



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE REGULARIDAD  
INTERNACIONAL Y EL ÍNDICE DEL INVENTARIO DE  
CONDICIÓN DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y  
COMUNICACIONES**

**PRESENTADA POR  
JEAN LOUIS EFRAIN CHEVARRIA BEGAZO**

**ASESOR  
ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2019**



**CC BY-NC-SA**

**Reconocimiento – No comercial – Compartir igual**

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**USMP** | FACULTAD DE  
UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRES | INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE REGULARIDAD  
INTERNACIONAL Y EL ÍNDICE DEL INVENTARIO DE CONDICIÓN  
DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**CHEVARRÍA BEGAZO, JEAN LOUIS EFRAÍN**

**LIMA – PERÚ**

**2019**

## RESUMEN

En esta investigación, se determinó la correlación entre el Índice de Rugosidad Internacional y el índice del Inventario de Condición (IC) del MTC-Perú para evaluar su comparabilidad e intercambiabilidad y los posibles beneficios en la gestión y mantenimiento vial. Se usó el perfilómetro Roadroid y filmadora en tres vías pavimentadas y dos no pavimentadas en localidades de Ica y Cusco. Se determinaron unidades muestrales y se obtuvieron los valores de los índices para cada zona para la que se calculó un coeficiente de correlación  $r$ . La correlación fue débil ( $r=0.2-04$ ) para ambos tipos de vía y se estableció la incomparabilidad de los métodos para vías en muy buen estado o bastante reparadas. Se rechazó la hipótesis de una correlación fuerte y se recomienda la revisión de la fórmula del IC o la separación clara de sus ámbitos de aplicación.

Palabras clave: IRI, inventario de condición, Roadroid, correlación, gestión vial, mantenimiento vial

## **ABSTRACT**

In this investigation, correlation was determined between International Roughness Index and MTC-Peru's Condition Inventory index (IC) to evaluate their comparability and interchangeability and the possible benefits in road management and maintenance. Roadroid perfilometer and a recorder were used in three paved roads and two non-paved road in Ica and Cusco locations. There were sample units determined and results obtained for the indexes at each zone for which a correlation coefficient index was calculated. The correlation was weak ( $r=0.2-0.4$ ) for both road types and it was established the incomparability of the methods for very good condition roads or there heavily repaired. The strong correlation hypothesis was refused and it is recommended the IC formula revision or the clear separation of their application fields.

Keywords: IRI, condition inventory, Roadroid, correlation, road management, road maintenance

## INTRODUCCIÓN

En el país viene creciendo la conciencia y la práctica de la gestión vial promovida por nuevas políticas y asociada al surgimiento de las concesiones viales, asociaciones público-privadas, y contratos de mantenimiento de carreteras.

Los indicadores principales de desempeño en el país son el Índice de Regularidad Internacional IRI, el Pavement Condition Index PCI, y el índice del Inventario de Condición IC del MTC. El primero se emplea para medir la servicialidad o transitabilidad y determina umbrales debajo de los cuales debe mantenerse la vía. Los otros dos se usan para inventariar los daños en las superficies de rodadura y poder planificar las intervenciones.

Sin embargo, los tres son utilizables para ambos fines por cuanto todos mediante enfoques distintos evalúan la condición superficial de una calzada. Por ello se plantea esta investigación para evaluar el grado de relación entre los valores del IRI y el IC.

El objetivo es determinar cuán fuerte es la asociación entre sus resultados para evaluar la comparabilidad e intercambiabilidad entre ellos. Los beneficios posibles van desde la puesta en valor de la información histórica hasta ahorros económicos significativos. Y en caso contrario mostrar la necesidad de reevaluar su aplicación o determinar con claridad sus esferas de uso.

La tesis comprende cinco (5) capítulos. El primero trata sobre el planteamiento del problema, objetivos, justificación y limitaciones. El segundo

aborda los antecedentes, el marco teórico, definición de términos básicos e hipótesis. El tercero incluye el diseño de la investigación, población y muestra, la operacionalización de variables, materiales y equipos empleados y el desarrollo del proceso investigativo. En el cuarto, se exponen resultados en vías pavimentadas, no pavimentadas, y pruebas de significación. Y en el quinto capítulo, se presenta la discusión, validez interna, comparaciones, el contraste de la hipótesis, ensayos adicionales de afinamiento de los resultados y se plantean líneas de investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Situación problemática**

Las carreteras son un elemento primordial de nuestra civilización. Desde su origen han tenido un factor crítico en el crecimiento demográfico y la prosperidad de los pueblos siendo muchas veces un factor determinante.

Mientras mayor sea la interconexión mediante caminos, y mejores condiciones tenga esta infraestructura vial; más ágilmente y en mayor escala se realiza el comercio, la difusión de ideas, el turismo y la interacción humana.

Está bien determinada la relación entre el estado de la capa de rodadura de una vía y los costos operativos para la industria del transporte: períodos entre mantenimientos, repuestos, tiempo de desgaste de las piezas, combustible, etc.

Es conocido que nuestro país presenta un severo déficit de carreteras. La mala gestión, las faltas presupuestales y la marcada complejidad territorial han contribuido a esta escasez; así como el sistema de gestión y los muchos casos de corrupción de funcionarios.



Es una práctica establecida la concesión de carreteras existentes y proyectos nuevos, fundamentalmente en las carreteras nacionales, para mitigar el déficit de inversiones en el sector.

El Registro Nacional de Carreteras, RENAC, órgano del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC), informa al 31 de diciembre de 2014 que el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) de nuestro país está constituido por una red proyectada de 172 034,2 km.

Tabla 1.1: Kilometraje de carreteras nacionales por tipo y categoría

SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS DEL PERÚ - SINAC							
SITUACIÓN ACTUAL							
AL 31/12/2014							
(En Kilómetros)							
RED VIAL DEL SINAC (N° Rutas)	EXISTENTE POR TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA					PROYECTADA	TOTAL
	PAVIMENTADA	NO PAVIMENTADA			SUB TOTAL		
		Afirmada	Sin Afirmar	Trocha			
<b>TOTAL</b>	<b>21 765,9</b>	<b>48 926,0</b>	<b>32 661,0</b>	<b>62 113,7</b>	<b>165 468,6</b>	<b>6 567,6</b>	<b>172 034,2</b>
	13,2%	29,6%	19,7%	37,5%	96,2%	3,8%	100%
<b>NACIONAL (141)</b>	<b>17 411,5</b>	<b>6 060,7</b>	<b>1 053,9</b>	<b>1 262,8</b>	<b>25 788,9</b>	<b>1 761,0</b>	<b>27 549,9</b>
<b>DEPARTAMENTAL (396)</b>	<b>2 429,8</b>	<b>14 381,3</b>	<b>4 477,7</b>	<b>3 723,4</b>	<b>25 012,3</b>	<b>4 123,6</b>	<b>29 135,9</b>
<b>VECINAL (15 906)</b>	<b>1 924,6</b>	<b>28 483,9</b>	<b>27 129,4</b>	<b>57 127,4</b>	<b>114 665,4</b>	<b>683,0</b>	<b>115 348,4</b>
Registrada (6 331)	1 506,9	15 295,1	12 719,8	23 865,3	53 387,1	111,2	53 498,3
No Registrada (9 573)	417,7	13 188,8	14 409,6	33 262,1	61 278,2	571,8	61 850,1

Fuente: PVN /PVD/DGCF/OGPP  
Elaboración: GTT-31.Dic.2014

Fuente: SINAC

Observamos que la superficie de rodadura no pavimentada está en el orden del 80,3 % y solo el 13, 2 % está pavimentada; situación que incide en el desarrollo, calidad y principalmente en la seguridad, la transitabilidad y la servicialidad del sistema vial, con grave repercusión económica que genera un alto costo de operación de las actividades productivas.

Las singulares características de la diversidad geográfica y climática en el Perú influyen entre otros factores en la degradación de los pavimentos y la conservación de la infraestructura de la red de carreteras existente.

Por diversos factores se practica la cultura de la reparación de daños más no la de la intervención oportuna. El no realizar labores de mantenimiento periódicos genera costos altos. Es decir, que se tiene una actitud reactiva cuando lo recomendable es la proactividad.

En consecuencia, el país necesita promover y sistematizar el diagnóstico continuo para sus carreteras tanto pavimentadas como no pavimentadas.

## **1.2 Formulación del problema**

Es consenso general que el conocimiento del estado de una carretera es importante para establecer el estado de servicialidad y determinar intervenciones oportunas lo que reduce ostensiblemente los costos económicos y sociales.

Para establecer el estado de servicialidad, conservación y/o daño de los pavimentos rígidos o flexibles así como de las carreteras no pavimentadas a efectos de determinar la pertinencia de la intervención en estas, se han estandarizado parámetros internacionales que han sido adaptados a las particularidades de cada país.

El de mayor aceptación es la medición de la rugosidad de las capas de rodadura denominado Índice de Regularidad Internacional o Índice de Rugosidad Internacional: IRI, lo cual se realiza a través del uso de diferentes equipos.

Otro método difundido en el país es el inventario de condición del MTC (IC), un examen visual y de gabinete que contabiliza y mide las principales imperfecciones en la capa de rodadura como grietas y baches y resulta en un índice numérico. Además existen otros métodos como el PCI, PSI, encuestas a usuarios, juicio experto, etc.

Es de interés que habiendo varios métodos para medir la servicialidad de la vía, sepamos cuán equivalentes son, si son relacionables sus resultados y si podemos optar indistintamente por uno u otro o si se enfocan en aspectos distintos de la condición vial que no los hacen comparables.

Se propuso un estudio correlativo entre dos de los índices principales que el MTC emplea y exige: El IRI y el índice del inventario de condición del MTC.

Se planteó la medición en caminos no urbanos del departamento de Ica tanto en vía pavimentada, únicamente pavimento flexible, como no pavimentada. Se emplearon dos instrumentos. Uso del software Roadroid

para medir el IRI y filmadora para grabar los recorridos y realizar la inspección visual en gabinete para obtener el índice del inventario de condición del MTC. Finalmente se correlacionaron los índices de ambos métodos para cada tipo de superficie de rodadura.

**Problema general:**

¿Cuál es la correlación existente entre el IRI y el índice del inventario de condición del MTC?

**Problemas específicos:**

¿Cuál es la correlación en vías pavimentadas?

¿Cuál es la correlación en vías no pavimentadas?

**1.3 Objetivos**

**1.3.1 Objetivo general**

Calcular el coeficiente de correlación ( $r$ ) entre el IRI y el índice del inventario de condición en vías pavimentadas y no pavimentadas

**1.3.2 Objetivos específicos**

- a) Calcular el coeficiente de correlación ( $r$ ) entre el IRI y el índice del inventario de condición en vías pavimentadas
- b) Calcular el coeficiente de correlación ( $r$ ) entre el IRI y el índice del inventario de condición en vías no pavimentadas

**1.4 Justificación**

Estudios de medición del índice de rugosidad sobre superficies de rodadura destacan la importancia de conocer esta información.

Zaghloul (1996) estableció que 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.

Por su parte, Michael S. Janoff (1988) del JMJ Research, al estudiar el efecto de la regularidad inicial sobre el desempeño del pavimento a largo plazo, presenta los siguientes resultados:

- Los pavimentos con menor regularidad inicial, tienen niveles más bajos de regularidad para los siguientes 10 años a la construcción.
- Los pavimentos con menor regularidad inicial, tienen niveles más bajos de agrietamiento para los siguientes 10 años a la construcción.
- Los pavimentos con menor regularidad inicial, tienen costos anuales medios de mantenimiento más bajos para los siguientes 10 años a la construcción.

Establecida la necesidad de conocer el estado de servicialidad de las vías, los actores de la gestión y el mantenimiento vial: el MTC, Provías Nacional, Provías descentralizado, los gobiernos regionales, los municipios provinciales y distritales, los concesionarios viales, o los contratos de mantenimiento vial; pueden obtenerlo mediante:

- Medición del IRI: con equipos láser, bump integrator, Roadroid, etc.
- Medición del PCI
- Inventario de Condición del MTC (simplificación del PCI)
- Juicio experto, encuestas a usuarios, etc.

Tanto el IRI cómo el índice del inventario de condición miden la servicialidad mediante parámetros comparables: rugosidad como sumatoria de las variaciones verticales en una huella longitudinal versus un conteo y caracterización de extensión y severidad de baches, fisuras, ahuellamiento y otros daños en la superficie de rodadura. Ambos finalmente arrojan un índice numérico de entre 0-20 (IRI) y 0-1000 o 0-500 (inventario de condición, para vía pavimentada flexible y no pavimentada respectivamente).

En la ingeniería es amplio el empleo de índices para tener valores precisos de las propiedades de los materiales y otras evaluaciones. Las investigaciones y la experiencia demuestran que sus valores suelen tener

mayor o menor correlación, es decir que conociendo el valor de un índice puede preverse la dirección o el orden de magnitud que probablemente encontraremos en otros índices. Este conocimiento agiliza el trabajo en campo y la toma de decisiones. Así por ejemplo un ingeniero de cimentaciones se forma idea del tipo de suelo con pruebas manuales o visuales que luego los ensayos de laboratorio confirman y precisan.

Puesto que ambos métodos, el inventario de condición del MTC y el IRI, conceptualmente tienen relación en cuanto ambos evalúan aspectos directamente incidentes en la servicialidad de una vía; es posible correlacionar el valor de ambos índices y verificar si existe o no una correlación significativa. Siendo la rugosidad marcadamente dependiente del número de huecos y de su profundidad, así como también de la existencia de grietas y otros deterioros de la superficie de rodadura; es asumible que son métodos correlacionables.

En muchos contratos de concesión o mantenimiento vial, así como en los procesos de gestión vial nacionales o regionales, se exige la realización de inventarios viales calificados o básicos. En ambos casos se requiere la medición del IRI pero también una evaluación estructural mediante la caracterización de la sección vial y pruebas de deflectometría aunadas a un inventario de daños superficiales con el que se calcula un índice. Ergo se tiene que rutinariamente se realizan ambas mediciones en simultáneo.

Siendo probable pero no certera una correlación elevada, el aporte al conocimiento de la investigación está dado por:

- a) En caso de correlación elevada, constituye en beneficios prácticos como una mejora metodológica: una regla heurística para quien evalúa el estado vial. Conociendo que el inventario de condición del MTC señala que una vía está en buen estado, se estima que una medición láser del IRI posterior dirá lo mismo o viceversa.

O como ahorro importante de dinero. Una correlación fuerte puede significar que un índice MTC de 800 equivale a un IRI de entre dos a tres m/km. Suponiendo que el umbral admisible del IRI sea de uno a tres, se puede calcular mediante un costoso perfilómetro láser,

o encargar este estudio más barato y simple con el aplicativo Roadroid O para revisar el IRI medido con otro perfilómetro.

Además permitiría la conversión aproximada de los valores obtenidos en inventarios viales a la escala del IRI. Con ello se facilitaría el realizar estudios de escala nacional y se revalorizaría la información histórica allí donde ya no es posible volver a medir.

- b) En caso de ser débil o inexistente, debería revisarse el método MTC o virar la política de gestión vial al empleo único o preponderante del IRI u otro índice, al menos para la red vial nacional. El uso de métodos cuyos resultados no se condicen significa que es preferible optar por uno u otro o distinguir claramente sus esferas de aplicación.

Aun sin hallarse una correlación fuerte, la hipótesis tiene mérito académico de investigarse por el posible beneficio. Así como en medicina se estudian muchas correlaciones con una enfermedad y solo unas cuantas muestran correlaciones fuertes. Inclusive una correlación débil no significa que no tenga influencia, y puede promover investigaciones más detalladas.

## **1.5 Limitaciones**

La investigación se realizó en tramos de vías pavimentadas y no pavimentadas tomando suficientes (mínimo 30) unidades de muestra de 200 y 500m respectivamente para obtener una correlación estadística. Se eligieron vías principalmente planas y rectas para minimizar la influencia del IRI geométrico o de diseño en el valor del IRI obtenido.

Para la medición del IRI se empleó, la aplicación Roadroid, perfilómetro de categoría III, por su sencillez de uso y la imposibilidad por costo de emplear equipos láser. Y se calculó el índice del inventario de condición del MTC, trabajo de gabinete en base a videos de las vías tomados en simultáneo a la medición del IRI con una cámara montada en un vehículo. Por cada tramo se tomó una huella.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1 Medición del IRI en el Perú**

En Perú, las primeras mediciones se realizaron el año 1992 empleando el perfilómetro Merlín por influencia del Banco Mundial. En el año de 1995, el Proyecto Especial de Rehabilitación de la Infraestructura de Transportes (PERT) establece los primeros valores requeridos de IRI. En el año 2000, las especificaciones técnicas generales para carreteras EG-2000 definen valores de IRI según el tipo de material en la capa de rodadura. La primera concesión vial Arequipa-Matarani incluye el IRI como índice de control de la gestión vial. Actualmente, las distintas concesiones viales emplean distintos umbrales de IRI y exigencias metodológicas.

##### **2.1.2 Valores del IRI en el Perú**

El IRI de una vía está relacionado con la velocidad límite que puede desarrollarse en ella. Con base en un estudio de la Universidad de Michigan en 1998 se estableció el umbral superior de 2,5m/km para vías expresas porque este valor corresponde a la velocidad máxima de diseño de 80-100km/h en este tipo de vía.

Desde el año 2000 los umbrales típicos son: 2,0 m/km para pavimentos flexibles, 2,5 m/km para afirmados y otros tratamientos superficiales y 3,0 m/km para pavimentos rígidos.

Las concesiones viales negocian, independientemente, los valores de IRI. Véase figura 2. Nótese que el valor de referencia no es único y está condicionado a un volumen de tráfico y uso específicos.

Tabla 2.1 Umbrales IRI en las principales concesiones viales del país

CONCESIÓN	Año	Metodología	IRI				
			Obras Nuevas	Operación	Tolerancia	IMD (veh/día)	Velocidad de diseño (Km/h)
Arequipa - Matarani	1994	IRI promedio	2.0	2.0	No	2,500	60
Red Vial Nº 5	2003	IRI promedio	3.5	3.5	No	3,500	75
Red Vial Nº 6	2005	IRI promedio	2.0	3.0	20% y 15%	4,500	75
IIRSA norte, IIRSA sur, tramos 2,3 y 4	2006	IRI Media deslizante	2.5 / 3.5	3.5 / 4.0	20% y 15%	400	50
IIRSA sur tramos 1 y 5	2007	IRI Media deslizante	2.0 / 2.5	3.5 / 4.0	No	400	50
Buenos Aires - Canchaque	2007	IRI Media deslizante	2.5 / 3.0	3.5 / 4.0	No	200	50
Autopista del Sol	2009	IRI Media deslizante	2.0	3.5	No	3,000	75
IIRSA centro T-2	2010	IRI Media deslizante	2.0	3.5	No	4,000	50

Fuente: Tesis: Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú

### 2.1.3 Antecedentes nacionales

- Vidal, David (2016), en su tesis realiza un estudio aplicando el perfilómetro Roadroid y otro equipo de mira y nivel en calles de la ciudad de Huánuco y dos carreteras al aeropuerto y a una atracción turística y evalúa comparativamente el performance de ambos equipos. Concluye que los valores con Roadroid no son muy



disímiles de los obtenidos con mira y nivel: método bastante preciso. Que los valores tienden a parecerse más cuando se evalúa tramos largos haciendo aceptables las variaciones del Roadroid por pendiente variable y arranque.

- Almenara, Carlos (2015). Tesis descriptiva, aplica el perfilómetro Roadroid en varias avenidas importantes de Lima para evaluar su conveniencia. Concluye que es muy útil para la gestión vial porque permite mediciones más seguidas y repetitivas para validar la información en vez de estudios más espaciados y con instrumentos más complejos, además de ser bastante sencillo de aplicarse destacando un ahorro económico significativo de hasta el 82.3% respecto a una cotización de estudio tradicional en el mercado.
- Rojas, Wilson (2016). Aplica y compara dos métodos de auscultación de daños en una vía para obtener su correlación, evaluar la veracidad de cada hipótesis y poder plantear medidas de intervención en base al método de diferencias acumuladas.
- Montoya, Jorge (2013). Considera deficiente el manejo de las concesiones viales y sus requisitos de mantenimiento muy generales. Propone umbrales de tolerancia específicos para el IRI en cada vía al considerar la influencia del diseño geométrico en la medición. Útil para establecer términos contractuales de las concesiones y de gestión.
- Choque, Héctor (2012). Compara el deterioro en el tiempo mediante observación y tras un período mediante IRI para un tramo de vía patrón sin aditivos y mantenimiento normal y unos tramos de vía en los que al darles mantenimiento se aplicaron aditivos: cloruro de calcio, y producto enzimático. Los resultados muestran que los tramos aditivados se deterioran más y más rápido y por su costo añadido y dificultad no son viables.

- Velasco, Alcides (2009). De corte más conceptual, estudia la actual gestión vial nacional, la considera inconexa entre sus actores y con múltiples vacíos. Analiza los contratos de concesiones viales y su desempeño exigido y el realizado para dar recomendaciones para establecer criterios contractuales más realistas.
- Lic. González, William (2009). Investiga la situación actual para proponer herramientas de gestión basadas en el IRI y métodos estadísticos y luego evaluar la viabilidad económica de implementarlas. Concluye que se necesita mayor estandarización y hay un importante mercado para los estudios de condición vial.
- Hidalgo, Joissy (2006). Evalúa el estado del arte de la gestión vial del momento y concluye que es crítico construir mejor las vías pues a mejor inicio menor y más lento deterioro posterior, recomienda masificar el uso del IRI y limitar entre 20-29% el número de grietas aceptables en el HDM-4.

