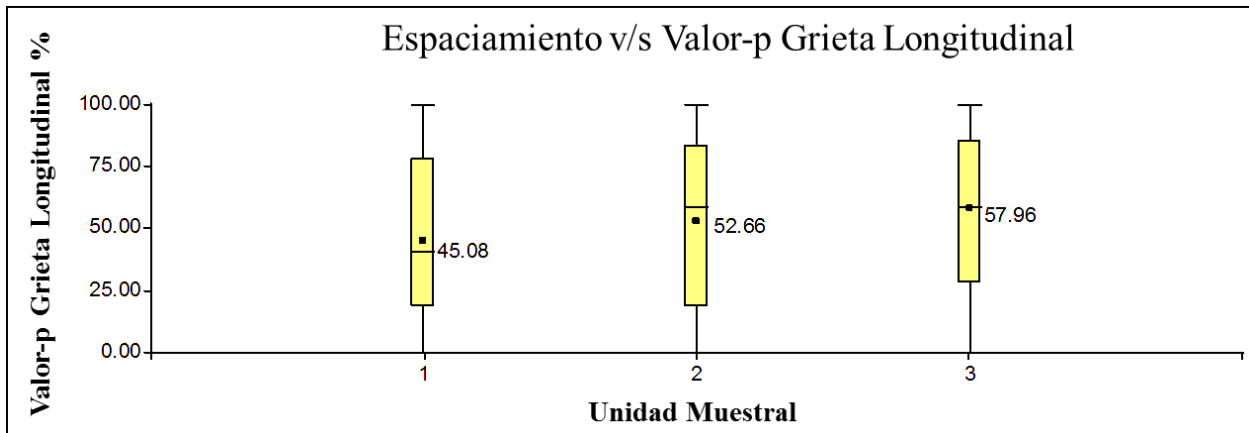


Figura 10. Gráfico de Caja, Unidad Muestral v/s valor-p Grieta Longitudinal.

La figura 10, indica que al agrupar la información en 3 tamaños de la U.M., el 50% de los datos está comprendido con valores de valor-p entre 20% y 80%, lo que indica que para cada unidad muestral, los distintos tamaños de muestreo, tanto para estado regular y malo, arrojaron resultados que en términos estadísticos son iguales a la inspección patrón. Al comparar entre unidades muestrales aumenta el nivel de significancia aproximadamente en un 5% lo cual no es una diferencia significativa entre ellas, para verificar lo anterior se realizó un test de Kruskal Wallis, el cual indicó que no existe diferencias significativas en las 3 unidades muestrales, por lo que no se puede inferir que al aumentar o disminuir la cantidad de unidades muestrales se obtenga un valor-p más alto o más bajo. De esto se deduce que la unidad muestra no influye en una mayor representatividad de los datos de deterioros, para los estados regular y malo.

5.4 Estudio de Tiempo de Inspección.

El estudio de tiempo de inspección se analizó en dos etapas: En la primera etapa se analizó el tiempo de medición cuando varía el espaciamiento, y en la segunda etapa se analizó el tiempo de medición cuando varía el tamaño muestral.

5.4.1 Análisis de Tiempo de Inspección Según Espaciamiento.

Para realizar el análisis de tiempo se utilizó un gráfico de caja (espaciamiento v/s tiempo de medición), y se consideró los espaciamientos definidos en el diseño factorial. En el eje de la ordenada se graficó el tiempo registrado en la inspección de prueba.

Por cada espaciamento se consideró 3 tramos, cada uno de los cuales fue inspeccionado según los 3 tamaños de U.M. definido, por lo tanto por cada espaciamento se tiene 9 datos de tiempo.

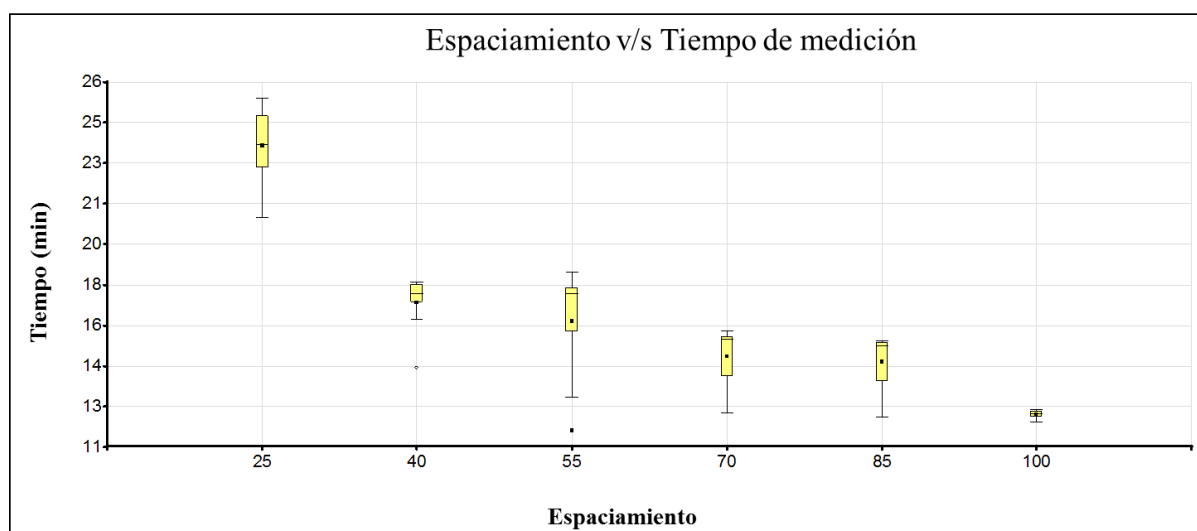


Figura 11. Gráfico de Caja, Espaciamento v/s Tiempo de Medición.

Como se muestra en la figura 11 el registro de tiempo demuestra que al aumentar el tamaño del espaciamento, el tiempo de la medición disminuye. Este comportamiento es debido a:

- Al aumentar el tamaño del espaciamento se inspecciona un menor número de U.M., disminuyendo el tiempo por cada tramo.
- La reducción de tiempo es acelerada para espaciamientos entre 25 y 70 m. En cambio la reducción de tiempo es menor para rangos entre 70 y 100 m
- El tiempo de cada medición es influenciado por el tiempo asociado al balizado y al registro de deterioros en las unidades muestrales, el cual disminuye al aumentar el espaciamento.

5.4.2 Análisis de Tiempo de Inspección Según Tamaño de Unidad Muestral.

Se realizó un análisis de tiempo para distintos tamaños de U.M., agrupando todos los espaciamientos. Se utilizó un gráfico de caja (unidad muestral v/s tiempo de medición) para mostrar los datos.

En la figura 12 se graficó el tamaño de U.M. considerando 3 tramos inspeccionados.