#### **2.1.4 Antecedentes internacionales**

- Ing. Marrugo, Camilo (2014). Evalúa una vía con el método Vizir y propone un esquema que emplee este método para proponer intervenciones viales. Concluye que el método Vizir y la manera propuesta de decidir intervenciones es aplicable pero no reemplaza ni se prioriza sobre la experiencia y juicio del gestor vial o ingeniero de mantenimiento, ni a los sistemas actuales de gestión vial. Empero plantea que puede emplearse en vías terciarias donde aún no se cuenta con un inventario vial ni se tiene un programa de mantenimiento
- Ing. Rea, V.; Ing. Rojas, F.; Manosalvas, F. (2013). Muestran la aplicación de la norma para clasificar un perfilómetro, y demuestra que a mayor número de muestras, el valor característico de la vía

tiende a estabilizarse y se hace independiente de medir en tramos de 100m o de 1km.

- Ing. Badilla, Gustavo; Ing. Elizondo, Fabián; Ing. Barrantes, Roy (2008). Buscan establecer las directivas nacionales para la medición del IRI. Concluye que todos los perfilómetros son válidos pero que el tramo a evaluarse no debe ser extenso o puede ocultar irregularidades locales significativas. Por esto recomienda 50m para mantenimiento y 100m para vías nuevas.
- Saldaña, David; Díaz, Rodrigo; Marquez, Waldo; Garrido, Ricardo (2017). Evalúan la última tecnología (LCMS) que genera modelos 3D de la superficie de rodadura y compara el IRI de este equipo con un perfilómetro clase I encontrando que ambos son comparables, repetibles y reproducibles.
- Ing. Marcobal, José; Díaz, Rodrigo; Marquez, Waldo; Saldaña, David (2017). Los caminos sinuosos y de pendiente variable presentan un IRI característico además del IRI por servicialidad. Describen un método de evaluar el IRI característico y lo aplican concluyendo que se necesita más discusión e investigación sobre cómo tratar los caminos de geometría singular.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Infraestructura de la red vial nacional**

En Perú, el Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) consta de 166 114 Km de vías segmentadas por su tipo y jurisdicción para su gestión, mantenimiento y ampliación en la red vial nacional, la red vial departamental y la red vial vecinal; y redes viales concesionadas. Por el enfoque de la descentralización la primera y principal corresponde al gobierno central a través del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y este a través de su órgano Provías Nacional. La red vial departamental recae en los

gobiernos regionales coadyuvados por Provías Descentralizado. Y los gobiernos provinciales y distritales gestionan la red vial vecinal.

Por los datos consignados en el documento Intervenciones en la Red Vial Nacional elaborado por Provías Nacional y presentado en marzo de 2016 con información actualizada a diciembre de 2015; tenemos que:

La enorme mayoría de vías del país (84,1%) no son gestionadas por el MTC sino por las autoridades regionales y locales con intervención de las sucursales de Provías Descentralizado. Y el déficit de vías pavimentadas es muy grande al estar solo el 13,7% pavimentado.

Tabla 2.2 Categorización de las vías del Sistema Nacional de Carreteras

RED VIAL SINAC	Pavimentado	%	No Pavimentado	%	Red Vial Existente	%	%
RV NACIONAL <sup>1/</sup>	18.420	69,7	8.016	30,3	26.436	15,9	100
RV DEPARTAMENTAL	2.430	9,7	22.582	90,3	25.012	15,1	100
RV VECINAL <sup>2/</sup>	1.925	1,7	112.741	98,3	114.665	69,0	100
TOTAL	22.775	13,7	143.339	86,3	166.114	100,0	100

Fuente: SINAC

La red vial nacional se articula en tres ejes longitudinales, 20 ejes transversales y ramales y subramales. Ver tabla 2.3. Y existe un marcado déficit de vías en los departamentos orientales del país (Ver mapa de la Red Vial Nacional en Anexo 1)

Tabla 2.3 Distribución de la Red Vial Nacional

<b>Red Vial Nacional (a Dic 2015)</b>		
<b>Principales ejes viales</b>		
<b>1. TRES EJES LONGITUDINALES</b>		
- Longitudinal de la costa	2,634 Km.	
- Longitudinal de la sierra	3,505 Km.	
- Longitudinal de la selva	1,809 Km.	
<b>2. VEINTE EJES</b>		
TRANSVERSALES	9,063 Km.	
Principales: norte, centro, sur		
Sub Total	17,011 Km.	
<b>3. VARIANTES Y RAMALES</b>	9,425 Km.	
<b>TOTAL EXISTENTE</b>	<b>26,436 Km</b>	

Fuente: SINAC

La planificación vial es distinta en cada red por atenerse a distintas jurisdicciones. Sin embargo, los documentos principales son elaborados por

el MTC y Provías Nacional enmarcados en su Plan estratégico Sectorial Multianual (PESEM) siendo el último el del 2018-2021 y alineados a los planes nacionales destacando el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional también llamado Plan Bicentenario o Plan Perú 2021 y el Plan Nacional de Competitividad.

El Programa de Concesiones de Infraestructura Vial comienza en el año de 1994 con la entrega de la carretera Arequipa – Matarani a Concar S.A. Actualmente operan 16 contratos de concesión con duración de entre 15 a 30 años supervisados por el Organismo Supervisor de la Infraestructura de Transporte de Uso Público OSITRAN.

## **2.2.2 Clasificación de las carreteras**

Se emplea la clasificación y términos del Manual de Carreteras – Diseño Geométrico del 2018 y el Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial del MTC.

### **2.2.2.1 Definición de carretera**

Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos 2 ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

### **2.2.2.2 Por tipo de superficie de rodadura**

- Carretera pavimentada: Aquellas cuya superficie de rodadura está conformada con material bituminoso (flexible) o de concreto (rígida).
- Carretera no pavimentada: Aquellas cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

- Carretera afirmada: La superficie de rodadura está constituida por una o más capas de afirmado. El afirmado es una capa compactada de grava natural o procesada, generalmente con un contenido de ligante arcilloso, que se coloca sobre la subrasante de una vía.
- Carretera sin afirmar: Carretera al nivel de subrasante o cuya superficie de rodadura ha perdido el afirmado.

### **2.2.2.3 Por demanda**

- Autopistas de primera clase: Carreteras pavimentadas con Índice Medio Diario Anual (IMDA) de tráfico mayor a 6000 veh/día, dos o más carriles por sentido, separador central de 6m o más, accesos para flujo continuo, puentes en zonas urbanas y sin pasos a nivel.
- Autopistas de segunda clase: Carreteras pavimentadas con IMDA entre 6000 a 4000 veh/día, dos o más carriles por sentido, separador central de 6m a 1m, con accesos para flujo vehicular continuo, puentes en zonas urbanas y con posibles pasos a nivel.
- Carreteras de primera clase: Vías pavimentadas con IMDA entre 4000 a 2000 veh/día, calzada con dos o más carriles sin separador central, posibles cruces a nivel y uso de puentes o dispositivos de seguridad vial en zonas urbanas.
- Carreteras de segunda clase: Vías pavimentadas con IMDA entre 2000 a 400 veh/día, calzada con dos carriles de 3,3m de ancho como mínimo, posibles pases a nivel y uso de puentes o dispositivos de seguridad vial en zonas urbanas.
- Carreteras de tercera clase: Vías con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3m de ancho mínimo y

2,5m de ancho excepcionalmente con estudio técnico sustentatorio. Puede ser pavimentada o emplear soluciones denominadas básicas o económicas como los estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas, micro pavimentos y afirmado.

- Trochas carrozables: Vías transitables generalmente de hasta 200 veh/día que no tienen las características geométricas de una carretera. Sus calzadas deben tener al menos 4m de ancho sean afirmadas o sin afirmar y con plazoletas de cruce (ensanchamientos) cada 500m.

#### **2.2.2.4 Por orografía**

- Terreno plano (tipo 1): Tiene pendientes transversales de hasta 10% y longitudinales de hasta 3% lo que minimiza el movimiento de tierras.
- Terreno ondulado (tipo 2): Tiene pendientes transversales entre 11% a 50% y longitudinales entre 3% a 6%. Implica moderado movimiento de tierras y permite trazos relativamente rectos.
- Terreno accidentado (tipo 3): Tiene pendientes transversales entre 51% a 100% y longitudinales mayormente entre 6% a 8%. Implica importante movimiento de tierras.
- Terreno escarpado (tipo 4): Tiene pendientes transversales mayores a 100% y longitudinales excepcionales mayores a 8%. Implica gran movimiento de tierras.

## **2.2.3 Regularidad superficial**

### **2.2.3.1 Definición**

La regularidad superficial se define por la cualidad y magnitud de las irregularidades de la superficie del pavimento que afectan la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo. Es la característica más influyente en la percepción de la calidad del tránsito por parte de los conductores.

El término surge en los setentas asociado a las investigaciones promovidas por el Banco Mundial para evaluar la calidad y costo de las carreteras. Al estandarizarse el International Roughness Index (IRI) como medida principal del estado global de una carretera se denota que aquello que este índice mide, la regularidad superficial, conjunta a los principales parámetros que afectan la experiencia de tránsito.

El término regularidad superficial es empleado indistintamente por el de rugosidad. En español, el IRI significa Índice de Regularidad Superficial. La norma ASTM E 867-06 que es un glosario de términos viales define la rugosidad como “la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal”. Por esto muchos autores emplean el término regularidad superficial que se asocia mejor a la definición mostrada que el término rugosidad.

La regularidad superficial también se entiende como servicialidad. Empero se distinguen por cuanto servicialidad es un término anterior surgido durante la AASHO Road Test (1955-1960) y definida como la habilidad de una sección específica de pavimento de servir al tránsito en su actual condición. Nace asociado al Present Serviciality Rating (PSR) como la medida subjetiva de los conductores del estado de la vía en una escala del 0 al 5. Es la dimensión medida tanto por el PSR como por el Present Serviciality



Index (PSI) y otros métodos previos al IRI que impulsa a la regularidad superficial como la nueva dimensión principal a medir. Ensayos como el Paviment Condition Index (PCI) ya no se refieren a la servicialidad sino como en su caso es una medida de los daños del pavimento los cuales afectarán a la transitabilidad o regularidad superficial según el enfoque elegido.

Los parámetros del tránsito son afectados por las condiciones de micro, macro y megatextura del perfil superficial. El término rugosidad corresponde a la macrotextura, por ende la regularidad superficial y el IRI también se refieren principalmente a esta. La microtextura por su pequeña escala se evalúa mejor mediante ensayos de fricción seca de frenada mientras que se usan perfilómetros para las otras dos.



Figura 2.1 Microtextura y macrotextura

Fuente: Exposición en XVII CILA. <https://slideplayer.es/slide/1067921/>

### 2.2.3.2 Microtextura

Se refiere a la morfología, composición, orientación y enlaces de los cristales que a nivel microscópico conforman el pavimento. En otros términos se refiere a la textura superficial de los agregados pétreos, del ligante y de posibles depósitos de goma de llanta. En mediciones corresponde a las desviaciones horizontales de hasta 0.5mm y verticales de entre 0.001 a 2mm. Afecta principalmente a la fricción.

### **2.2.3.3 Macrotextura**

Corresponde a desviaciones horizontales de entre 0.5mm a 50mm y verticales de entre 2 a 10mm. Se refiere al efecto conjunto de agregados y ligante, o sea a la mezcla colocada. Determina la deflexión de la suspensión y las cargas dinámicas en las llantas.

Distintos valores promedio de macrotextura generan parámetros deseados e indeseados a la vez generando la toma de compromisos sobre las condiciones de servicio a priorizar. Por ejemplo, ondas cortas de hasta 5mm generan poros acústicos que reducen el ruido pero ondas largas lo aumentan. Y a la vez las ondas largas otorgan fricción en condiciones mojadas pero si son muy largas generan excesiva fricción ergo mayor consumo de combustible y emisiones de CO<sub>2</sub>.

### **2.2.3.4 Megatextura**

Es el resultado del uso y daño de la carretera. Valores menores a 0.2mm raíz cuadrada promedio se consideran normales. En muchos países no es considerado en las mediciones.

## **2.2.4 Medición de la regularidad superficial**

Para la medición existe gran variedad de métodos y equipos. Existen múltiples clasificaciones según la metodología o el tipo de tecnología empleado, o si son estáticos o dinámicos, pero la principal categorización se hace en función de la precisión. Así tenemos:

- Métodos clase 1: Aquellos con la de mayor precisión. Se requiere que tomen puntos cada 250mm como máximo y con precisión de 0.5mm. Algunos perfilómetros dinámicos son el perfilómetro láser y el perfilómetro óptico que tienen alto rendimiento y son muy costosos. Entre los estáticos el walking profiler, la mira y nivel (si se realiza meticulosamente), la viga de 3 metros, etc.; que suelen ser

muy precisos pero de muy bajo rendimiento, siendo usados principalmente para verificaciones puntuales.



Figura 2.2 Perfilómetros clase I: Walking profiler, láser, DMLP

- Métodos clase 2: Aquellos equipos sin la precisión de la clase 1 pero con un costo significativamente menor que los equipos dinámicos pero con su mismo alto rendimiento. Por ejemplo el perfilómetro APL.
- Métodos clase 3: No obtienen directamente el perfil sino lo derivan correlacionando una medida directa del camino con una ecuación de correlación relativa a un método de clase 1 o 2. Principalmente son equipos del tipo respuesta. Por ejemplo el Mays Meter y el bump integrator.



Figura 2.3 Perfilómetros clase III: Bump integrator (modelo MIS-4) y Mays Meter

- Métodos clase 4: Aquí pertenecen las evaluaciones subjetivas como las encuestas a usuarios, inspecciones de gente conocedora o técnicos, y las mediciones de equipos clase 3 no calibradas.

## **2.2.5 Índice Internacional de Rugosidad IRI**

### **2.2.5.1 Definición**

Es un índice estadístico de la irregularidad superficial de un pavimento. Representa la diferencia entre un modelo de perfil longitudinal plano y recto ideal y un perfil real. Es el principal indicador a nivel mundial de la condición global de transitabilidad de una carretera. Surge para estandarizar las calificaciones y metodologías diversas antes existentes.

Matemáticamente es la razón entre el movimiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo empleado y la distancia recorrida por este a lo largo de un perfil longitudinal. Se expresa en m/km.

La definición oficial es: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, “Reference Average Rectified Slope”, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, “Reference Quarter Car Simulation”), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”.

### **2.2.5.2 Antecedentes**

El IRI se origina en un programa de investigación internacional de gran alcance sobre la calidad de las vías y los costos operativos a los usuarios financiado por el Banco Mundial en la década de 1970. Los primeros resultados hicieron evidente que los indicadores y métodos de cada país no eran comparables y aún muchos métodos no eran precisos.

Por ello en 1982 se organiza el International Road Roughness Experiment (IRRE) en Brasil. Este consistió en la medición de la

regularidad superficial de vías en diversos países y condiciones empleando una terna de métodos; siendo el fin la estandarización en un indicador universal del estado general de una carretera medible tanto por perfilómetros como por los equipos de tipo respuesta así como establecer ecuaciones de correlaciones para los resultados de equipos no exactos respecto de los más exactos. Este índice resultó ser el Índice Internacional de Rugosidad.

Los resultados se presentaron en el X congreso de la IRF (International Road Federation) en Brasil en 1984 y en el Congreso Anual del Transportation Research Board en 1986 en Estados Unidos.

### 2.2.5.3 Modelo de Cuarto de Carro

La norma ASTM E867-06 define “rugosidad” como “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica”. Siendo el IRI un índice de un perfil longitudinal en una vía, se definió un modelo que representa el paso de una llanta de un vehículo a lo largo de ese perfil, este modelo es el Modelo de Cuarto de Carro.

El modelo es una representación de una rueda posterior de un automóvil. Mediante masas, resortes y amortiguadores con coeficientes patrón representa la masa del vehículo, la masa de la rueda, el amortiguador y la flexibilidad de la llanta. En el modelo medimos los movimientos verticales atribuibles a las irregularidades en el perfil longitudinal.



Figura 2.4 Modelo de cuarto de carro

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice\\_de\\_regularidad\\_internacional](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice_de_regularidad_internacional)

#### 2.2.5.4 Características del IRI

El IRI es la razón entre el movimiento vertical acumulado y la distancia recorrida. Por ende el resultado es muy dependiente de la longitud de tramo típico, cada país o normativa establece una longitud estándar siendo lo más comunes 100m o 200m.

La velocidad de tránsito influye ampliamente en la sensación de las irregularidades de la vía, por ello se estandarizó en 80km/h la velocidad estándar para calcular el IRI por cuanto se considera que esta es representativa de la velocidad de los usuarios.

Para calcular el IRI en cada tramo se necesitan las pendientes de las masas del vehículo tipo en los puntos de inicio y final y se calcula en forma recursiva. La norma NLT-330/98 trata los criterios de medición.

En forma simplificada, para calcular el IRI se obtienen las cotas del terreno y se elabora un perfil longitudinal. Este perfil es modificado con estrategias matemáticas como la media móvil. Luego se le aplica el modelo de cuarto de carro. Al final el IRI es la sumatoria de distancias verticales medidas en la distancia considerada.

El IRI es menor, y normalmente se entiende como mejor, cuanto más se acerque la rugosidad del perfil a una superficie plana teórica. Sin embargo siempre es necesaria cierta rugosidad para la adherencia de las ruedas al pavimento.

Una vía plana nueva tiene un IRI nominal de 0, pero se entrega como obra nueva con un IRI mayor por la gran dificultad técnica que supone obtener valores cercanos a 0. Luego este valor va aumentando con su uso y deterioro. Sin embargo, y esto es muy relevante en Perú, muchas vías tienen un llamado IRI característico inicial mayor porque tienen curvas verticales o muchas curvas horizontales de radio pequeño, por ejemplo las carreteras en la sierra.

### 2.2.5.5 Escala de medición del IRI

El IRI se mide normalmente en m/km o dm/Hm. o in/mi.

Su escala es:

- De 0 a 12 m/km para caminos pavimentados
- De 0 a 20 m/km para caminos no pavimentados

Entre otras agencias y normativas de países, el Banco Mundial establece los siguientes parámetros de la figura 2.5.

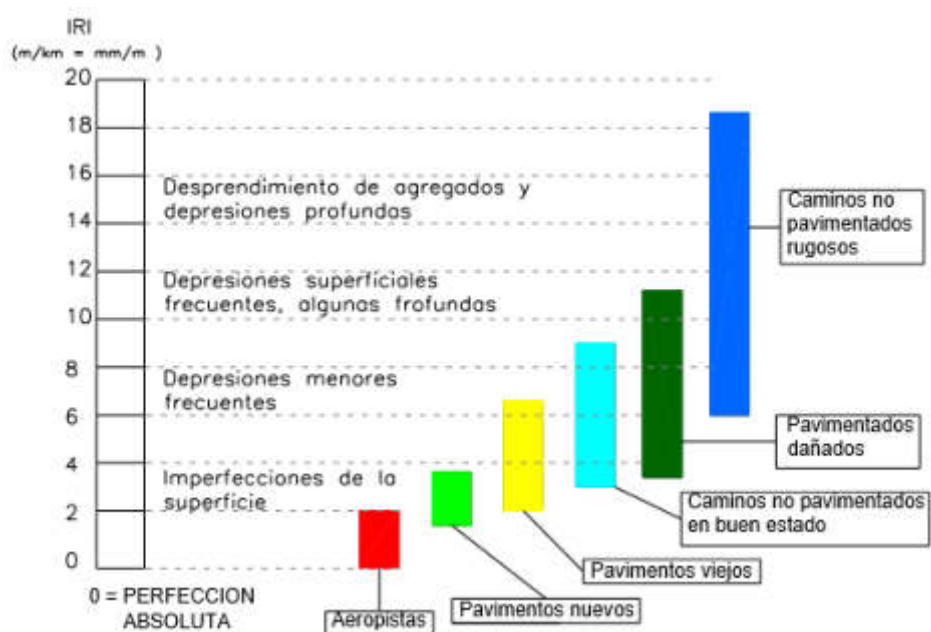


Figura 2.5 Rango usual del IRI por tipo de vía. Fuente: Banco Mundial

### 2.2.6 Perfilómetro Roadroid

#### 2.2.6.1 El sistema Roadroid

Roadroid es un software para celulares diseñado para aprovechar la tecnología de GPS, giroscopio y acelerómetro de los mismos en la medición del IRI de las pistas. Siendo un aplicativo, se instala en el celular, este se coloca en una montura rígida en la cabina de un vehículo y se ejecuta tomando así mediciones que el software procesa en un índice IRI, además de tomar en el recorrido fotos o videos y datos de GPS.

El sistema consta de dos partes: el software en el celular que toma los datos de IRI y GPS, y un servidor en línea para visualizar en mapas viales los recorridos y valores obtenidos.

El software emplea las capacidades de los celulares para tomar lecturas en forma sencilla y sin mayor instrucción previa; y su muy bajo costo a la vez que alto rendimiento. En especial es ventajoso para tomar lecturas muy frecuentes o diarias, o justo tras un terremoto o nevada; y para monitorear vías remotas que no justifican los costos de despachar técnicos y equipo sofisticado.



Figura 2.6 Roadroid: pantalla de inicio y un recorrido visualizado.

Fuente: Roadroid User Guide, Versión 2 Pro

### 2.2.6.2 Referencias de su creación

El software es creado por la compañía del mismo nombre, Roadroid, surgida y con sede en Suecia. Se incubó entre el 2008 y 2010, sus primeras pruebas de escala significativa son en 2011 y durante ese año y hasta el 2013 va desarrollando sus operaciones y publicidad. A partir de 2014 inicia negocios internacionales.



Si bien la idea original de emplear celulares es anterior a 2008, es el desarrollo de la tecnología de acelerómetros y giroscopios en los celulares y su masificación lo que hace posible Roadroid.

### **2.2.6.3 Índice Roadroid**

Roadroid calcula dos índices. El IRI estimado (eIRI) y el IRI calculado (cIRI). El primero se relaciona más con la textura superficial mientras el segundo mide el IRI propiamente. Existen dos índices porque las curvas verticales rompen la correlación directa (en una vía plana) entre el IRI y la condición de la textura en la vía.

El IRI estimado emplea una fórmula de conversión lineal y toma más los datos de la textura del camino en sí que los cambios en su alineación vertical. En vías pavimentadas tiene corrección por velocidad entre los 20 a 80km/h. Se calcula en simultáneo al IRI calculado y su objetivo es dar una idea de la calidad del tránsito (sensación del usuario).

El IRI calculado, o sea el IRI propiamente dicho, usa un filtro matemático suavizador y la fórmula de cuarto de carro. Necesita mantenerse una velocidad consistente, así como configurar la longitud de segmento, la sensibilidad del vehículo, y prestar atención al tipo de auto y llanta.

## **2.2.7 Inventario de condición del MTC**

### **2.2.7.1 Definición**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones desarrolló un procedimiento propio para la caracterización vial. Consiste en el levantamiento de la información necesaria para conocer la composición de todos los elementos de una vía. Comprende la georreferenciación del inicio y del final y del eje de la vía, la definición de las secciones transversales, el inventario de señalizaciones, obras de arte y otros como pasos ferroviarios, el estudio de deflexiones, mediciones de IRI, listado de deterioros de la

superficie de rodadura y de las bermas y la elaboración de un índice, y la elaboración de videos del recorrido.

Los inventarios se dividen en tres niveles según la precisión y elementos requeridos: calificado, básico y para caminos vecinales o rurales. Los dos primeros tienen virtualmente los mismos requisitos con pequeñas diferencias en el detalle o precisión exigidas. La última categoría pide una caracterización vial simple sin medición del IRI ni de deflexiones pero sí con inventariado de los deterioros y el cálculo del índice de condición asociado.

### 2.2.7.2 Índice del inventario de condición

Se basa en el Índice de Condición del Pavimento (PCI en inglés) que consta de 19 parámetros el cual simplificaron para tener un método rápido y sencillo de inventariar y calcular. El número de parámetros depende del tipo de calzada: de pavimento rígido, flexible, y no pavimentada. Se emplearon los dos últimos tipos en esta investigación.

El método calcula un índice para cada tipo de superficie de rodadura a base de los parámetros considerados y la gravedad en un segmento típico. Para cada tipo de daño emplea coeficientes de ponderación y establece puntajes los que sumados se restan del puntaje máximo posible y categorizan la condición vial en buena, regular o mala que a su vez determinan los tipos de intervención. Véase anexos 2 y 3 para las fórmulas para asignar puntajes por tipo de deterioro para pavimento flexible y vías no pavimentadas.

Tabla 2.4 Tipos de condición y conservación según calificación en pavimento flexible

Tipo de condición	Calificación de condición	Tipo de conservación
Condición bueno	> 800	Conservación rutinaria
Condición regular	> 300 y ≤ 800	Conservación periódica
Condición malo	≤ 300	Reconstrucción-rehabilitación

Fuente: Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial MTC 2018. Elaboración: el autor

Tabla 2.5 Tipos de condición y conservación según calificación en vías no pavimentadas

Tipo de condición	Calificación de condición	Tipo de conservación
Condición bueno	> 400	Conservación rutinaria
Condición regular	> 150 y $\leq$ 400	Conservación periódica
Condición malo	$\leq$ 150	Reconstrucción - rehabilitación

Fuente: Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial MTC 2018. Elaboración: el autor

### 2.2.7.3 Parámetros para calzada no pavimentada

1. Deformación: Comprende hundimientos localizados por pérdida de capacidad portante y ahuellamientos por el tránsito
2. Erosión: Comprende los surcos erosivos causados por escurrimientos de agua paralelos al eje longitudinal de la vía
3. Baches: Son los huecos causados por aguas estancadas en la superficie de calzada y favorecidos en su crecimiento por el tránsito
4. Encalaminado: Son ondulaciones de la superficie producto de vibraciones transmitidas por los vehículos en los agregados del material granular
5. y 6. Lodazal y cruce de agua: Un lodazal es una sección poco transitable por estar inundada y/o haberse deformado en sus agregados finos. Un cruce de agua es similar.



Figura 2.7 Tipos de daño en calzada no pavimentada

Fuente: Manual de Carreteras Conservación y Mantenimiento Vial MTC 2018

#### 2.2.7.4 Parámetros para pavimento flexible

1. Piel de cocodrilo: Son fisuras que forman una malla de polígonos de ángulos cerrados. Las fisuras van abriéndose y la malla se amplía en superficie y densidad de fisuras. Se generan por fatiga por sobrecargas.
2. Fisuras longitudinales: Se producen por fatiga. Empiezan cortas y discontinuas y crecen hasta ser continuas y luego ramificadas.
3. Deformación por deficiencia estructural: Son las depresiones continuas o localizadas y los ahuellamientos producto de deficiencia estructural.
4. Ahuellamientos: Son las depresiones continuas o localizadas y producto del comportamiento visco elástico de la capa de rodadura. Se presentan en anchos menores a 0.8m.
5. Reparaciones o parchado: Su número, extensión y frecuencia se consideran para evaluar el estado de las vías. Su número o si usaron para tapar fisuras longitudinales la gravedad es mayor.

6. Peladuras y desprendimientos: Las peladuras son las desintegraciones por pérdida del ligante bituminoso. Los desprendimientos son pedazos o lajas de la capa de rodadura que se rompen y separan del resto.
7. Baches: Son huecos causados por destrucción o desgaste. Crecen en diámetro con el tiempo o se concatenan.
8. Fisuras transversales: Son fracturas perpendiculares al eje de la vía causadas por retracción térmica, reflexión de grietas en capas inferiores o apertura de juntas de dilatación.
9. Exudación: Segregación del material ligante en la superficie de rodadura debido principalmente a temperaturas altas.
10. Daños puntuales: Aplica solo para las bermas. Son baches, deformaciones, ahuellamientos u otros daños en los espacios laterales a la vía tomados agrupadamente.
11. Desnivel calzada-berma: Es la variación del nivel de cota superficial entre la superficie de rodadura y la berma.



Figura 2.8 Tipos de daño en pavimento flexible

Fuente: Manual de carreteras mantenimiento o conservación vial MTC 2018

### 2.2.8 Deflectometría

En carreteras es la medición de la deformación inmediata de una superficie de rodadura bajo la aplicación de una carga estática o de impacto. Su finalidad es recabar datos con los que, junto al conocimiento de las capas de la pista, pueda hacerse un retrocálculo para la evaluación estructural de la vía.

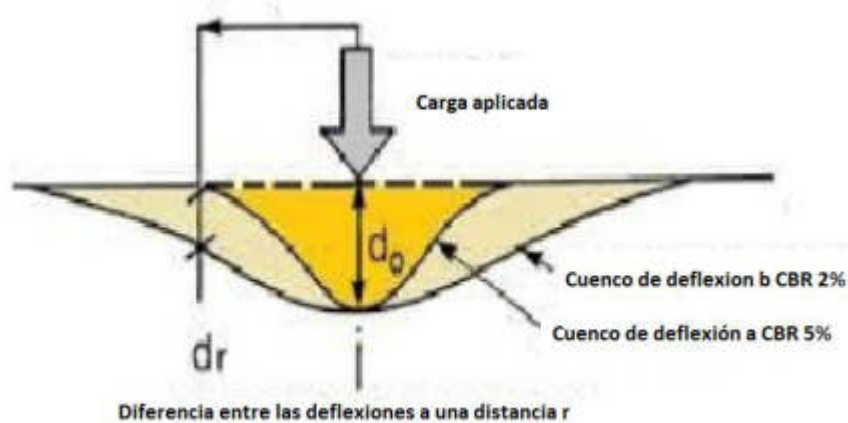


Figura 2.9 Esquema del ensayo de deflexión

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/313576952/Deflectometria-en-Pavimentos>

Al igual que para la perfilometría, existen muchos equipos para su medición. En forma general se clasifican según la carga sea dinámica (de impacto) o estática y por la magnitud de esta. Son también distinguibles según estén acoplados a un auto o sean de uso manual como la viga Benkelman.

Sin embargo, los resultados también dependen del método de cálculo en gabinete. Existen diversos procedimientos basados en modelos del comportamiento elástico del conjunto de las capas viales: bicapa, multicapa, Boussinesq, Westergaard, Hogg. Algunos son más aptos para pavimentos o para ciertas conformaciones de capas.

Su aplicación es muy extendida, y es requisito en el país para los inventarios viales y muchos proyectos de mantenimiento vial. Se caracteriza por enfocarse en la caracterización estructural siendo insumo importante junto al IRI y/o el IC u otros en el planteamiento de una intervención. En forma

práctica, en pavimentos, según el cuenco de deflexión característico se determina un espesor de pavimento necesario para alcanzar una vida útil meta.

### 2.2.9 Correlación

Es una expresión matemática sobre el grado de relación o asociación entre 2 variables cuantitativas. Significa el grado en que valores pequeños de una variable se corresponden a valores pequeños de la otra variable, y valores grandes se corresponden con valores grandes. Por ejemplo el precio de una casa y su tamaño se corresponden bastante y ergo su correlación es alta. Su fórmula viene dada por:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

Se simboliza por r que varía de -1 a +1. Un valor de 0 significa ninguna correlación mientras que un valor absoluto más cercano a 1 significa mayor relación. El numerador es el producto de las desviaciones típicas de las variables; y el denominador el producto de sus varianzas.

Permite realizar inferencias del valor de una variable a partir de la otra. Pero no significa causalidad, solo una relación entre los valores.

En estadística se calcula principalmente con la correlación de Pearson, pero también existen las de Spearman y Kendall. La fórmula de Pearson es buena para variables cuantitativas normales, o sea que presentan una distribución normal; mientras las otras dos son más útiles para variables de distribución no normal o variables ordinales.

La evaluación del valor r obtenido no se enfoca en su magnitud sino en su significación. Principalmente en definir si r es significativamente distinto de 0. Esto se logra en buena parte mediante la elección de un tamaño muestral suficiente dependiente del grado de confianza con el que trabajaremos y de la potencia estadística de la prueba estadística.

### **2.2.9.1 Grado de confianza**

También llamado grado de seguridad con el que trabajamos. Se expresa como  $1-\alpha$  o probabilidad de no cometer un error tipo I. Típicamente se trabaja con 90% ( $\alpha=0.1$ ) o 95% ( $\alpha=0.05$ ).

Un error tipo I o falso positivo es cuando se rechaza la hipótesis nula o inicial siendo esta verdadera. Por ejemplo declarar a alguien enfermo estando en realidad sano.

Es un factor previsible y relacionado al tamaño muestral. En la mayoría de pruebas estadísticas se elige el grado de confianza y luego se determina el tamaño de la muestra.

### **2.2.9.2 Poder estadístico**

Denominado también como potencia de una prueba estadística. Se expresa como  $1-\beta$  y es la probabilidad de no cometer un error tipo II. En la mayoría de casos varía de 0 a 0.2, siendo lo más usual 80% ( $\beta=0.2$ ).

Un error tipo II o falso negativo es cuando no se rechaza la hipótesis nula siendo esta falsa. Por ejemplo decirle al paciente que no tiene nada cuando en realidad está enfermo.

Es un factor complejo dependiente de múltiples sub factores como el criterio de relevancia (como el valor de  $\alpha$ ), el tamaño del efecto que es un término para el meta análisis estadístico, el tamaño de la muestra, el diseño del experimento, y la precisión de las mediciones.

No hay un criterio simple ni único para establecer o mejorar la potencia pero sí muchas estrategias aplicables caso a caso. Además el factor  $\beta$  se toma en relación al factor  $\alpha$  e incluso a veces reducir el riesgo de error tipo II aumenta el del tipo I.



## 2.2.10 Prueba de significación

Es un cálculo para establecer si el estadístico aplicado está dentro del margen de confianza elegido (típicamente  $\alpha=0.05$ ) y si entonces pueden realizarse inferencias confiables de las pruebas estadísticas usadas. Para una confianza del 95% significa que con ese porcentaje de probabilidad el resultado obtenido en la muestra efectivamente corresponde al de la población y que no se ha debido a una combinación de muestras aleatoria.

Si un estadístico no pasa la prueba no significa que lo calculado sea erróneo o inválido necesariamente sino que no puede aseverarse ni negarse su correspondencia con la población. Queda a la interpretación de los datos y al posible uso de otros ensayos o de pruebas de contraste para apoyar o no los resultados primeros.

### 2.2.10.1 Estadístico t para correlación

Existen varios estadísticos t desarrollados para usos diversos. El empleado aquí como prueba de significación está dado por:

$$T = \frac{r_{xy}\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}$$

Donde T sigue una distribución T de Student con n-2 grados de libertad,  $r_{xy}$  es el coeficiente de correlación obtenido, n el tamaño muestral, y se trabaja para un nivel de confianza especificado. Se busca rechazar la hipótesis  $H_0: \rho_{xy} = 0$  y afirmar  $H_1: \rho_{xy} \neq 0$  con lo que se establece la significación de la correlación hallada.

### 2.3 Definición de términos básicos

**AASHO:** Precursora de la AASHTO. American Association of State Highway Officials

**ASTM:** American Standard Test Method

**Gestión vial:** Estrategias y programas relativos a la administración de activos viales y el logro de objetivos gerenciales. Abarca las metas de interconexión vial, planes de auscultación y mantenimiento vial, gestión presupuestal, etc.

**IMDA:** Índice diario medio anual referido al volumen de tránsito en una vía

**IRI:** Índice de Regularidad Internacional o Índice de Rugosidad Internacional. Medición del estado de servicialidad de una vía en base a las irregularidades verticales a lo largo de un eje de recorrido

**IRI característico:** O IRI geométrico o de diseño. Es el componente del valor del IRI debido a la geometría intrínseca de la vía, sus curvas y peraltes, y sus variaciones de pendiente

**IRRE:** International Road Roughness Experiment. Programa internacional de investigaciones del Banco Mundial para establecer el IRI como medida estándar del estado de conservación y transitabilidad de una vía

**LCMS:** Laser Crack Measurement System. Sistema de perfilometría de carreteras que emplea tres láseres en simultáneo para levantamiento de imperfecciones de la vía mediante barrido y generación de modelos 3D

**Mantenimiento vial:** Intervenciones, acciones reactivas o proactivas sobre los componentes de una vía: calzada, berma, señalización; con el fin de sostener o recuperar una condición de transitabilidad objetivo

**PCI:** Pavement Condition Index. Es un método minucioso de establecer la condición de un paño de pavimento. Por su carácter muy detallado se aplica solo en áreas pequeñas y generalmente para investigación, escasamente para monitoreo vial.

**Perfilómetro:** Equipo que registra la secuencia de desniveles verticales a lo largo de un eje de recorrido en base a la diferencia con una línea recta y plana. Se clasifican según su precisión y funcionamiento.

**Servicialidad:** En una vía, el estado de transitabilidad que presenta la vía. La condición de comodidad y adecuación al buen tránsito producto de sus características constructivas y su condición de desgaste y mantenimiento

**Superficie de rodadura:** Parte de la calzada que hace contacto con las ruedas del vehículo. Determina las cualidades del tránsito, el agarre de las llantas, la sensación de confort, en parte la velocidad posible, etc.

**Vizir:** Método de origen francés para caracterizar los daños de una superficie de rodadura. Similar al PCI, establece un amplio rango de tipos de daño y le asigna a cada uno tres niveles de gravedad

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general:**

Existe una correlación significativa entre el IRI y el índice del inventario de condición.  $r=0.5$  a  $0.8$ .

### **2.4.2 Hipótesis específicas:**

1. Existe una correlación significativa entre el IRI y el índice del inventario de condición en vías pavimentadas.  $r=0.5$  a  $0.8$ .
2. Existe una correlación significativa entre el IRI y el índice del inventario de condición en vías no pavimentadas.  $r=0.5$  a  $0.8$ .

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Diseño**

Investigación básica de tipo cuantitativa, descriptiva, y correlacional.

Básica por cuanto se busca generar conocimientos, si existe o no y cuán significativa es la correlación entre 2 índices de tipo distinto, pero ambos indicadores del estado de la capa de rodadura de una vía.

Es de tipo descriptiva y netamente cuantitativa por cuanto no se ensaya con las variables ni hay grupo de control. Se toman lecturas sobre las muestras en variables numéricas continuas y estas se correlacionan estadísticamente.

Es correlacional simple por cuanto se examina la relación entre dos variables ninguna dependiente de la otra.

#### **3.2 Población y muestra**

##### **3.2.1 Población**

La población se limita al universo de vías nacionales de características principalmente planas y no muy sinuosas. Esto a efecto de

eliminar o minimizar la influencia del IRI característico o de diseño en la lectura del IRI.

En este grupo se incluyen la mayoría de vías de la costa, las vías de sierra en mesetas como Pampa Galeras, vías entre valles interandinos, vías de la selva. Se excluyen las vías con pendientes pronunciadas como muchas vías de montaña en la sierra y vías muy sinuosas por cuanto los peraltes de las curvas también afectan al IRI de diseño.

### 3.2.2 Muestra

Las muestras elegidas consisten en 5 juegos de datos de distintas localidades. Cada juego de datos incluye 30 o más unidades muestrales de 200m o 500m lineales según sea una vía pavimentada o no pavimentada a lo largo de una única huella.

En algunos juegos de datos no todas las muestras son contiguas porque algunos segmentos debieron ser descartados sea por discontinuidad de la vía, no similitud de la calzada con el resto del tramo o por reducciones de velocidad debidas al tráfico.

Tabla 3.1 Muestras de la investigación

Localidad	Muestras
Panamericana Sur 1S km 1135-1141 (Ica – Nazca) Pavimento flexible	30 unidades Largo: 200m ; Ancho: 3.3m
Panamericana Sur 1S km 250+600- 257+400 (Paracas-Ica) Pav. flexible	30 unidades Largo: 200m ; Ancho: 3.3m
Carretera Sicuani - Combapata km 1094-1088 Pavimento flexible	30 unidades Largo: 200m ; Ancho: 3.3m
Panam. Sur 1S km 249-271+205 (Paracas-Ica) no pavimentada	30 unidades Largo: 500m ; Ancho: 12m
Carretera Comatrana-Playa Carhuaz IC-105 km 2.5-25 no pavimentada	40 unidades Largo: 500m ; Ancho: 4.5m

Elaboración: el autor

La selección de las muestras obedeció a criterios técnicos, de acceso, y de oportunidad. Además de elegir vías planas y rectas, fue crítico que pudiera mantenerse una velocidad relativamente estable lo que implicaba que fueran vías sin mucho tráfico. Inicialmente se pensó trabajar con vías en la localidad de Chilca. La Antigua Panamericana Sur como vía pavimentada y calles no pavimentadas en zonas aun escasamente urbanizadas aledañas a la central térmica de energía de Chilca. Pero al estar la primera en obras y resultando insuficiente como tamaño muestral las segundas, se eligieron nuevas muestras.

Por lo informado sobre el IRI característico, se eligieron inicialmente las vías muy planas y rectas de la Panamericana Sur entre Paracas e Ica. A la altura del km250 en adelante en Sentido Paracas-Ica el estado de la calzada es distintivamente inferior al de la Panamericana Sur en Lima, y además paralelamente a este tramo hay una vía no pavimentada que será a futuro el sentido de ida hacia Ica cuando la carretera sea ampliada y los sentidos separados tal cual es ahora hasta Pisco.

Por cuanto se presentó la oportunidad se tomaron más lecturas en el tramo Ica-Nazca de la Panamericana Sur y en la carretera Comatrana-Playa Carhuaz que inicia en Ica capital. Y posteriormente en Cusco entre Combapata y Sicuani. Estos juegos de datos se incluyeron ya que contar con más series para correlacionar enriquecería la investigación reafirmando su validez y exponiendo la relación en vías más comunes, o sea no tan marcadamente planas y rectas.

### **3.3 Operacionalización de variables**

Se emplean dos variables. Ninguna se experimenta ni incide una en el cálculo de la otra.

#### **3.3.1 Índice de Regularidad Internacional**

- Definición conceptual: Índice adimensional. Es la razón entre el movimiento vertical del vehículo que mide y la distancia recorrida.

- Definición operativa: Es la sumatoria de los desniveles verticales a lo largo de una huella longitudinal en un carril en un tramo vial de longitud definida (200m para vía pavimentada, 500m para vía no pavimentada).
- Indicador único: Desnivel vertical a lo largo de un eje recorrido respecto a un plano longitudinal.
- Escala: De 0 a 20 (m/km) siendo 0 el valor máximo ideal. Es usual 2-3 para vías pavimentadas nuevas y 5+ para no pavimentadas.
- Instrumento: Perfilómetro clase 3 Roadroid, software para celular en una montura fijada al parabrisas del auto.
- Técnica: Medición por tramos a velocidad estable de 60-80km/h en vías pavimentadas o menos según la pista lo permita en vías no pavimentadas. Las lecturas se almacenan en el celular, luego se suben al servidor de Roadroid de donde pueden descargarse los valores IRI agregados desde cada 5m hasta cada 200m y visualizarse los valores como puntos de colores en mapas de los recorridos.

### **3.3.2 Índice del inventario de condición del MTC**

- Definición conceptual: Índice propio del MTC que consignando los deterioros en una capa de rodadura en forma visual, mediante una fórmula asigna un valor representativo de su estado de conservación.
- Definición operativa: Índice adimensional calculado siguiendo el procedimiento y las tablas respectivas del capítulo 4 del Manual de Carreteras Conservación y Mantenimiento Vial MTC (2018).