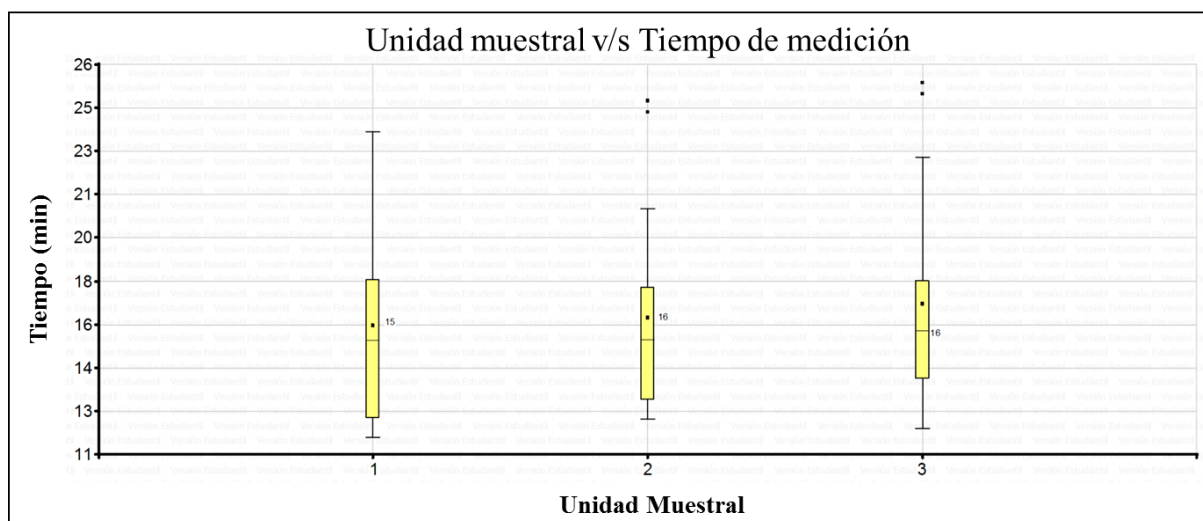


Figura 12. Gráfico de Caja, Unidad Muestral v/s Tiempo de Medición

Como se muestra en la figura 12 al aumentar el número de losas a auscultar por unidad muestral el tiempo de inspección no cambia significativamente. Se realizó una prueba de Kruskal Wallis indicando que para un 95% de confianza los 3 tamaños de unidad muestral tienen un 67,7% de probabilidad que sean iguales.

Este comportamiento se debe a:

- Al aumentar el tamaño de la unidad muestral, en los distintos espaciamientos no afecta al tiempo de registro, ya que el tiempo asociado a medir 1, 2 o 3 losas no es relevante en comparación al tiempo de balizado y desplazamiento entre U.M.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este proyecto se realizó un análisis del efecto del tamaño y espaciamiento de la U.M. en la inspección visual de pavimentos de hormigón, mediante un experimento de campo. Las principales conclusiones del trabajo desarrollado son las siguientes:

- En Chile se aplican 3 metodologías para la inspección visual de pavimentos: los métodos del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2001) y el método SHRP de Estados Unidos (SHRP 1993), en el caso interurbano; y la metodología recomendada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MIDEPLAN, 1992), en el caso urbano.
- Para el caso de pavimentos de hormigón las tres metodologías proponen un sistema de muestreo diferente, tanto en tamaño como en espaciamiento y no justifican lo propuesto respecto de la significancia estadística de los datos.
- De la revisión bibliográfica, no se encontró estudios en Chile que determinaran la real importancia del tamaño y espaciamiento de la U.M., en la significancia de los datos y costos de inspección, por lo que este trabajo es un aporte al estado del conocimiento de nuestro país.
- Al comparar distintas metodologías es importante verificar la compatibilidad de la información obtenida, en cuanto a tipo de deterioro, unidad de medida y forma de medición, de manera de que los datos sean comparables. Además se comparó el método SHRP (inspección patrón) con el método del SIGMAP (inspección por escenarios) en cuanto a agrietamiento, dado que la información era completamente compatible.
- En la definición de los distintos escenarios de auscultación, es importante verificar que el tamaño y espaciamiento de las unidades muestrales no generen combinaciones lineales entre sí, por ejemplo, que un espaciamiento sea la mitad o el doble de otro. Por lo anterior se eligieron espaciamientos que no fueran múltiplos entre sí: 25, 40, 55, 70, 85, 100 m.
- En cuanto al tamaño de las unidades muestrales es relevante definir un tamaño máximo que pueda ser inspeccionado sin un desplazamiento mayor del inspector, y que la UM no se traslape en el caso de espaciamientos pequeños. Por lo anterior los tamaños definidos fueron: 1, 2 y 3 losas.
- En cuanto al trabajo de terreno se destaca la importancia de que el personal esté bien capacitado. Con esto se consigue disminuir el error en las mediciones tanto de auscultación, como de tiempo de registro.