- Indicadores: Se distinguen parámetros para su cálculo según se trate de vía pavimentada (pavimento flexible) o no pavimentada. En ambos casos, para un tramo de longitud y ancho dados, cada indicador se cuantifica en número de incidencias o área cubierta aproximada y se califica su gravedad en leve, moderada o grave.

Para vías no pavimentadas: Se definen conceptualmente. La definición operativa se ve en la tabla 3.2.

1. Deformación: Comprende los hundimientos localizados por pérdida de capacidad portante y los ahuellamientos por el tránsito
2. Erosión: Comprende los surcos erosivos causados por escurrimientos de agua paralelos al eje longitudinal de la vía
3. Baches: Son los huecos causados por aguas estancadas en la superficie de calzada y favorecidos en su crecimiento por el tránsito
4. Encalaminado: Son ondulaciones de la superficie producto de vibraciones transmitidas por los vehículos en los agregados del material granular.
5. y 6. Lodazal y cruce de agua: Un lodazal es una sección poco transitable por estar inundada y/o haberse deformado en sus agregados finos. Un cruce de agua es fundamentalmente similar.



Tabla 3.2 Parámetros de deterioro en calzadas no pavimentadas

Código	Deterioros/fallas	Gravedad
1	Deformación	1. huella/hundimiento sensible <5cm 2. Entre 5 y 10cm 3. >=10cm
2	Erosión	1. Sensible pero profundidad <5cm 2. Entre 5 y 10cm 3. >=10cm
3	Baches (huecos)	1. Reparables por conservación rutinaria 2. Necesita capa de material adicional 3. Necesita reconstrucción
4	Encalaminado	1. Sensible pero profundidad <5cm 2. Entre 5 y 10cm 3. >=10cm
5 y 6	Lodazal/cruce de agua	1. Transitabilidad baja o intransitable en épocas de lluvia

Fuente: Manual de Carreteras Conservación y Mantenimiento Vial MTC 2018. Elaboración: el autor

Para vías pavimentadas: Se definen conceptualmente. La definición operativa se ve en la tabla 3.3.

1. Piel de cocodrilo: Son fisuras que forman una malla de polígonos de ángulos cerrados. Las fisuras van abriéndose y la malla se amplía en superficie y densidad. Se generan por fatiga por sobrecargas.
2. Fisuras longitudinales: Se producen por fatiga. Empiezan cortas y discontinuas y crecen hasta ser continuas, luego ramificadas y luego múltiples.
3. Deformación por deficiencia estructural: Son las depresiones continuas o localizadas y los ahuellamientos producto de deficiencia estructural.
4. Ahuellamientos: Son las depresiones continuas o localizadas producto del comportamiento visco elástico de la capa de rodadura y se presenta en anchos menores a 0.8m.

5. Reparaciones o parchado: Su número, extensión y frecuencia se consideran para evaluar el estado de las vías. Si son muchas o se usaron para tapar fisuras longitudinales la gravedad es mayor.
6. Peladuras y desprendimientos: Las peladuras son las desintegraciones por pérdida del ligante bituminoso. Y los desprendimientos son pedazos o lajas de la capa de rodadura que se rompen y separan del resto.
7. Baches: Son huecos causados por destrucción o desgaste. Crecen en diámetro con el tiempo o se multiplican en cadenas.
8. Fisuras transversales: Son fracturas perpendiculares al eje de la vía causadas por retracción térmica, reflexión de grietas en capas inferiores o apertura de juntas de dilatación.
9. Exudación: Segregación del material ligante en la superficie de la capa de rodadura debido principalmente a temperaturas altas.
10. Daños puntuales: Aplica solo para las bermas. Son baches, deformaciones, ahuellamientos u otros daños en los espacios laterales a la vía tomados agrupadamente.
11. Desnivel calzada-berma: Es la variación del nivel de cota superficial entre la superficie de rodadura y la berma.

Tabla 3.3 Parámetros de deterioro en calzadas pavimentadas

Código	Deterioros/fallas	Gravedad
1	Piel de cocodrilo	1. Malla grande >0.5m sin material suelto 2. Entre 0.3 y 0.5m con o sin material suelto 3. <0.3m con o sin material suelto
2	Fisuras longitudinales	1. Finas en huellas del tránsito ≤1mm 2. Abiertas o ramificadas >1 y ≤3mm 3. Abiertas o ramificadas >3mm. Grietas
3	Deformación por deficiencia estructural	1. Profundidad sensible <2cm 2. Entre 2 y 4cm 3. >4cm
4	Ahuellamiento	1. Profundidad sensible ≤6mm 2. Entre 6 y 12mm 3. ≥12mm
5	Reparaciones y parchados	1. Para deterioros superficiales 2. Fisuras o piel de cocodrilo, buen estado 3. Fisuras o piel de cocodrilo, mal estado
6	Peladura y desprendimiento	1. Puntual sin base granular 2. Puntual con base granular o continuo sin base granular 3. Continuo con base granular
7	Baches (huecos)	1. Diámetro <0.2m 2. Entre 0.2 y 0.5m 3. >0.5m
8	Fisuras transversales	1. Fisuras finas ≤1mm 2. Abiertas o ramificadas >1 y ≤3mm 3. Abiertas o ramificadas >3mm. Grietas
9	Exudación	1. Puntual 2. Continua 3. Continua con superficie viscosa
10	Daño en berma	1. Baches, erosión, daños puntuales 2. Daños en menos del 30% del área 3. Daños en más del 30% del área
11	Desnivel calzada-berma	1. Desnivel leve <15mm 2. Moderado entre 15 y 50mm 3. Severo >50mm

Fuente: Manual de Carreteras Conservación y Mantenimiento Vial MTC 2018. Elaboración. el autor

- Escala: De 0 a 1000 para pavimento flexible siendo 1000 el valor ideal. De 0 a 500 para vías no pavimentadas siendo 500 el máximo.
- Instrumento: Videos de la vía tomados desde una cámara montada en el vehículo para realizar una inspección visual según el procedimiento del inventario de condición vial, capítulo 4 del Manual de Carreteras Conservación y Mantenimiento Vial del MTC (2018).
- Técnica: Se filman los videos en simultáneo a las mediciones del IRI durante el recorrido del vehículo por cada sector, se editan, se inspeccionan y se anotan los daños en planillas basadas en los procedimientos dictados por el MTC. Cada indicador es asignado un puntaje según la suma total del área afectada o cantidad de incidencias sin importar su gravedad, luego se restan del valor máximo (1000 o 500) y se obtiene el valor final. Para el detalle de las fórmulas véanse los anexos 2 y 3.

### **3.4 Materiales y equipos**

- Instrumento para medición del IRI: aplicativo Roadroid versión 2.40 instalado en celular Samsung Galaxy S5 New Edition con sistema operativo Android + camioneta cerrada Toyota Land Cruiser Prado de tracción trasera + montura rígida Daiku sin brazo y abrazaderas a presión, modificada con imanes añadidos
- Filmadora Xiaomi 70MAI Dashcam Pro para grabar los recorridos viales (o puede usarse la cámara del celular)
- Software VeeDub64 para visualización de videos, IrfanView para operaciones batch en videos, Google Earth, Advance Renamer para renombrar archivos, Word y Excel
- Plantillas en Excel para inventario de daños y cálculo del índice del inventario de condición, una para vía pavimentada y otra para vía no

pavimentada. Otra plantilla de Excel con macros para renombrar cuadros exportados de los videos al editarlos

- Bitácora y lapicero para notas de campo
- Wincha de 30m para medir anchos de las vías
- Impresiones de vistas áreas de las zonas a medirse



Figura 3.1 Vehículo empleado. Toyota Land Cruiser Prado. Elaboración: el autor



Figura 3.2 Montura Daikū modificada con imanes añadidos. Elaboración: el autor

### 3.5 Desarrollo

Durante el planteamiento inicial se determinaron los instrumentos de medición, el tamaño muestral requerido, el alcance y las localidades tentativas para medir.

Se eligió el perfilómetro Roadroid por sugerencias y tras leer algunas tesis peruanas que lo emplearon. Destacó por su alto rendimiento, facilidad de uso y costo muy inferior a los demás equipos en el mercado. Se buscaron otros equipos alternativos sin éxito debido a que por su elevado precio no fue factible adquirirlos y tampoco se pudo alquilar ninguno pues estos mayoritariamente pertenecen a empresas de estudios viales que los mantienen en constante actividad y aun si los tuvieran libres no los rentarían sino que ellos realizarían las mediciones con un costo elevado. Se obtuvo una licencia gratuita para investigación contactando con el desarrollador del software.



Figura 3.3 Vista aérea carretera IC-105 Comatrana-Playa Carhuaz.

Fuente: Google Earth. Elaboración: el autor

El tamaño muestral se determinó mediante lineamientos de investigación que sugieren 30-50 muestras para una tesis descriptiva. Pero se investigó más sobre el coeficiente de correlación de Pearson y se obtuvieron las fórmulas de tamaño de muestra:

$$n = \left( \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}} + Z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3 ; n' = \frac{n}{1-L}$$

Donde  $n$ : tamaño de muestra;  $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  es la seguridad con que se trabajará  $=1,96$  para un  $\alpha=0,05$  que implica 95% de seguridad de no cometer error de tipo I;  $Z_{1-\beta} =0,84$  para un  $\beta=0,2$  o sea 80% de poder estadístico o de no cometer error de tipo II;  $r$ : expectativa del coeficiente de correlación a encontrarse  $=0,5$  cuando no se desea aventurar un valor más preciso y en este caso en línea con los valores esperados de entre 0,5 a 0,7 hasta quizás 0,8;  $n'$  es el tamaño muestral corregido por pérdidas de información durante el estudio; y  $L$  es un ajuste por pérdidas de información durante la investigación que varía de 0 a casi 1.

Resolviendo  $n= 28,9835 \equiv 29$ . Por estos motivos se tomó típicamente 30 muestras.

Se seleccionaron tramos de vías pavimentadas y no pavimentadas en Chilca inicialmente pero se descartaron y se optó por vías en Ica y una vía en Cusco tras buscar vías aptas con apoyo de mapas viales, exploraciones en Google Earth y conocimientos previos.

Como preparativos a la medición se leyeron los manuales del software Roadroid, se exploró con más detalle las zonas elegidas y se planificó el viaje calculando los horarios tal que se tuviera suficiente luminosidad para filmar las pistas. Pocos días antes el vehículo fue llevado a mantenimiento, por lo que se aseguró su buen estado y el balanceo correcto de las llantas, factor crítico para la no corrupción de los datos. La montura ya estaba colocada tiempo atrás desde mediciones exploratorias.



Figura 3.4 Celular y filmadora en posiciones de medición. Elaboración: el autor

El día del viaje, pasando el peaje de Lurín, en un grifo se niveló la presión de las llantas a 30psi. Luego se avanzó hasta el km 250 de la Panamericana Sur para empezar las mediciones. El celular se fijó en su montura y esta se rigidizó. La configuración de Roadroid fue de 1,5 (valor por defecto) de sensibilidad para cIRI y longitud de segmento 200m, tipo de vehículo 4WD jeep type (Hilux/King Cab). Antes de medir cada juego de datos, en una posición plana se calibran a 0 las coordenadas X, Y, Z pudiendo variar de -2 a +2. Además se midió el ancho de la pista y berma de existir.



Figura 3.5 Nivelación de la presión de las llantas a 30psi. Elaboración: el autor

La medición consistió en arrancar desde una posición estacionada poco antes del hito que marca el inicio de la 1ra muestra para desarrollar la velocidad meta de 70 km/h (variando entre 60-75 km/h) en pavimento flexible y la mayor velocidad que se pueda mantener con seguridad en una vía no pavimentada. Habiendo presionado el botón de inicio en el aplicativo Roadroid y tras haber nombrado la medición, se recorrió cada sector hasta su final donde se detuvieron las lecturas.



Figura 3.6 Mediciones en la Panamericana Sur entre Paracas e Ica. Elaboración: el autor



El sector no pavimentado entre Paracas e Ica se dividió en varios tramos iniciando y deteniendo el aplicativo. No se hicieron pausas, como podría hacerse al pararse en un semáforo al medir una avenida, sino solamente se tomaron lecturas de inicio a fin para evitar posibles complicaciones al calcular los valores de IRI (que los puntos detenidos condicionen los primeros valores al volver a arrancar), y ya que no era necesario tomar lecturas continuas de todo el recorrido pues no se buscó obtener el IRI de toda la vía sino solo de suficientes unidades muestrales.

Participaron tres personas en las mediciones, si bien el sistema Roadroid puede ser operado por una sola. El chofer, el copiloto y operador del celular, y una tercera persona anotando en la bitácora incidencias que el copiloto le dictase como por ejemplo reductores de velocidad, cruces de tren u otros factores que pudieran afectar los datos o invalidar una muestra.

Con los datos completos recabados en simultáneo para cada localidad, videos e IRI, se procedió al trabajo de gabinete. Este consistió en editar y codificar con progresivas los cuadros de los videos; evaluar y anotar en las plantillas para calcular el índice del inventario de condición; y en descargar los valores IRI del servidor de Roadroid y asignarlos a sus unidades muestrales correspondientes. Finalmente se correlacionó estadísticamente.

La primera etapa fue preparar los videos. Se convirtieron a formato .AVI tal que sean legibles por el software Veedub64, se exportaron los cuadros decimando hasta uno de cada diez tal que se tenga un archivo de tamaño trabajable pero sin perder calidad gráfica, se redujo el peso de cada cuadro al 40% generalmente con el software IrfanView, se elaboró un factor de avance en Excel para etiquetar los cuadros identificando los hitos de kilometraje en las vías y otras referencias obtenidas de la bitácora o Google Earth, se renombró los cuadros con una plantilla Excel con macros, se etiquetó los cuadros con IrfanView, y se renombró de nuevo. El resultado fue videos con no demasiados cuadros y con progresivas de kilometraje para cada uno, tal que era sencillo delimitar el inicio y fin de cada muestra.



Figura 3.7 Video procesado. Carretera IC-105 Comatrana-Playa Carhuaz. Elaboración: el autor

Después, para cada localidad se consignó en una plantilla los tipos de daños y su gravedad para cada unidad muestral. Se usó una plantilla para vías asfaltadas y otra para vías no asfaltadas. Viendo los videos se elegían los puntos de inicio y fin y se avanzaba secuencialmente muestra a muestra, descartando aquéllas donde hubiera reductores de velocidad, o donde la velocidad de medición fuese menor de 60km/h (vías pavimentadas) o de 30 o 40km/h (vías no pavimentadas), o se presentara otra condición invalidante.

Luego, en el servidor de Roadroid se observan los datos graficados en mapas digitales para guiarse sobre su correspondencia y definir el punto exacto de inicio de cada medición, apoyado en Google Earth también. Los valores IRI agregados se descargan cada 200m, y cada 5m como apoyo auxiliar, en formato .txt copiables a Excel, donde se editan para compaginar el primer valor IRI con el inicio de la primera muestra y así poder asignar el valor IRI respectivo a cada tramo de 200m o 500m. En la mayoría de casos hubo que promediar valores de IRI por cuanto las lecturas IRI no suelen coincidir con los tramos elegidos para el inventario de condición.



Figura 3.8 Visualización de IRI Roadroid Panam. Sur km 1135-1141 (Ica – Nazca)  
 Fuente: Servidor de Roadroid. Elaboración: el autor

Se repitió este proceso, esta vez con solo dos personas, para un sector pavimentado más entre Combapata y Sicuani, Cusco. Tras todo esto obtuvimos para cada juego de datos series de 30+ valores. Serie del inventario de condición (0-500 o 0-1000), serie del IRI (0-20).

Finalmente, se emplearon las herramientas estadísticas y de gráficos en Excel para correlacionar las series en cada localidad y escenario y obtener un valor de correlación  $r$  (-1 a +1). Luego se evaluó la significación con el estadístico  $t$  para correlaciones.

### 3.5.1 Cálculo del índice del inventario de condición

Una vez recabada la información, editados los videos, y conformadas las plantillas; se procede por pasos según el procedimiento del capítulo 4 del manual referido de mantenimiento vial. Se expondrá el proceder para la localidad Ica-Nazca, sin considerar la berma.

Primero, se consignan en la plantilla cada categoría de daño en la columna respectiva a su severidad, y anotando la extensión total del daño en  $m^2$  para la mayoría de deterioros, en metros lineales para las fisuras transversales y longitudinales, y en número para los baches. Cada fila corresponde a una muestra. A cada localidad corresponde una hoja en Excel.

Tabla 3.4 Consignación de daños en plantilla para vía pavimentada

Gratas tipo piel de cocodrilo			Fisuras Longitudinales					Deformación por deficiencia estructural			Abultamiento			
Malla pequeña	Malla mediana	Malla grande	Fisuras finas (<1mm)	Área fisuras finas	Fisuras medias (1-3mm)	Área fisuras medias	Fisuras gruesas (>3mm)	Área fisuras gruesas	Prof. <2 cm	Prof. 2-4 cm	Prof. >4 cm	Prof. <5 mm	Prof. 6-12 mm	Prof. >12mm
			0.00	0.00		0.00		0.00				29.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				290.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				132.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				192.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				228.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				248.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				248.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				248.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				194.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00	8.48			120.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				204.00		
			0.00	0.00	30.00	6.00		0.00				204.00		
		22.00	0.00	0.00		0.00		0.00				159.50		
4.68		69.00	0.00	120.00	28.00	0.00		0.00				192.00		
			84.00	8.40		0.00	3.00	0.90				228.00		
			30.00	3.00	20.00	4.00		0.00				215.00		
			25.00	2.50	10.00	2.00		0.00				248.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				280.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				176.00	8.00	
			0.00	0.00		0.00		0.00				132.00	86.00	12.00
			80.00	8.00	20.00	4.00		0.00				268.00		
			30.00	3.00		0.00		0.00				216.00		
			90.00	9.00		0.00		0.00				224.00		
			95.00	9.50		3.00		0.90				248.00		
2.00			52.00	5.20		0.00		0.00				176.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00				180.00		
			0.00	0.00		0.00		0.00	4.68			180.00		

Elaboración: el autor

Los daños también pueden enlistarse uno a uno en una hoja de registro extensa, incluso anotando su ubicación en la unidad de muestra. Pero luego deberán agregarse por tipo de falla para anotarse en esta plantilla. Se optó por consignar los deterioros directamente en forma agregada por cuanto agilizó el ritmo de avance y solamente exige un poco más de esfuerzo mental.

Para la correlación en vías pavimentadas el cálculo del índice del IC se realizó considerando solo nueve parámetros y no los once que enlista el método. Esto debido a que se los dos últimos indicadores son únicamente para las bermas. La medición del IRI no considera en forma alguna las banquetas y entonces podrían distorsionarse los resultados de la comparación pues un instrumento estaría incluyendo en su medición elementos que el otro no. Entonces se adaptó el índice a uno que considere únicamente los concernientes a la superficie de rodadura de la vía. Empero en dos de los tres tramos pavimentados se calculó el índice con los 11 parámetros para evaluar la influencia de usar 9 u 11 parámetros.

Luego debe establecerse la extensión promedio ponderada. Este paso establece la proporción del tipo de daño en superficie afectada respecto al área total de la muestra. Desde aquí y en adelante, únicamente se trabajan con áreas, y se ignoran las severidades. La fórmula es:

$$EFp = \frac{\sum EF_{ij} * A_{ij}}{\sum A_{ij}}; EF_{ij} = \frac{A_{ij}}{A_s} * 100$$

Donde  $EFp$  es la extensión promedio ponderada;  $EF_{ij}$  es el porcentaje de extensión del daño;  $A_{ij}$  es la extensión del daño y  $A_s$  es el área muestral.

Tabla 3.5 Cálculo de las extensiones promedio ponderadas

Extensión Promedio Ponderada										
Grietas Tipo Piel de Cocodrilo	Grietas Longitudinales	Deformación por deficiencia estructural	Ahuellamiento	Reparaciones o parchados	Peladuras y desprendimiento	Baches (huecos)	Fisuras Transversales	Eiusdación	Elerna (daños puntuales)	Desnivel Calzada Berma
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.00	0.00	0.00	5.91	63.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	31.82	63.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	20.00	63.70	0.00	0.00	0.00	19.09	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	29.09	78.79	0.00	0.00	0.00	17.40	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	34.55	78.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	36.36	75.76	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	36.36	75.76	0.00	0.00	0.00	16.36	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	36.36	63.64	0.00	0.00	0.00	33.33	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	21.82	60.61	0.00	0.00	0.00	1.82	0.00	0.00
0.00	0.00	0.07	19.19	60.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	30.91	66.67	0.00	0.00	0.00	2.42	0.00	0.00
0.00	0.91	0.00	30.91	60.61	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.85	0.00	0.00	24.17	17.42	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.27	3.94	0.00	27.73	72.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.16	0.00	34.55	75.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.54	0.00	32.27	63.70	0.00	0.00	0.61	0.11	0.00	0.00
0.00	0.35	0.00	36.36	60.61	0.00	0.00	0.39	4.32	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	31.82	78.79	6.36	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	24.45	78.79	4.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	16.91	84.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.01	0.00	39.39	78.79	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00
0.00	0.45	0.00	32.73	75.76	0.00	0.00	1.36	0.00	0.00	0.00
0.00	1.36	0.00	25.45	72.73	0.00	0.00	0.98	0.41	0.00	0.00
0.00	0.79	0.00	34.29	68.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0.74	0.00	30.86	71.43	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	25.71	42.86	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.00
0.00	0.00	0.67	25.71	37.14	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Elaboración: el autor

Para este tramo cada muestra tiene un ancho de 3,3m y longitud de 200m resultando en un  $A_s = 660m^2$ . En general los tipos de daño con mayor incidencia en área son las mallas de cocodrilo, los ahuellamientos y las reparaciones. El indicador baches tiene un  $EFp$  distintivo que es igual al número total de sus incidencias.

El tercer paso es calcular el puntaje de condición respectivo a cada categoría de daño. Significa asignar un puntaje a cada daño según la magnitud de su  $EFp$ . El método establece tres rangos de puntaje según la proporción del área muestral afectada. Es necesario interpolar muchas veces para asignar el valor. En Excel se programa mediante condicionales anidados con factores de interpolación. Por ejemplo para las grietas tipo piel de cocodrilo:

Puntaje=SI(BB5=0,0,SI(Y(BB5>0,BB5<10),BB5\*40/10,SI(Y(BB5>=10,BB5<=30),(40+(B B5-10)\*8),SI(BB5>30,200,"")))))

Tabla 3.6 Extracto de puntajes de condición por tipo de falla

Puntaje de condición según extensión de cada tipo de deterioro o falla			
0: Sin fallas o sin deterioros	1: Leve EFp = menor a 10%	2: Moderado EFp = entre 10% y 30%	3: Severo EFp = mayor a 30%
0	> 0 y < 20	> 20 y < 100	100
0	> 0 y < 20	> 20 y < 100	100
0: Sin fallas o sin deterioros	1: Leve EFp = <10 baches	2: Moderado EFp = 10 a 20 baches	3: Severo EFp = >20 baches
0	> 0 y < 20	> 20 y < 100	100

Fuente: Manual de carreteras conservación y mantenimiento vial MTC (2018). Elaboración: el autor

Tabla 3.7 Puntajes de condición por tipo de daño

Puntaje de Condición										
Grietas Tipo Piel de Cocodrilo	Grietas Longitudinales	Deformación por deficiencia estructural	Ahusamiento	Reparaciones o parchados	Peladura y desprendimiento	Baches (huecos)	Fisuras Transversales	Ezudación	Berms (daños puntuales)	Desnivel Calzada - Berms
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	0,00	0	11,891918	50	0	0	0,00	0	0	0
0	0,00	0	100	50	0	0	0,00	0	0	0
0	0,00	0	50	50	0	0	0,00	56,363636	0	0
0	0,00	0	96,3636364	50	0	0	0,00	49,60457	0	0
0	0,00	0	100	50	0	0	0,00	0	0	0
0	0,00	0	100	50	0	0	0,15	0	0	0
0	0,00	0	100	50	0	0	0,00	45,454545	0	0
0	0,00	0	100	50	0	0	0,00	100	0	0
0	0,00	0	67,2727273	50	0	0	0,00	3,6363636	0	0
0	0,00	0,48484848	52,7272727	50	0	0	0,00	0	0	0
0	0,00	0	100	50	0	0	0,00	4,8484848	0	0
0	1,82	0	100	50	0	5	0,00	0	0	0
19,39393939	0,00	0	76,6666667	24,84848485	0,606060606	0	0,00	0	0	0
50,18909651	7,88	0	90,9090909	50	0	0	0,00	0	0	0
0	2,33	0	100	50	0	0	0,00	0	0	0
0	1,08	0	100	50	0	0	0,61	0,2272727	0	0
0	0,69	0	100	50	0	0	0,39	8,6363636	0	0
0	0,00	0	100	50	6,363636364	0	0,38	0	0	0
0	0,00	0	77,7818431	50	4,545454545	0	0,00	0	0	0
0	0,00	0	47,6363636	50	0	0	0,00	0	0	0
0	2,02	0	100	50	0	0	0,64	0	0	0
0	0,91	0	100	50	0	0	1,36	0	0	0
0	2,73	0	100	50	0	0	0,98	0,8181818	0	0
0	1,57	0	100	50	0	0	0,00	0	0	0
1,6	1,49	0	100	50	0	0	0,00	1,3028571	0	0
0	0,00	0	82,8571429	50	0	0	0,00	1,4285714	0	0
0	0,00	1,337142857	82,8571429	50	1,285714286	0	0,00	0	0	0

Elaboración: el autor

La última etapa es sumar en cada fila los puntajes de condición parciales para obtener el puntaje total que se descuenta del puntaje máximo posible, 1000 para este caso. Además de las tablas del método pueden asignarse calificativos de ‘bueno’, ‘regular’ o ‘malo’ y el tipo de conservación que requerirá ‘rutinaria’, ‘periódica’ o ‘rehabilitación/reconstrucción’.

Tabla 3.8 Esquema de los resultados del índice del IC

Resultados			
Puntaje de Condición	Calificación de Condición	Tipo de Condición	Tipo de Conservación
61.81818182	938.1818182	Bueno	Conservación Rutinaria
150	850	Bueno	Conservación Rutinaria
166.3636364	833.6363636	Bueno	Conservación Rutinaria
195.9682067	804.0317933	Bueno	Conservación Rutinaria
150	850	Bueno	Conservación Rutinaria
150.15	849.85	Bueno	Conservación Rutinaria
195.4545455	804.5454545	Bueno	Conservación Rutinaria
250	750	Regular	Conservación Periódica
120.9090909	879.0909091	Bueno	Conservación Rutinaria
102.8757576	897.1242424	Bueno	Conservación Rutinaria
154.8484848	845.1515152	Bueno	Conservación Rutinaria
156.8181818	843.1818182	Bueno	Conservación Rutinaria
121.5151515	878.4848485	Bueno	Conservación Rutinaria
198.9769753	801.0230247	Bueno	Conservación Rutinaria
152.3255132	847.6744868	Bueno	Conservación Rutinaria
151.9155844	848.0844156	Bueno	Conservación Rutinaria
159.7205387	840.2794613	Bueno	Conservación Rutinaria
156.7424242	843.2575758	Bueno	Conservación Rutinaria
132.3273977	867.6726023	Bueno	Conservación Rutinaria
97.63636364	902.3636364	Bueno	Conservación Rutinaria
152.6641414	847.3358586	Bueno	Conservación Rutinaria
152.2727273	847.7272727	Bueno	Conservación Rutinaria
154.530303	845.469697	Bueno	Conservación Rutinaria
151.5714286	848.4285714	Bueno	Conservación Rutinaria
154.3885714	845.6114286	Bueno	Conservación Rutinaria
134.2857143	865.7142857	Bueno	Conservación Rutinaria
135.48	864.52	Bueno	Conservación Rutinaria

Elaboración: el autor

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

Para cada localidad, se presenta una tabla con los valores IRI e IC para cada muestra con sus progresivas de inicio y fin, y sus promedios. El valor IC principal, IC sin berma, resulta de no restar los puntajes de dos parámetros específicos para banquetas.

También se incluyen las tablas de correlación entre el IRI y el IC (IC sin berma) y entre IRI e IC con berma en algunos casos.

Además, se añade un gráfico de líneas para los valores del IRI, y un gráfico de anillo para ver la proporción en área de los tipos de daño en cada caso. No son porcentajes del área total de la muestra, sino de la suma de áreas correspondientes a cada tipo de deterioro.

Finalmente, los gráficos de dispersión de los datos con que se calcularon las correlaciones.



## 4.1 Vías pavimentadas

### 4.1.1 Panamericana Sur (1S) km 250+600 – 257+400

Tabla 4.1 IRI E IC PARA VÍA PAVIMENTADA PARACAS - ICA					
Muestra	pk <sub>i</sub>	pk <sub>f</sub>	IC sin berma	IC con berma	IRI
1	250600	250800	888.636	738.636	1.380
2	250800	251000	823.182	673.182	1.310
3	251000	251200	890.143	740.143	1.010
4	251200	251400	967.985	817.985	1.010
5	251400	251600	931.189	781.189	1.030
6	251600	251800	902.030	752.030	0.990
7	251800	252000	966.470	816.470	1.200
8	252000	252200	909.380	759.380	1.430
9	252200	252400	939.848	789.848	1.440
10	252400	252600	955.730	805.730	1.210
11	252600	252800	960.110	810.110	1.030
12	252800	253000	952.294	837.394	1.010
13	253400	253600	851.515	701.515	1.010
14	253600	253800	968.182	818.182	1.180
15	253800	254000	984.850	834.850	1.230
16	254000	254200	938.657	788.657	1.160
17	254200	254400	903.939	863.939	1.070
18	254400	254600	929.137	779.137	0.930
19	255000	255200	949.486	802.819	1.380
20	255200	255400	962.642	847.348	1.280
21	255400	255600	965.062	815.062	1.430
22	255600	255800	937.543	787.543	1.580
23	255800	256000	954.896	804.896	1.450
24	256000	256200	936.136	786.136	1.120
25	256200	256400	956.400	806.400	1.060
26	256400	256600	946.670	946.670	1.220
27	256600	256800	878.743	728.743	1.370
28	256800	257000	958.271	808.271	1.560
29	257000	257200	923.332	773.332	1.610
30	257200	257400	959.287	809.287	1.430
<b>PROMEDIO</b>			<b>933.058</b>	<b>794.163</b>	<b>1.237</b>

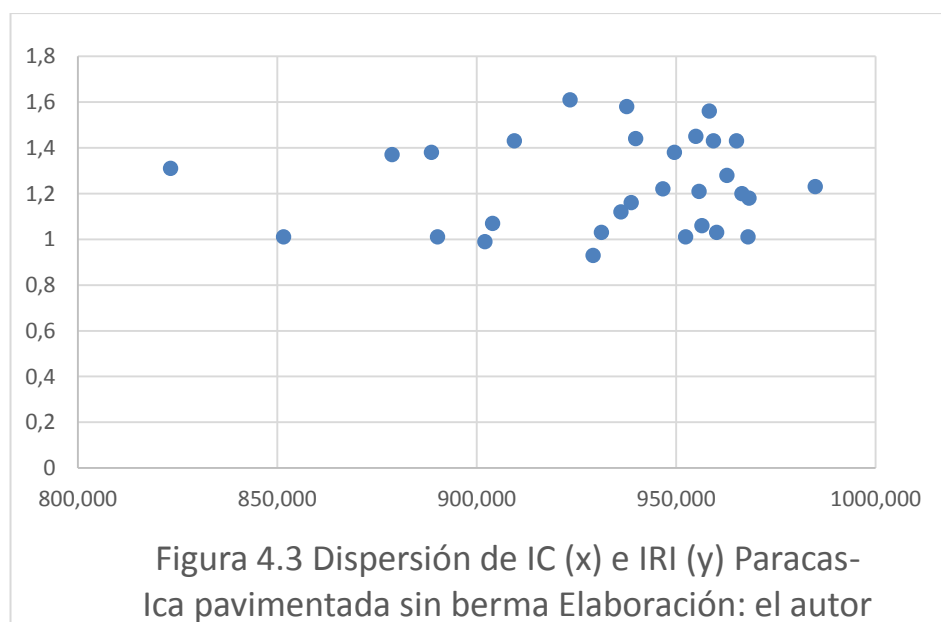
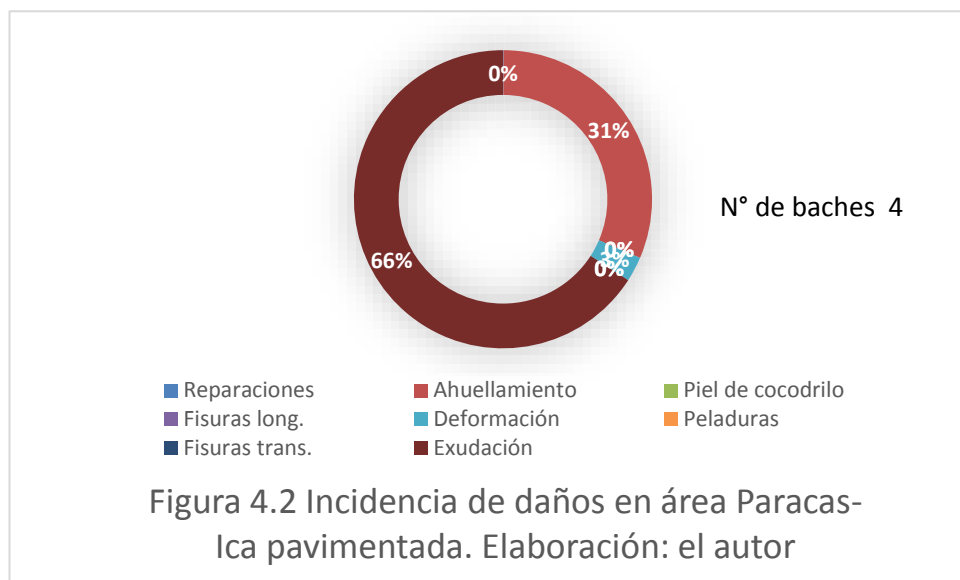
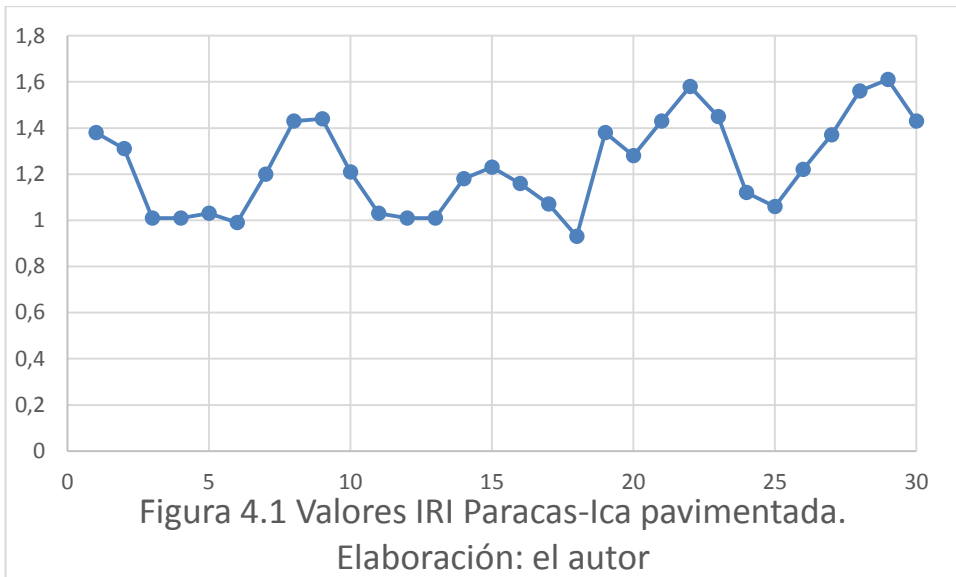
Elaboración: el autor

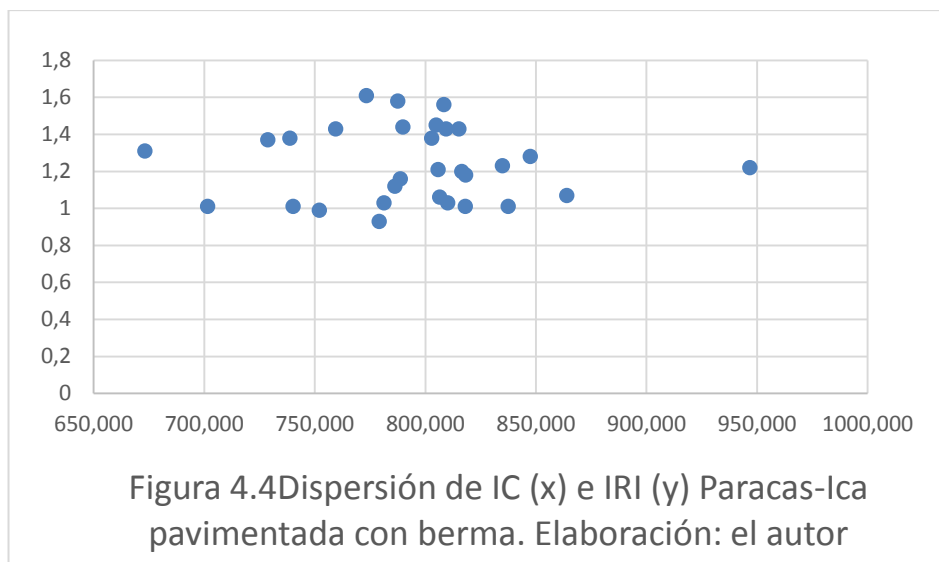
Tabla 4.2 CORRELACIÓN SIN BERMA PARACAS-ICA PAVIMENTADA		
	Columna 1	Columna 2
Columna 1	1	
Columna 2	<b>0.073254842</b>	1

Elaboración: el autor

Tabla 4.3 CORRELACIÓN CON BERMA PARACAS-ICA PAVIMENTADA		
	Columna 1	Columna 2
Columna 1	1	
Columna 2	<b>-0.03779093</b>	1

Elaboración: el autor





#### 4.1.2 Panamericana Sur (1S) km 335 – 341

Tabla 4.4 IRI E IC PARA VÍA PAVIMENTADA ICA-NAZCA				
Muestra	pk1	pkf	IC sin berma	IRI
1	335000	335200	938.182	5.290
2	335200	335400	850.000	5.040
3	335400	335600	833.636	4.840
4	335600	335800	804.032	4.580
5	335800	336000	850.000	4.270
6	336000	336200	849.850	4.180
7	336200	336400	804.545	5.250
8	336400	336600	750.000	5.810
9	336600	336800	879.091	5.160
10	336800	337000	897.124	5.300
11	337000	337200	845.152	5.660
12	337200	337400	843.182	5.230
13	337400	337600	878.485	5.910
14	337600	337800	801.023	3.870
15	337800	338000	847.674	4.860
16	338000	338200	848.084	4.060
17	338200	338400	840.279	3.990
18	338400	338600	843.258	3.720
19	338600	338800	867.673	5.700
20	338800	339000	902.364	6.280
21	339000	339200	847.336	5.940
22	339200	339400	847.727	6.000
23	339400	339600	845.470	6.470
24	339600	339800	848.429	7.690
25	339800	340000	845.611	7.590
26	340000	340200	865.714	6.420

27	340200	340400	864.520	7.050
28	340400	340600	849.057	6.000
29	340600	340800	849.300	6.490
30	340800	341000	858.714	6.430
<b>PROMEDIO</b>			<b>849.850</b>	<b>5.503</b>

Elaboración: el autor

Tabla 4.5 CORRELACIÓN SIN BERMA ICA-NAZCA PAVIMENTADA		
	Columna 1	Columna 2
Columna 1	1	
Columna 2	<b>0.1835953</b>	1

Elaboración: el autor

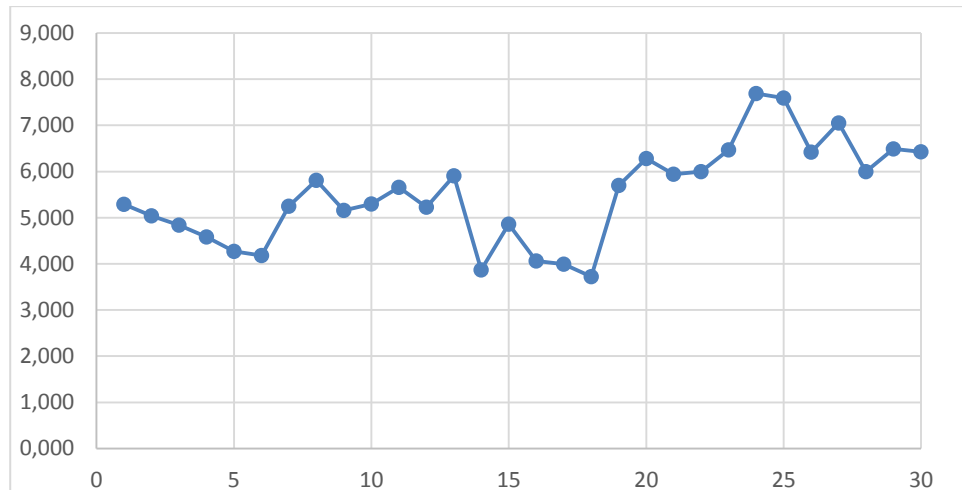


Figura 4.5 Valores IRI Ica-Nazca pavimentada.