- Si bien en el diseño de la matriz de inspección se consideraron tres estados de pavimento: bueno, regular y malo, en el desarrollo posterior del trabajo no se consideraron los pavimentos en estado bueno, dado que al poseer muy pocos deterioros, el contraste entre la inspección patrón y los distintos escenarios arrojaba total o nula significancia.
- En relación a lo anterior, los estados regular y malo fueron agrupados dado que no se encontró diferencias significativas en el comportamiento de los datos de ambos estados. De esta forma el análisis de significancia de datos y de costo no discrimina entre el estado regular y malo.
- En relación al análisis de los datos de deterioro y de tiempo de inspección, se concluye que:
 - ✓ En base a un análisis de dependencia entre el espaciamiento y el tamaño de la UM se puede concluir las dos variables son totalmente independientes.
 - ✓ Para distintos espaciamientos y un mismo tamaño de UM la significancia de los datos no aumenta ni disminuye de forma considerable.
 - ✓ Al aumentar el tamaño de la U.M., para un mismo espaciamiento, existe un aumento de la significancia de los datos, que no es relevante.
 - ✓ Al aumentar el tamaño del espaciamiento, el costo de la inspección disminuye, producto de una reducción de los tiempos, esto se debe a que a mayor espaciamiento se inspecciona un menor número de U.M., reduciéndose el tiempo del balizado y del registro de deterioros.
 - ✓ La reducción de tiempo no es lineal. por lo contrario, presenta una tasa de reducción acelerada para espaciamientos entre 25 y 70 m., y la reducción de tiempo es menor para espaciamientos entre 70 y 100 m.
 - ✓ Al aumentar el tamaño de la unidad muestral, en los distintos espaciamientos no afecta significativamente al tiempo de inspección, ya que el tiempo de registro asociado a medir 1, 2 o 3 losas no es relevante en comparación al tiempo de balizado y desplazamiento entre U.M.
 - ✓ A la luz de los resultados anteriores, se propone como regla de inspección al pavimento de hormigón, según metodología SIGMAP, considerar un espaciamiento de 70 m y tres losas para cada U.M. ya que esto asegura una buena representatividad de los datos, con un menor tiempo de inspección.

Como recomendaciones posterior al desarrollo de este trabajo se propone lo siguiente:

- Aplicar el experimento a pavimentos de asfalto, utilizando solo pavimentos con estado regular y malo.
- Aumentar el número de tramos a inspeccionar de modo de contar con una base de datos más generosa para los análisis.
- Para un experimento futuro se recomienda medir tiempo de inspección para todos los escenarios, en paralelo al registro de datos de inspección.

REFERENCIAS

MIDEPLAN. “Metodología simplificada de preparación y evaluación de proyectos de mantenimiento vial urbano”. En Inversión Pública, Eficiencia y Equidad. 178 - 188. Departamento de Inversiones. Chile. 1992.

MOP. “Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados a Nivel de Red”. Dirección de Vialidad. Unidad de Gestión Vial. Chile. 2003.

SHRP. “Distress Identification Manual for the Long Term Pavement Performance Program”. FHWA-RD-03-031. Strategic Highway Research Program. Estados Unidos. Junio 2003.

Echaveguren, T., Vargas, S., Concha, E. y Soto, A. (2002). Metodología de inspección visual para sistema de gestión de pavimentos urbanos SIGMAP. 6º Congreso Internacional PROVIAL Chile, Termas de Chillán, Chillán.

Concha, E. (2001) “Metodología de Calificación de Estado para Pavimentos Urbanos”. Memoria de Título. Facultad de Ingeniería. Universidad del Bio Bio.

William G. Cochran. Técnicas de Muestro. México, Compañía Editorial Continental S.A., 1998. (Decima Cuarta Reimpresión).

Schealffer R., Elementos de muestreo, THOMSON 6 EDICION, 2007.

Pérez, C. Técnicas de Muestreo Estadístico. México, Alfoamega Grupo Editor, 2000.

Cohen J.(1988) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd Edición. New York: Academic Press,

Hernán de Solminihaq T. (2001) Gestión de Infraestructura Vial. Ediciones Universidad Católica de Chile.