Elaboración: el autor

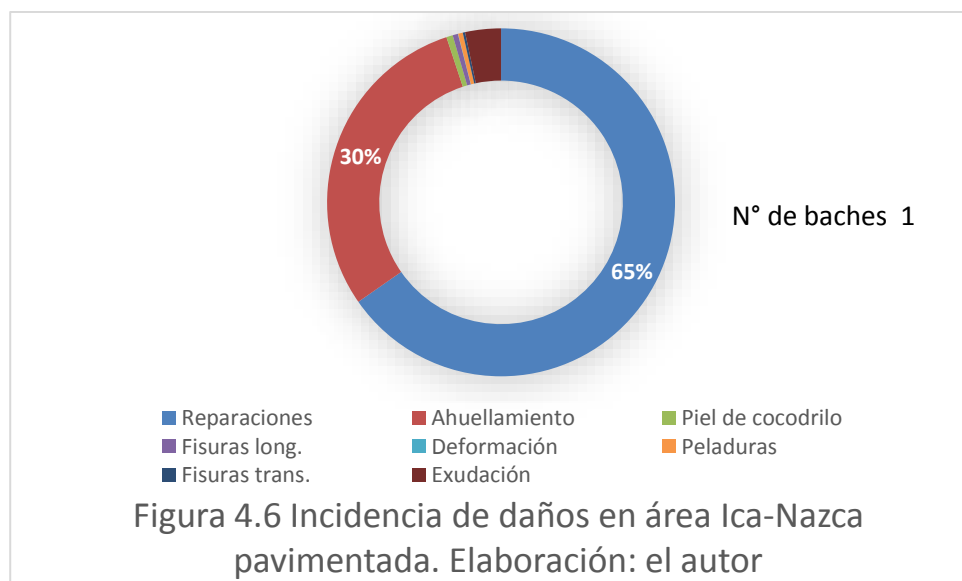
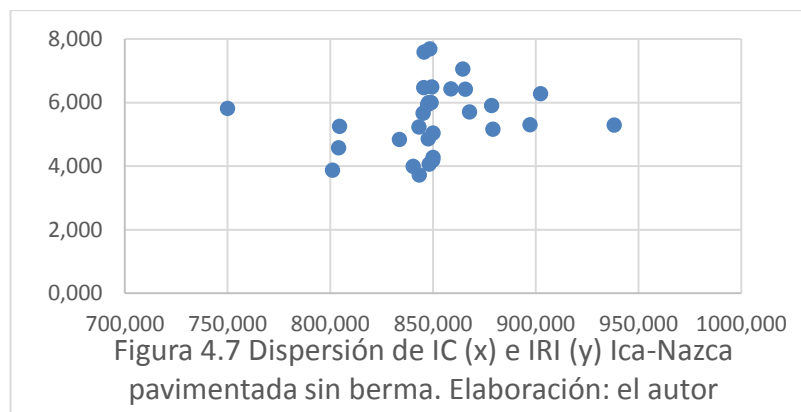


Figura 4.6 Incidencia de daños en área Ica-Nazca pavimentada. Elaboración: el autor



### 4.1.3 Carretera Sicuani - Combapata km 1094 – 1088

Tabla 4.6 IRI E IC PARA VÍA PAVIMENTADA SICUANI-COMBAPATA					
Muestra	pk1	pkf	IC sin berma	IC con berma	IRI
1	1094000	1093800	921.788	771.788	3.018
2	1093800	1093600	857.297	807.297	3.626
3	1093600	1093400	836.961	686.961	5.04
4	1093400	1093200	878.894	728.894	5.962
5	1093200	1093000	745.420	595.420	5.926
6	1093000	1092800	851.452	701.452	5.692
7	1092800	1092600	960.356	830.356	5.898
8	1092600	1092400	752.424	622.424	7.43
9	1092400	1092200	828.451	778.451	6.21
10	1092200	1092000	906.027	756.027	4.868
11	1092000	1091800	898.873	748.873	4.974
12	1091800	1091600	876.073	726.073	5.508
13	1091600	1091400	924.242	774.242	7.068
14	1091400	1091200	728.258	578.258	7.614
15	1091200	1091000	845.673	710.673	9.318
16	1091000	1090800	864.029	714.029	5.208
17	1090800	1090600	921.613	771.613	4.654
18	1090600	1090400	867.719	717.719	4.74
19	1090400	1090200	881.612	731.612	5.112
20	1090200	1090000	889.370	751.592	5.568
21	1090000	1089800	869.465	719.465	3.498
22	1089800	1089600	884.511	764.511	3.964
23	1089600	1089400	877.073	727.073	3.816
24	1089400	1089200	883.611	733.611	4.674
25	1089200	1089000	832.556	682.556	5.048
26	1089000	1088800	801.585	651.585	5.3
27	1088800	1088600	919.821	769.821	4.752
28	1088600	1088400	868.935	868.935	3.598
29	1088400	1088200	878.919	728.919	3.916
30	1088200	1088000	887.297	737.297	3.646
<b>PROMEDIO</b>			<b>864.677</b>	<b>729.584</b>	<b>5.188</b>

Elaboración: el autor

**Tabla 4.7 CORRELACIÓN SIN BERMA SICUANI-COMBAPATA PAV.**

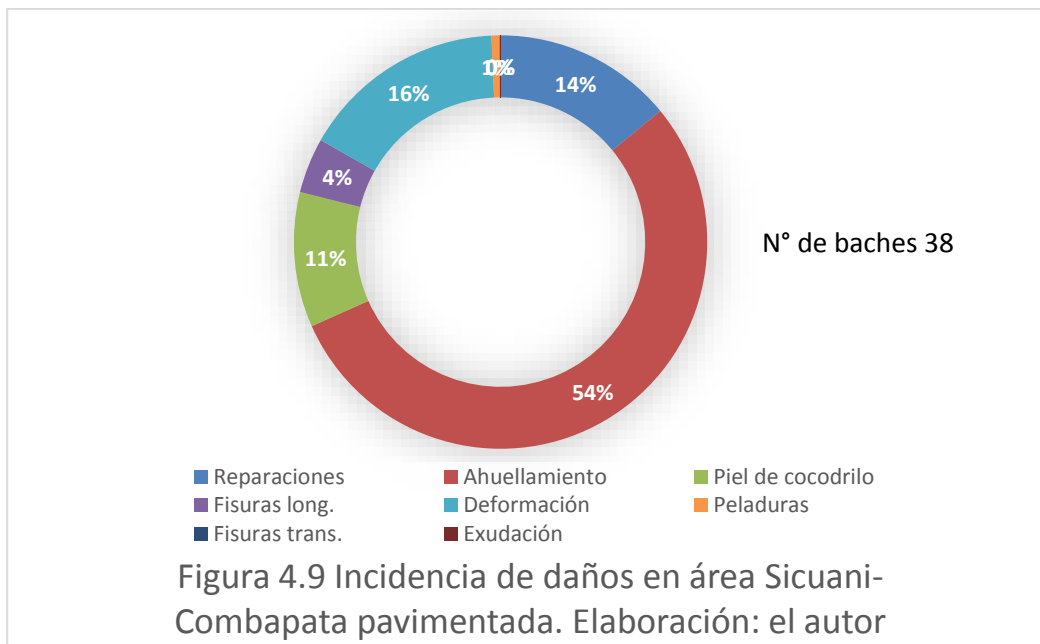
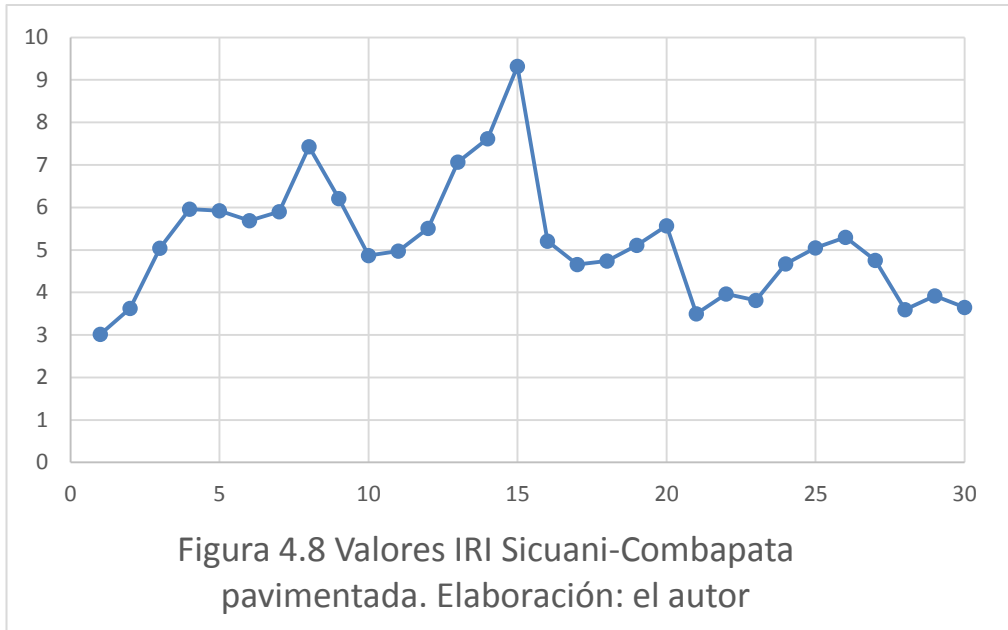
	Columna 1	Columna 2
Columna 1	1	
Columna 2	<b>-0.4213823</b>	1

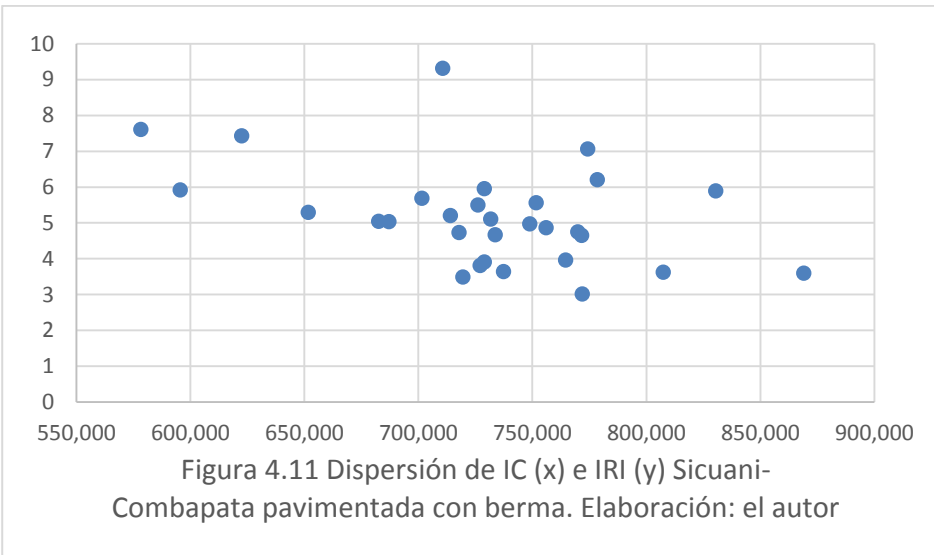
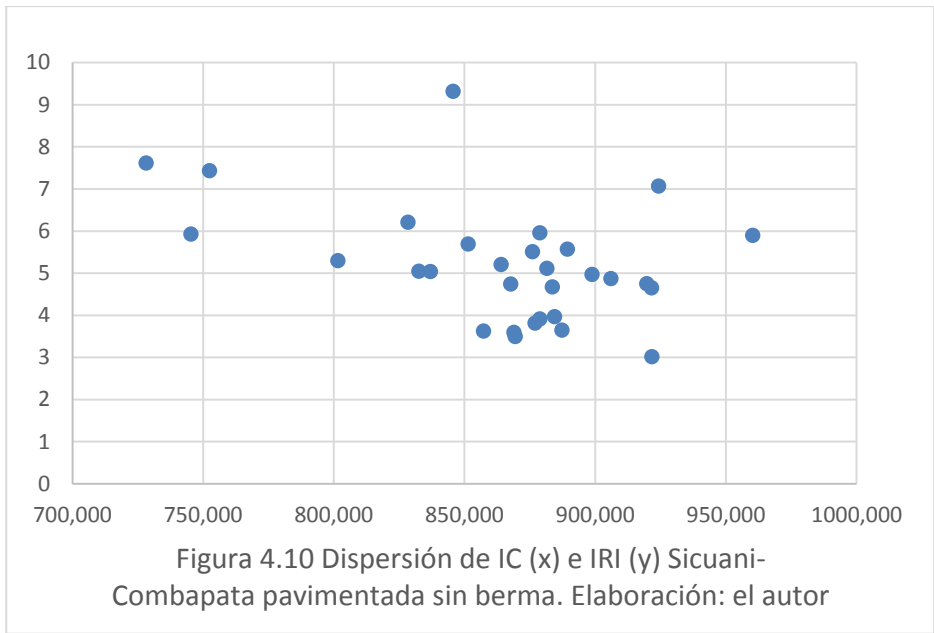
Elaboración: el autor

**Tabla 4.8 CORRELACIÓN CON BERMA SICUANI-COMBAPATA PAV.**

	Columna 1	Columna 2
Columna 1	1	
Columna 2	<b>-0.439845327</b>	1

Elaboración: el autor





## 4.2 Vías no pavimentadas

### 4.2.1 Panamericana Sur (1S) km 249 – 271+205

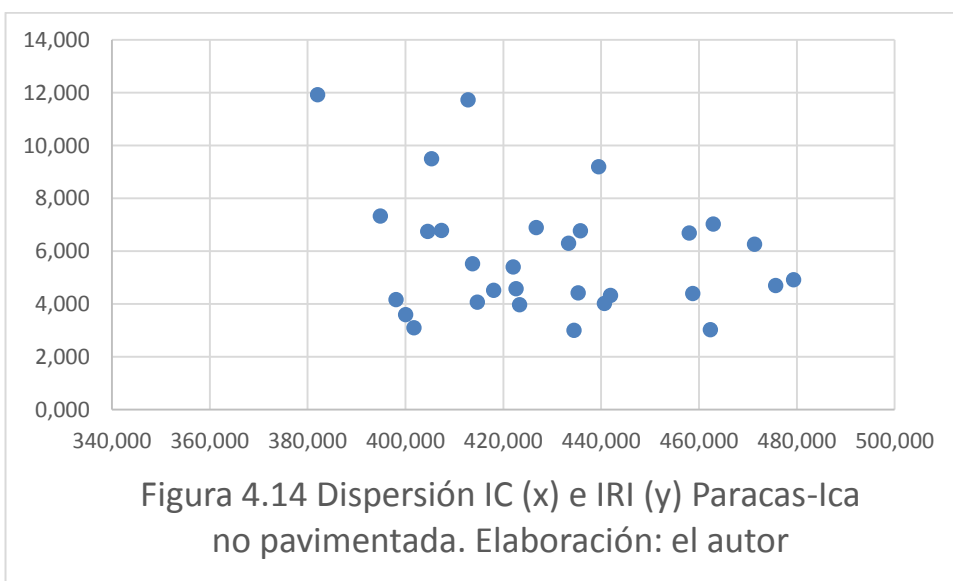
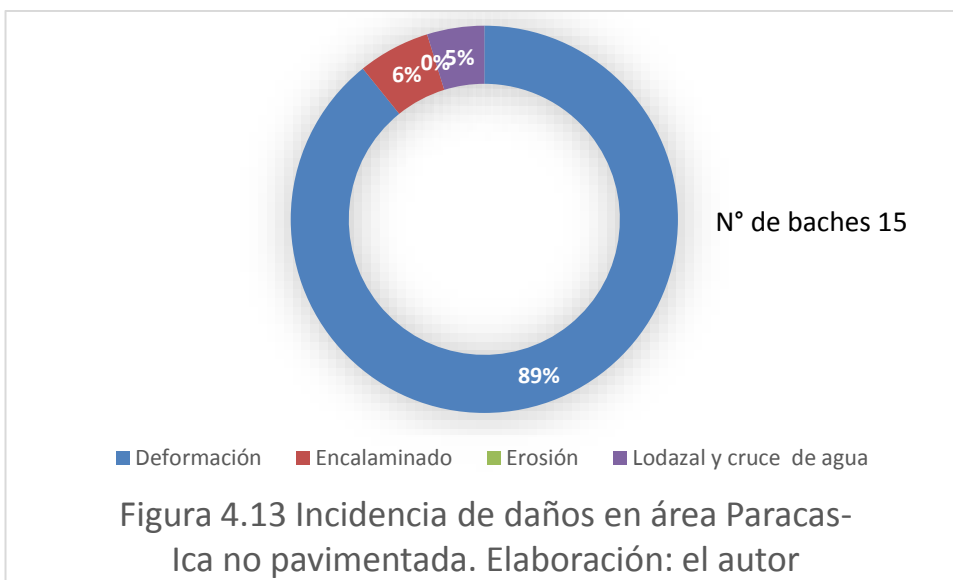
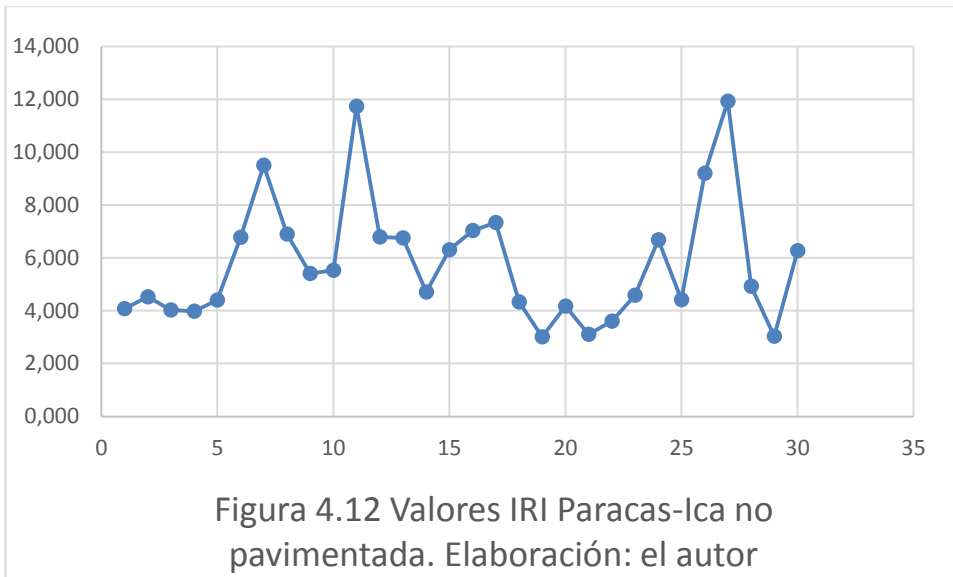
<b>Tabla 4.9 IRI E IC PARA VÍA NO PAVIMENTADA PARACAS-ICA</b>				
<b>Muestra</b>	<b>pki</b>	<b>pkf</b>	<b>IC sin berma</b>	<b>IRI</b>
1	249000	249500	414.667	4.080
2	249500	250000	418.000	4.524
3	250000	250500	440.600	4.032
4	250500	251000	423.317	3.980
5	251000	251500	458.667	4.404
6	251500	252000	435.707	6.784
7	252000	252500	405.267	9.506
8	252500	253000	426.667	6.902
9	253000	253500	422.000	5.416
10	253500	254000	413.667	5.532
11	254000	254500	412.733	11.742
12	254500	255000	407.333	6.794
13	255000	255500	404.533	6.752
14	256000	256500	475.663	4.706
15	256500	257000	433.333	6.306
16	257000	257500	462.863	7.034
17	257500	258000	394.833	7.342
18	258000	258500	441.867	4.328
19	259500	260000	434.417	3.014
20	260000	260500	398.000	4.179
21	260500	261000	401.667	3.111
22	261000	261500	400.000	3.601
23	261500	262000	422.560	4.592
24	262000	262500	457.950	6.6990
25	262500	263000	435.267	4.423
26	263000	263500	439.458	9.204
27	263500	264000	382.000	11.930
28	267050	267550	479.333	4.930
29	270705	271205	462.280	3.030
30	258500	259000	471.333	6.276
<b>PROMEDIO</b>			<b>429.199</b>	<b>5.838</b>

Elaboración: el autor

<b>Tabla 4.10 CORRELACIÓN SIN BERMA PARACAS-ICA NO PAVIMENTADA</b>		
	<i>Columna 1</i>	<i>Columna 2</i>
Columna 1	1	
Columna 2	<b>-0.273891</b>	1

Elaboración: el autor





#### 4.2.2 Carretera Comatrana – Playa Carhuaz (IC 105) km 2.5 – 25

<b>Tabla 4.11 IRI E IC PARA VÍA NO PAVIMENTADA COMATRANA-PLAYA CARHUAZ</b>				
<b>Muestra</b>	<b>pki</b>	<b>pkf</b>	<b>IC sin berma</b>	<b>IRI</b>
1	2500	3000	389.330	4.190
2	3000	3500	393.333	5.102
3	4500	5000	419.556	4.665
4	5000	5500	394.373	10.088
5	5500	6000	389.903	5.726
6	6000	6500	382.000	9.348
7	6500	7000	410.041	7.544
8	7000	7500	405.396	6.870
9	7500	8000	390.000	5.220
10	8000	8500	396.520	6.126
11	8500	9000	432.261	3.473
12	9000	9500	439.634	3.604
13	9500	10000	431.333	3.610
14	10000	10500	396.598	3.586
15	10500	11000	377.333	4.162
16	11000	11500	394.441	4.863
17	11500	12000	395.520	4.783
18	12000	12500	396.800	5.045
19	12500	13000	389.689	5.792
20	13000	13500	394.780	5.167
21	14000	14500	394.000	1.902
22	14500	15000	457.468	5.256
23	15500	16000	378.062	10.590
24	16000	16500	420.622	10.981
25	16500	17000	384.800	9.050
26	17000	17500	385.289	9.477
27	18000	18500	378.400	9.432
28	18500	19000	385.774	12.939
29	19000	19500	386.270	11.952
30	19500	20000	399.273	7.424
31	20000	20500	388.622	6.717
32	20500	21000	377.600	7.010
33	21000	21500	414.844	5.922
34	21500	22000	390.880	5.740
35	22000	22500	420.293	6.195
36	22500	23000	415.314	7.229
37	23000	23500	387.022	9.091
38	23500	24000	380.800	8.966
39	24000	24500	406.122	14.424
40	24500	25000	389.333	8.982
<b>PROMEDIO</b>			<b>398.991</b>	<b>6.956</b>

Elaboración: el autor

Tabla 4.12 CORRELACIÓN SIN BERMA COMATRANA-PLAYA CARHUAZ NO PAVIMENTADA		
	Columna 1	Columna 2
Columna 1	1	
Columna 2	<b>-0.316077</b>	1

Elaboración: el autor

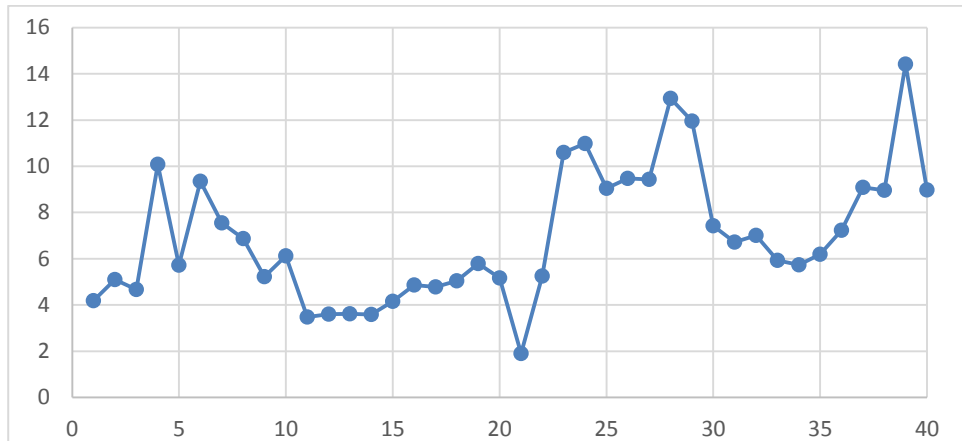


Figura 4.15 Valores IRI Comatrana-Playa Carhuaz no pavimentada. Elaboración: el autor

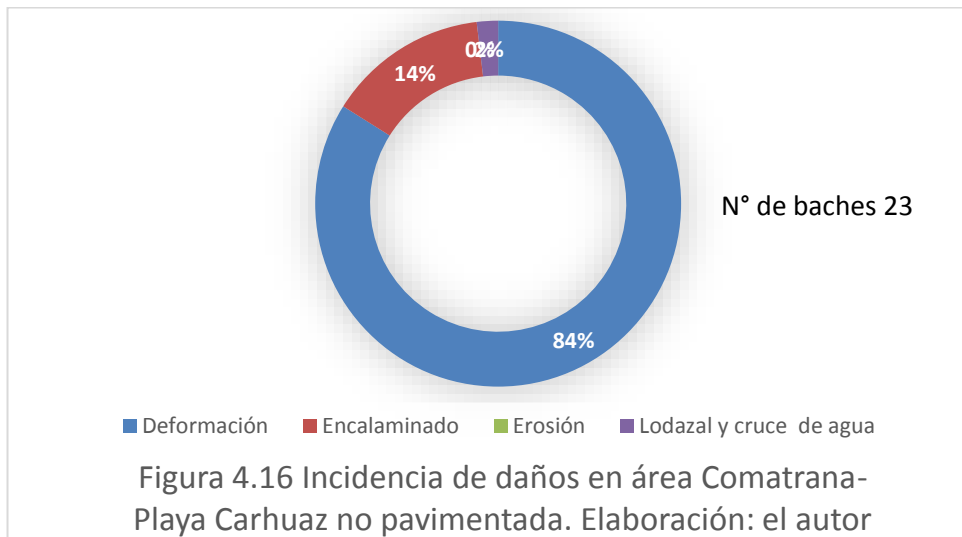
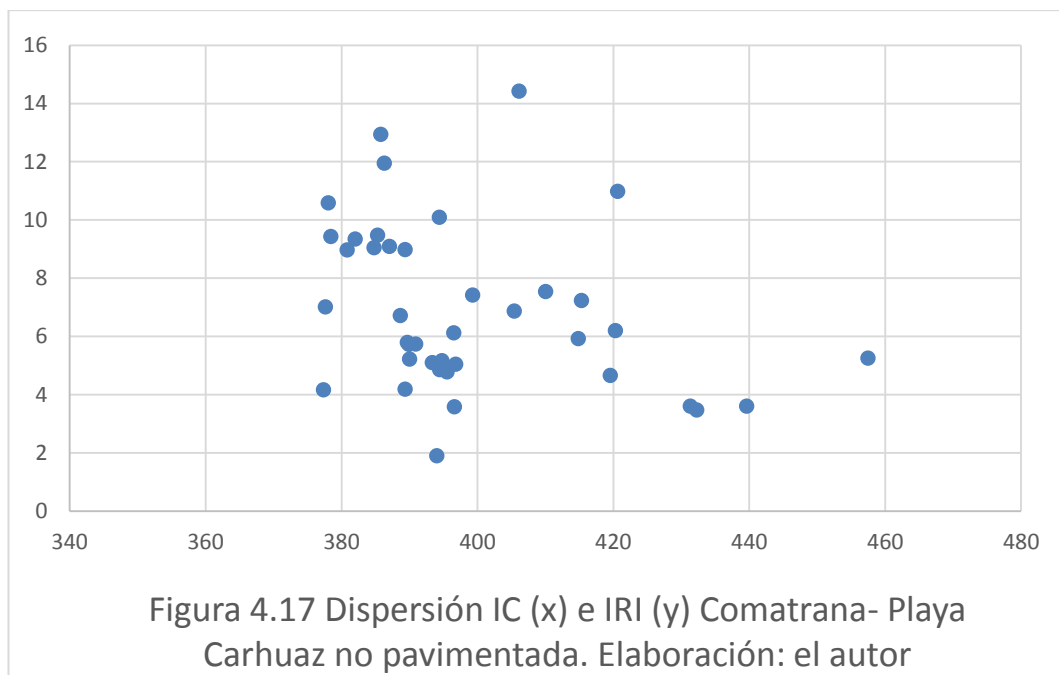


Figura 4.16 Incidencia de daños en área Comatrana-Playa Carhuaz no pavimentada. Elaboración: el autor



### 4.3 Pruebas de significación

A priori, se calculó el tamaño muestral para que sea una correlación significativa, y a posteriori, se empleó el estadístico t para correlación. Se acepta o rechaza la hipótesis de correlación nula ( $H_0$ ) según  $p > \alpha$  o  $p < \alpha$ . Aquéllas donde se rechaza  $H_0$  son las consideradas significativas.

Tabla 4.13 Resultados del estadístico de contraste t para correlación

	Paracas-Ica pavimentada	Ica-Nazca pavimentada	Sicuni- Combapata pavimentada	Paracas-Ica no pavimentada	Comatrana- Carhuaz no pavimentada
r (s/b pav)	-0.03779	0.183595	-0.42318	-0.27389	-0.31608
r (c/b pav)	0.073255		-0.43985		
n	30	30	30	30	40
$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
p (s/b pav)	0.42142	0.16573	0.0099	0.071517	0.02346
p (c/b pav)	0.35023		0.0075		
Significación	aceptada $H_0$	aceptada $H_0$	rechazada $H_0$	aceptada $H_0$	rechazada $H_0$
	aceptada $H_0$		rechazada $H_0$		

Elaboración: el autor

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN**

#### **5.1 Validez interna**

Validez de los instrumentos: Tanto el IRI como el inventario de condición son métodos ya firmemente establecidos y con un largo historial de aplicación. El IRI se formula en los 1970 con el respaldo del Banco Mundial y actualmente es ampliamente usado internacionalmente. En el Perú ya tiene más de 20 años y es el factor crítico en la evaluación del desempeño de las concesiones viales.

El inventario de condición es una versión derivada y simplificada del Pavement Condition Index y se aplica a nivel nacional para la programación del mantenimiento vial. Ambos son los principales indicadores del estado de las vías para la gestión nacional de activos viales.

Debe decirse que el inventario de condición puede ser poco preciso por cuanto la consignación de los daños es una inspección visual que puede variar de persona a persona tanto en que se obvian algunos deterioros o se asignen extensiones o severidades distintas. Además el nivel de detalle con que se inspecciona es un factor relevante pues esta puede hacerse en forma sucinta o detallada según el tiempo y esfuerzo que se considere adecuado dedicarle. En la práctica las empresas de estudios viales a veces realizan esta

inspección de manera veloz para lograr rendimientos de avance elevados y lo realizan con personal auxiliar, a veces jornaleros, lo que reduce y dispersa el nivel de pericia de quien mide. Esto se debe a que en la práctica no es muy relevante la precisión en el nivel de deterioro sino el orden de magnitud del daño y a que se suele trabajar con tiempos ajustados.

Validez de dominio: El daño de una superficie de rodadura es caracterizado por todos los tipos de afectaciones que puede presentar. El rango total o casi total de las imperfecciones posibles para cada tipo de vía sea de grava, afirmada, de pavimento flexible o de pavimento rígido ya ha sido tipificado. El método Vizir de Francia tiene un catálogo amplio de daños y a cada uno le asigna 3 niveles de severidad. El método PCI recoge esta estrategia, y el inventario de condición del MTC que se basa en el PCI, también.

El inventario de condición es escaso en el número de parámetros que considera. Sin embargo recoge aquellos que tienen la mayor influencia en el nivel general de daño. Además varios de los parámetros extra del PCI sí son considerados al consignar los daños del inventario de condición por cuanto estos indicadores son variaciones ligeras o especializaciones que a efectos prácticos y en la inspección visual son poco distinguibles de aquellos principales de los que derivan y tienen el mismo o menor impacto al deterioro global.

El IRI por su parte no recoge los parámetros que determinan el daño. Actúa indirectamente al medir una huella de desniveles verticales. Todas las categorías de daño generan depresiones o elevaciones respecto a un nivel plano ideal. Así el IRI recoge las afectaciones en forma global y por muestreo. Precisión que puede aumentarse tomando múltiples huellas y promediándolas.

Entonces se concluye que el inventario de condición sí tiene una importante validez de dominio mientras que el IRI no, pero sí un nivel moderado.

Validez de la muestra: Se refiere a la uniformidad o coherencia entre las muestras, a la manera en que estas se eligieron del universo posible, o sea si fueron elegidas con sesgo o no, si son representativas o no, y si estas poseen las características relevantes a las mediciones que la investigación necesita.

Las muestras son tramos viales de longitud uniforme según la categoría sea vía pavimentada o no pavimentada. El ancho es uniforme dentro de cada juego de datos, y la variación entre series no es perjudicial por cuanto esto no afecta al IRI y el inventario de condición evalúa por proporciones de áreas dañadas respecto de las áreas totales respectivas. Además uniformizar todos los anchos reduciría la validez externa de los resultados.

El universo elegible se redujo a vías mayormente planas y rectas para eliminar la influencia del IRI característico en las mediciones en la Panamericana Sur y minimizarla en los tramos de Comatrana-Carhuaz y Sicuani-Combapata. Dentro de este la selección de muestras no fue aleatorio, se guio por la conveniencia y la especial aptitud para obtener resultados más visibles. Así se optó por vías de Ica por distancia, se eligió primero vías marcadamente planas y rectas y posteriormente vías más típicas para aumentar los escenarios evaluados, y se procuró medir lugares que mostraran un nivel de daño importante o visible para que la correlación sea apreciable. Esta selección no ha sesgado los datos solo a los mejores posibles, sino ha seleccionado los lugares donde estos se expresan con más claridad, donde la correlación está más desprovista de factores invalidantes.

En algunas de las localidades, no todas las unidades muestrales son contiguas ya que algunas debieron eliminarse por ir a baja velocidad o presentar reductores de velocidad u otros como indica el cálculo del IRI. Por cuanto la investigación no pretende calcular el IRI de la vía en cuestión sino tomar un número suficiente de muestras homogéneas que pudieran ser aleatorias mientras estén todas en la localidad, esta no contigüidad no afecta los datos.

El tamaño de las muestras, típicamente 30 para cada juego de datos, es suficiente como se demostró por dos métodos. Sea porque entra en la recomendación de 30-50 muestras para una investigación descriptiva, sea por

el cálculo realizado en el subtítulo 3.5. En el cálculo se trabaja con un 95% de confianza, nivel generalizado en encuestas e investigaciones, y con 80% de poder estadístico, empleando un  $\beta=0,2$  que es el valor máximo típico. O sea se trabajó asumiendo la menor potencia de prueba estadística usualmente elegida. El valor de correlación estimado de antemano se asumía elevado o al menos moderado por lo que elegir el valor de 0,5 es adecuado sea como valor esperado elegido pero también como valor a usarse por defecto en caso no se desee aventurar qué mostrarán los resultados obtenidos.

## 5.2 Comparaciones

Respecto a la teoría sobre los valores de IRI por tipo y estado de vía, ver figura 2,5, los valores obtenidos se corresponden con los esperables. En el tramo pavimentado Paracas-Ica el valor de 1,237 es menor al de una pista nueva y en el rango de una pista de aeropuerto, pero esto puede deberse a que la Panamericana Sur es una vía especialmente bien conservada y a que aquí la influencia del IRI característico fue nula, lo que tiende a bajar el IRI resultante. En las otras 4 localidades el valor sí entra en el rango pronosticado. En Ica-Nazca se trata de un pavimento viejo al igual que en Sicuani-Combapata. Las vías no pavimentadas coinciden con una no asfaltada en buen estado.

Almenara Carlos encontró un valor  $r=0,079$  entre lecturas de IRI con tráfico vehicular y sin tráfico vehicular, o sea que no existe correlación. Demostrando que en vías pavimentadas el mantenimiento de una velocidad de entre 60-80km/h y que esta sea constante es crítico para la integridad de la información. En la presente investigación así se hizo y se obtuvieron valores de correlación débil o moderada, si bien respecto a otra variable, y donde la correlación es nula es atribuible a otras causas.

Wilson Esteban Rojas encuentra una correlación importante entre el método Vizir y el método PCI mediante por diferencia de medias poblacionales por el método de distribución normal. En este trabajo las correlaciones no son uniformes, varían desde ninguna correlación a una correlación moderada. Es en parte explicable debido a que Vizir y PCI son instrumentos bastante similares con el mismo enfoque y muy parecido conjunto de parámetros. En



esta investigación se cuentan con mediciones en varias localidades, no solo una como en aquella, y en distintos escenarios viales por lo que una mayor variación era esperable. Sin embargo el rango de variación debe considerarse como de entre -0,27 a -0,41, no considerando aquí los valores que indican ninguna correlación porque estos son atribuibles a una zona de inaplicabilidad de la comparación, no a fallos de medición o a que no exista realmente ninguna correlación.

Jorge Montoya Goicochea concluye que necesita profundizarse más en las investigaciones sobre el IRI característico y que este valor debe determinarse para una vía concreta para ser la base contra la que se compare las mediciones de condición vial y el desempeño del mantenimiento vial. Múltiples investigaciones coinciden en señalar la potencial elevada influencia del IRI de diseño y que por tanto un IRI elevado en vía de montaña puede ser en realidad equivalente como estado de la vía a un IRI bajo en la carretera Panamericana. Debido a esto se minimizó este factor influyente y eso es apreciable en el rango no amplio de valores correlativos hallados.

### 5.3 Contraste de la hipótesis

#### 5.3.1 Resultados en general

TABLA 5.1 RESUMEN DE RESULTADOS						
Localidad	pki	pkf	IRI prom.	IC prom.	Correlación s/b	Correlación c/b
Panamericana Sur 1S km 1135-1141 (Ica – Nazca) Pavimento flexible			1.237	933.058 s/b 794.163 c/b	-0.073	-0.037
Panamericana Sur 1S km 250+600-257+400 (Paracas-Ica) Pav. flexible			5.503	849.85	0.184	
Carretera Sicuani - Combapata km 1094-1088 Pavimento flexible			5.188	864.677 s/b 720.584 c/b	-0.421	-0.439
Panam. Sur 1S km 249-271+205 (Paracas-Ica) no pavimentada			5.838	429.199	-0.274	
Carretera Comatrana-Playa Carhuaz IC-105 km 2.5-25 no pavimentada			6.956	398.991	-0.316	

Elaboración: el autor

De la tabla anterior, los resultados en vías pavimentadas en tres localidades mostraron en dos zonas  $r=-0,073$  y  $r=0,184$  significando que no habría ninguna correlación, mientras que en la 3ra zona se obtiene  $r=-0,421$  que es el mejor valor de correlación obtenido. Los resultados en vías

pavimentadas señalaron una correlación existente pero débil de  $r=-0,274$  y  $r=-0,316$ .

En primer lugar, se discutió sobre la significación estadística de los resultados y del significado de su magnitud en forma global. Como se demostró en el punto 3,5, los datos son estadísticamente significativos por cuanto se descartó la posibilidad de no significancia  $r=0$ . Esto se aseguró en su mayor parte mediante un tamaño muestral suficiente calculado usando un 95% de confianza, 80% de poder estadístico y una correlación esperada de 0,5 a priori por defecto sin aventurar resultados.

Por ello se empleó un tamaño de muestra suficiente de 30 unidades muestrales por localidad. Esto significó obtener longitudes totales válidas de 6km en vías de pavimento flexible y de 15km en vías no pavimentadas por la longitud de unidad muestral de 200m y 500m respectivamente exigidos como tamaño estándar para el cálculo del inventario de condición.

Posteriormente, se aplicó el estadístico de contraste t para correlación. Ver tabla 4. Se determinó que los resultados para los tramos pavimentados Paracas-Ica e Ica-Nazca, así como el tramo no pavimentado Paracas-Ica, no son significativos, mientras que los dos restantes sí lo son.

Este estadístico es conceptualmente similar al usado para determinar el tamaño muestral, por cuantos ambos se basan en la distribución T de Student y en que relacionan la significación al uso de un tamaño muestral suficiente para el nivel de confianza usado. Su interpretación debe tomarse como: no puede afirmarse ni negarse con un 95% de probabilidad de que el resultado obtenido para la muestra sea el mismo en la población. De ello se desprende que la no significación en este caso no significa el error de los valores ni su invalidez ipso facto.

En los dos primeros tramos pavimentados se obtiene una correlación nula. Según el estadístico se hubieran necesitado 1900 y 85 muestras respectivamente para lograr la significación. Esto se relaciona a la teoría del tamaño del efecto que indica que mientras más pequeños sean los efectos o variaciones que se buscan medir el tamaño muestral debe ser más

grande para que los resultados sean significativos o sea no debidos a la aleatoriedad de la muestra, o emplearse instrumentos o métodos más precisos.

Respecto a esta tesis, los 'efectos' buscados entendidos como el valor de la correlación, no son pequeños. La hipótesis basada en la teoría, principalmente en la importante similitud de dominio y misma finalidad de uso de los dos métodos, planteaba un valor  $r$  alto de 0,6-0,8, una correlación fuerte. Por ello los resultados obtenidos tan alejados de lo esperado no son debidos a la imprecisión de los instrumentos ni son porque intrínsecamente los métodos tengan apenas una similitud difícil de medir.

El primer tramo no pavimentado, entre Paracas e Ica, también presentó un resultado 'no significativo'. Según la prueba, se hubieran necesitado 38 muestras para afirmar su validez. Para apoyar el valor de la inferencia, que efectivamente existe una correlación débil, se plantean dos puntos.

El segundo tramo no pavimentado actuó como una contraprueba de la primera, y en esta el resultado es bastante similar al primero (-0,316 frente a -0,274). Y como se señala más adelante, la variación al alza es en parte debida al IRI característico de la vía por lo que en realidad los valores son aún más semejantes.

Además, el tramo 'no significativo' es por mucho el que más se acerca a las condiciones ideales para comparar los métodos. Puede afirmarse que se tienen casi 'condiciones de laboratorio' ya que la pista es totalmente plana, ancha y recta, al ser una futura carretera a nivel de base no hay ningún tráfico por lo que se pudo medir con la velocidad más constante, y por ser obra reciente presenta una marcada uniformidad superficial ergo homogeneidad muestral. Esta es también su debilidad pero afecta al valor de la correlación, no a su significación donde al contrario es el lugar donde más confiable es el valor obtenido.

Debe mencionarse que en la selección de las localidades fue decisivo el tamaño muestral elegido de 30 muestras por cuanto se eligieron

según tengan longitud suficiente tal que se pudiera llegar al número meta aun descartando algunos tramos por diversos motivos. Entonces hubo holgura en la data recopilada. Sin embargo no es posible llegar a las 1900 ni 85 muestras en las vías pavimentadas Paracas-Ica e Ica-Nazca por cuanto no es factible ni práctico obtener tramos homogéneos de tal dimensión. Y en el tramo no pavimentado Paracas-Ica se obtuvieron exactamente 30 muestras, no siendo posible añadir ni una sola más por cuanto se midió toda la vía.

Sobre la magnitud de los resultados, obviando los dos valores de ninguna correlación que se discutirán después, obtuvimos lo que puede interpretarse como una correlación débil. A priori se estimó que la correlación a obtenerse sería alta o moderada por lo menos, con valores más probables de  $r$  entre 0,6 a 0,7, pudiendo bajar a máximo 0,5 y quizá alcanzar a 0,8. La hipótesis de que la relación sería de magnitud elevada es rechazada.

### **5.3.2 Vías pavimentadas**

En las vías pavimentadas se obtuvieron resultados inesperados. Dos de los tres juegos de datos muestran una correlación nula mientras que el 3ro sí muestra una relación moderada cercana a débil. El planteamiento inicial consideraba emplear un solo tramo de vía pavimentada y opcionalmente adicionar localidades según disponibilidad o necesidad de más información.

Los resultados en el primer juego de datos, Panamericana Sur 1S km 250+600-257+400, mostraron una correlación nula. Esto despertó dudas y llevó a cuestionar el procedimiento, los instrumentos y la manera en que se tomó la información. Considerando que no había errores de medición o del planteamiento, se determinó imperativo el añadir otra localidad para corroborar los resultados.

Se añadieron dos localidades de vías pavimentadas, Panamericana Sur km 1S 335-341 Ica-Nazca y Sicuani-Combapata km 1994-1988 en Cusco. Nuevamente en el sector Ica-Nazca se encontró valores nulos de correlación, incluso más inesperados a los primeros por cuanto se obtuvo una correlación positiva de 0,184 lo que no es mejor que -0,073 sino peor. El

hecho de que sea positiva donde necesariamente debería ser positiva por pequeña que sea, implica que hay una aleatoriedad o falta de relación total entre las series correlacionadas.

Sin embargo, en la tercera localidad sí se obtuvo una correlación y no débil sino empezando en el rango de moderada lo que muestra una discrepancia muy grande con las dos mediciones previas. Esta gran variación llevó a la búsqueda de explicaciones. Nótese que el procedimiento de medición y de procesamiento de la información fue estrictamente el mismo, e igual en cuanto corresponde al de las vías no pavimentadas donde también se encontraron correlaciones no nulas.

En las indagaciones, se observó que la principal diferencia entre las 3 mediciones fue la pista en que se realizó. Mientras que los dos sectores en la Panamericana Sur son marcadamente planos y rectos, el tramo tres es una pista más usual en la población con algunas variaciones de pendiente y algunas curvas pero siendo aun generalmente plana y sin curvas pronunciadas ni abundantes. Además resaltó el hecho de que la vía cusqueña presentaba un nivel de deterioro significativamente mayor y saltante a la vista de cualquier persona.

Al compararse los valores de IRI y del inventario de condición entre los tres se observó que el 1er sector presenta valores claramente inferiores a los otros dos pero es atribuible a que su condición es también evidentemente mejor. Los tramos dos y tres, Ica-Nazca y Sicuani Combapata, muestran valores muy parecidos en ambos índices. Sin embargo debo exponerse que el valor del inventario de condición alcanzado se debe a combinaciones de daños muy distintas. En el tramo costero los factores principales fueron el ahuellamiento y la gran cantidad de reparaciones ambas de uniforme severidad, mientras que el tramo de sierra muestra un amplio espectro de daños y severidades.

Se plantea que la nulidad de los primeros dos resultados y el contraste con el tercer valor se debe a: 1) la comparabilidad de los métodos no es aplicable en todo el espectro de condiciones viales, y 2) la correlación

es mayor mientras la pista muestre un mayor nivel de daños visibles a simple vista, antes de calcular el índice de condición.

Los datos apuntan a que los métodos no son correlacionables ni para las vías con bastante buena condición vial ni donde una encuesta de usuarios mostrara un adecuado confort vial. Por cuanto una vía muy parchada pero uniforme en su superficie mostrará una clara mayor servicialidad subjetiva a una con muchos daños pese a que ambas puedan arrojar valores de IRI o de inventario de condición iguales.

Los datos también indican, tanto en vías pavimentadas como en no pavimentadas, que un mayor nivel de daños genera una mayor correlación. Nótese además de los gráficos de anillos que la mejor correlación correspondió al lugar donde hubo ampliamente más diversidad de daños.

Ambas consideraciones llevan a pensar que ha de existir un punto de inflexión o un rango de transición para la aplicabilidad o no de la comparación entre estos métodos. Pero esta investigación no pretende ni dispone de suficientes series de datos para aventurar su valor, pero sí puede afirmarse que en vías pavimentadas la aplicabilidad de la correlación empieza a ser válida cuando se observan moderado daños a simple vista, sin considerar los parchados o fisuras rellenadas con emulsión.

Los motivos 1) y 2) se estiman atribuibles al instrumento inventario de condición del MTC, y no al IRI. Mientras el IRI es simplemente la sumatoria de desniveles a lo largo de un eje longitudinal en una longitud finita, y es totalmente objetivo y determinada por la máquina; el índice del inventario de condición es objetivo pero poco preciso en la recabación de datos, y objetivo en el cálculo del índice pero subjetivo en la metodología definida para este cálculo.

Por ejemplo, para vías pavimentadas se tienen once parámetros, nueve para la vía en sí y dos para la berma. Pero con un mismo listado de daños. Para llegar al índice final a cada daño se le asignan pesos ponderados e intervalos discrecionales de qué peso ponderado corresponde según la extensión del daño respecto al área total de la muestra. Entonces con un

mismo e idealmente objetivo y completo listado de daños, pueden construirse múltiples fórmulas parcialmente subjetivas para llegar al índice final.

La construcción del índice final, la estrategia de pesos e intervalos de pesos, tiene consideraciones técnicas y enfáticas, políticas. Se aplican consideraciones técnico-políticas, algunas inseparablemente unidas, al determinar dar el mayor peso al ahuellamiento y baches por ejemplo, o al determinar que una vía aún muchas veces parchada escasamente reduce el índice, o al determinar dónde empieza una vía 'en buen estado' o 'en regular estado' o 'en mal estado' implicando una 'conservación rutinaria', 'conservación periódica' o 'rehabilitación-reconstrucción'.

Se hace evidente que las políticas y técnicas de conservación vial y de gestión vial han sido considerandos al definir la fórmula. El presupuesto posiblemente escaso, la poca preocupación por las vías secundarias, y el nivel de equipamiento y personal con que se cuenta y se necesita priorizar en las intervenciones han afectado la formulación.

Entonces mediante ensayos exploratorios con el cálculo del índice y las conversaciones con alguien que trabaja en el rubro de estudios viales y ha realizado directamente varios reportes del inventario de condición se observó que:

- En vías pavimentadas el índice fácilmente puede alcanzar el valor máximo de 1000 y típicamente varía entre 850-1000; sin embargo, descender a 800 es difícil y bajar de 800 lo es aún más. Nótese que 800 es el punto de inflexión entre 'bueno' y 'regular'.
- Una vía pavimentada tiene que estar significativamente dañada para descender de 800 y para llegar a 300, nivel de rehabilitación, tendría que estar sumamente, ampliamente deteriorada. La variación no es lineal en todo el espectro.
- En general, el índice no corresponde a la cantidad de trabajos de mantenimiento que efectivamente se requieren o se han realizado. Típicamente necesita repararse más de lo que un valor X indicaría.

Así se está demostrando cómo la formulación del inventario de condición sustenta los mencionados puntos 1) y 2). El índice es poco sensible para vías escasamente dañadas. Sin embargo es más representativo para niveles mayores de daño quizá por la misma exigencia que el método se autoimpone para descender más. Y está determinado principalmente por las mallas de fisuras (cocodrilos), ahuellamientos y baches, coincidentemente los más evidentes a la vista, siendo los demás escasamente influyentes.

### **5.3.3 Vías no pavimentadas**

Primero se midió en la Panamericana Sur 1s km 249-271+205 en la vía que discurre paralela a la vía 1S y será la capa de base del sentido hacia Ica cuando se extienda la Panamericana Sur que ahora termina en Pisco en su forma de sentidos separados por berma central. Es un sector totalmente recto y virtualmente del todo plano. Al ser una obra reciente esta muestra una uniformidad superficial importante y un ancho de vía amplio pero variable. Se limitó el ancho a 12m para uniformizar las muestras. Las muestras no son contiguas porque la vía se corta en varios tramos principalmente por terrenos que deberán expropiarse.

Luego, para añadir un tramo vial más realista, se midió en la carretera IC-105 Comatrana-Playa Carhuaz que nace en el distrito Comatrana de Ica ciudad capital. Esta vía está asfaltada en sus dos primeros kilómetros pero en adelante; en lo que corresponde a zonas pobres, luego zonas de importante expansión urbana, posteriores proyectos de habilitación urbana y el camino al botadero de la ciudad y en adelante; no está pavimentada.

Se obtuvo  $r=-0,274$  y  $r=-0,316$  respectivamente. Ambas corresponden a una correlación débil. Siendo ambas mediciones en muestras diferentes pero consistentes en las características relevantes se puede afirmar que las mediciones son comparables y que un orden de magnitud esperable para este tipo de vías ha sido encontrado.

La 2da carretera mostraba evidentemente un mayor daño en la mayor parte. Se apoya la relación de a mayor daño vial en el inventario de condición, mejor (mayor) correlación. Sin embargo la variación escasa de los



valores es también influida por el no importante pero tampoco despreciable desnivel vertical y peraltes de las curvas, el IRI de diseño, que eleva los valores de IRI y pudiera hacerlos más acordes a los del otro método.

Los resultados muestran precisión, pero su exactitud puede ser menor. Se recuerda que se emplea un perfilómetro de categoría 3, no muy exacto, y que además la exactitud de este y de la generalidad de equipos es menor en vías no pavimentadas según el material de base, el nivel de daño, y la velocidad que se puede sostener al medir; factor este último que afecta más aún al equipo Roadroid.

Pese a ello, Roadroid sí puede trabajar en vías no pavimentadas, incluso de grava, donde los equipos láser no. Para ello se configura segmentos de longitud largos (200m) y sensibilidad de 1,5 (la que viene por defecto) y se mide con una velocidad que puede ser menor a 60km/h, Roadroid puede operar hasta con 30km/h perdiendo desempeño, pero constante como se hizo en esta investigación.

Entonces pueden obtenerse resultados relevantes para pistas no pavimentadas donde la exactitud y precisión son menores a las exigidas para vías pavimentadas. Y valores de correlación que aún con una variación de +/- 0,05 se mantendrán en el mismo orden de significación, correlación débil.

#### **5.4 Ensayos de afinamiento de los resultados**

Se realizaron ensayos de correlación adicionales por escenarios, eliminando valores extremos superiores o inferiores de IRI o IC para explorar los resultados y ver si podían ajustarse así, siendo común el ajuste sin valores extremos o anómalos. Además se eliminaron algunos valores inferiores o superiores sin ser muy distintos a la media o se combinó eliminar tanto valores IRI e IC para ver cómo se afectaba la correlación. Los resultados se presentan en las tablas 5.2 y 5.3.

En la mayoría de los casos se cae en insuficiencia de tamaño muestral al eliminar valores pues de la cantidad típica de 30 se cae desde 28 hasta 25 siendo lo requerido 29. Por ende deben evaluarse los valores no tanto por su precisión sino por la dirección u orden de magnitud del cambio que señalen.

Cuando se indica 'ningún IRI o IC extremo' es que ningún valor era notoriamente mayor o menor al resto por lo que no correspondía hacer un ajuste por valor extremo. En la localidad Paracas-Ica no pavimentada los dos escenarios donde se eliminan valores IC estos son los más altos o más bajos pero cercanos al conjunto.

Tabla 5.2 Ensayos de afinamiento en vías pavimentadas

<b>Paracas-Ica pavimentada</b>	
Elimino el menor IC sin ser extremo	0.134
Ningún IRI extremo	
<b>Ica-Nazca pavimentada</b>	
Elimino el mayor IC por 38	0.234
Ningún IRI extremo	
<b>Sicuani-Combapata pav.</b>	
Sin IRI mayor	-0.465
Elimino IC mayor y 3 mínimos	-0.229
Sin IRI mayor ni IC mayor ni 3 IC menores	-0.134

Elaboración: el autor

TABLA 5.3 Ensayos de afinamiento en vías no pavimentadas

<b>Paracas-Ica no pav.</b>	
sin 2 IRI más altos	-0.082
Sin el 1er IRI pico	-0.278
Sin el 2do IRI pico	-0.142
Ningún IC extremo	
Elimino menor IC	-0.142
Sin 3 IC mayores	-0.283
Sin 2 mayores IRI ni 3 menores IC	-0.059
<b>Comatrana-Carhuaz no pav.</b>	
Elimino IRI mayor y menor	-0.413
Ningún IC extremo	

Elaboración: el autor

La primera observación es que el ajuste por valores IC siempre perjudicó (redujo) la correlación. Cuando se eliminaron valores IC máximos el efecto negativo fue leve pero cuando fueron valores IC mínimos la correlación cayó muy sustancialmente.

Por otra parte, la eliminación de los valores IRI extremos mejoró la correlación en magnitud apreciable en dos sectores de tres así evaluados; sin embargo, en el tramo Paracas-Ica no pavimentado lo perjudicó hasta hacer nulo el  $r$  obtenido. Causó extrañeza ya que los dos valores IRI eliminados son marcadamente extremos, y el eliminar únicamente el primero de ellos mantuvo el coeficiente de correlación mientras que no incluir solo el segundo afectó negativa y marcadamente. Se observó que el valor más influyente, el 2do pico, es justo el correspondiente al menor valor del IC para la localidad.

Coincidentemente, únicamente en las dos primeras localidades pavimentadas, donde se obtuvo correlaciones nulas, no hubo valores IRI extremos; y únicamente en las 2 vías no pavimentadas no se tuvieron valores IC extremos.

Los ensayos brindaron evidencia adicional a las afirmaciones en el contraste de hipótesis:

- El ajuste por IC no debe realizarse pues siempre reduce la correlación, muy especialmente cuando se eliminan los valores mínimos, aquellos que muestran más daños, y que por lo discutido sobre el cálculo del índice son en realidad los que mejor muestran la correlación.
- El IC es marcadamente más influyente en el valor de correlación. El ajuste por IRI lo mantiene o mejora pero allí donde coincidentemente se eliminó también el menor (mejor) valor IC, el coeficiente  $r$  bajó notablemente.
- El hecho de que allí donde la correlación fue nula el IRI fuera más parejo, junto a la intrínseca menor precisión del IC, explica parcialmente los coeficientes obtenidos. El IC es más impreciso que

el IRI tanto porque varía no linealmente según los tipos de daño, o sus áreas, etc.; como por su error de medición al inspeccionar visualmente o la manera más o menos estricta con que se calculen las áreas o se obvian o prioricen algunos parámetros. En cambio donde hay más fallas el IRI se hace más variable, y el IC más preciso y también más exacto; ambos así aportando factores que mejoran su correlación.

- El hecho de que únicamente las vías no pavimentadas no presenten picos IC parece apoyar levemente lo dicho sobre que el método IC es más confiable en vías más deterioradas por cuanto es algo insensible a cantidades bajas de área afectada; pero también podría deberse a que el índice es más estable en este tipo de calzadas al tener menos parámetros.

## **5.5 Líneas de investigación**

Este trabajo ha obtenido resultados inesperados y algunas anomalías en los datos que plantean nuevas preguntas que pueden desarrollarse en futuras investigaciones.

Una línea posible es determinar el punto de inflexión o rango de transición para determinar el rango de comparabilidad entre los métodos. En qué punto una pista en muy buen estado pasa a estar suficientemente dañada para ser comparables los índices. Para ello se necesitará contar con series de datos IRI e inventario de condición de muchas localidades. Y el punto de inflexión difícilmente será un valor numérico de IRI o del índice de condición, probablemente sea un rango corto o moderado de valores de uno u otro o ambos índices, pero acompañado a ciertas condiciones de daño visible como abundante ahuellamiento o piel de cocodrilo, y sin considerar los factores de daño de bermas ni de reparaciones.

Otra línea de gran beneficio práctico sería proponer una nueva fórmula para el índice del inventario de condición. Se han señalado las deficiencias de este método y una estrategia para una nueva propuesta debería incluir nuevos

pesos para algunos daños, nuevos intervalos para asignar los pesos, y probablemente dar valor a la severidad de los daños en vez de basarse únicamente en las proporciones de áreas. Pero se recomienda fuertemente mantener los parámetros actuales y su forma de procesamiento, o sea únicamente cambiar la parte matemática. El resultado deberá compararse con el índice actual en algunos tramos, ser evaluado para precisión por varias personas solo si la recopilación de daños es modificada, y ser contrastada con valores realistas del índice actual que expertos en mantenimiento vial definan para la exactitud.

## CONCLUSIONES

1. La correlación, en vías pavimentadas principalmente planas y rectas es débil.  $r=-0,429$ .
2. La correlación en vías no pavimentadas principalmente planas y rectas es débil.  $r=-0,274$  y  $-0,316$ .
3. La comparabilidad entre los índices no es aplicable para vías pavimentadas con poco daño o con reparaciones abundantes.
4. La correlación tiende a ser mayor en tramos más visiblemente deteriorados.
5. La hipótesis inicial es rechazada, la correlación no es alta ni en vías pavimentadas ni en vías no pavimentadas.
6. Por lo concluido en el punto anterior, no se consideran comparables o intercambiables el IRI y el índice del inventario de Condición, pudiendo solamente inferirse un orden de magnitud que incluso en ciertos escenarios pudiera ser engañoso.

## RECOMENDACIONES

1. Revisar la fórmula de cálculo del índice del inventario de condición por cuanto se relaciona débilmente con el IRI y por no relacionarse con la magnitud de las intervenciones que suelen ser necesarias.
2. Optativamente al punto 1 el estado debería virar a la aplicación universal del IRI u otro índice o establecer el IRI como estándar para vías importantes y conservar otros métodos para vías de menor orden.
3. Métodos menos precisos pero de alto rendimiento y ampliamente más baratos como Roadroid y otros de categoría 3, incluso de categoría 4; deberían promoverse más y ser más aceptados al menos fuera de las vías nacionales. Para esto el reglamento de inventarios viales necesita ser flexibilizado pues se limita a perfilómetros de categoría 1.
4. Se necesita promover una mayor aceptación de perfilómetros de categoría 3 y 4 en vías no pavimentadas donde la precisión es poco importante y es suficiente un orden de magnitud del IRI.
5. Replantear la gestión vial, exceptuando tal vez concesiones viales y contratos de mantenimiento, una que considere múltiples combinaciones precisión-frecuencia-costos. No solo gran precisión-cada 3 años-30 000+ dólares, sino considerar como equiparables o establecer categorías de exigencia para aceptar combinaciones como moderadamente preciso-cada mes-bastante barato.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### **Bibliográficas:**

AASHTO. Guidelines for Pavement Management System.

ASTM. Norma E 950-09. Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference.

MTC (2018). Manual de Carreteras Conservación y Mantenimiento Vial.

MTC (2008). Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial.

MTC (2015). Resumen Ejecutivo de la Actualización del Inventario de Carácter Básico de la Red Vial Departamental o Regional.

MTC (2007). Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras.

Provías Nacional (2006). Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario y Periódico Red Vial Departamental No Pavimentada.

### **Hemerográficas:**

Almenara Cueto Carlos Ignacio (2015). Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima. (Tesis de pregrado) PUCP



- Choque Sánchez Héctor Martín (2012). Evaluación de aditivos químicos en la eficiencia de la conservación de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas. (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería
- Hidalgo Gamarra Joissy Catherine (2006). Evaluación del sistema de gestión de pavimentos flexibles en el Perú. Proyecto profesional Universidad Peruana de Ciencias
- Ing. Badilla V. Gustavo, Ing. Elizondo A. Fabián, Ing. Barrantes J. Roy (2008). Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI
- Ing. Marcobal B. José Ramón, Díaz T. Rodrigo, Marquez Waldo, Saldaña M. David (2017). Evaluación de la rugosidad (IRI) en caminos pavimentados de geometría restringida: Cálculo del IRI geométrico, caso de aplicación. XIX Congreso Ibero-Americano del Asfalto Medellín
- Ing. Marrugo Martínez Camilo Enrique (2014) Evaluación de la metodología Vizir como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia
- Ing. Rea V., Ing. Rojas F., Manosalvas M. (2013). Aplicación de la norma ASTM E950-09 para determinar la repetibilidad y precisión en un perfilómetro inercial Mark III-Dynatest. Investigación de la Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador
- Lic. González del Águila William Javier (2009). Propuesta de I+D+I de instrumentos de medición de niveles de servicialidad de carreteras asfaltadas: un aporte de innovación tecnológica al mantenimiento de obras de infraestructura vial. (Tesis de maestría) UNI
- Montoya Goicochea Jorge (2013). Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú. (Tesis de Maestría) Universidad de Piura

Rojas Wilson Esteban (2016). Comparación de las metodologías VIZIR y PCI con fines de intervención en la carretera PE - 18A tramo Km 15+100 - Km 25+306 (Tesis de pregrado) UNHEVAL

Saldaña M. David, Díaz T. Rodrigo, Marquez Waldo, Garrido S. Ricardo (2017). Evaluación comparativa de la medición del índice internacional de rugosidad (IRI) empleando tecnología láser de 3 dimensiones (LCMS) y perfilómetro láser. XIX Congreso Ibero-Americano del Asfalto Medellín

Velasco González Alcides (2009). Análisis de la gestión del presupuesto de conservación de carreteras en las agencias viales del Perú. (Tesis de maestría) UDEP

Vidal Asencios David (2016). Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante Smartphone y un método tradicional. (Tesis de Pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú

### **Electrónicas:**

Jaume Llopis Pérez. La Estadística Una Orquesta Hecha Instrumento. Recuperado de <https://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com/2012/11/30/tema-4-correlacion/>

Pértegas Díaz S. y Pita Fernández S. (2002). Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal. Recuperado de <https://www.fisterra.com/gestor/upload/guias/pearson2.pdf>

Provías Nacional. Soluciones Básicas de Recuperación de Carreteras Convencionales. Recuperado de <https://ejercitoydesarrollo.blogspot.com/2015/10/soluciones-basicas-y-recuperacion-de.html>

Roadroid (2019). Roadroid User Guide - Version 2 Pro. Recuperado de [roadroid.com/Home/About](http://roadroid.com/Home/About)

## **ANEXOS**

1. Tabla de calificación por tipo de deterioro en caminos no pavimentados	93
2. Tablas de calificación por tipo de deterioro en pavimentos flexibles	94
3. Fotografías de campo	96
4. Plantillas Excel registro de daños y cálculo IC	CD
5. Hoja Excel de trabajo. Valores, correlación, gráficos	CD

# ANEXO 1. TABLA DE CALIFICACIÓN POR TIPO DE DETERIORO PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS

**Tabla 4-4**  
**Calificación para cada tipo de deterioro o falla de la capa de rodadura por secciones de 500m de carreteras afirmadas o no pavimentadas.**

Código de datos	Descripción de Fallas	Gravedad (G)	Medidas Área de deterioro (m <sup>2</sup> ) Número de secciones (N) Longitud del itinerario (L)	Ancho de la Sección Evaluada (m)	Longitud de la Sección Evaluada (m)	Área de la Sección Evaluada (m <sup>2</sup> ) A <sub>s</sub>	Porcentaje de Extensión del deterioro (a) a EF <sub>1</sub> = (a/A <sub>s</sub> ) x 100	Puntaje de Condición Según Estimado de Cada Tipo de Deterioro o Falla			Puntaje de Condición Resultante Por Cada Tipo de Deterioro o Falla	
								0: Sin Deterioros o Fallas	1: Leve EF <sub>1</sub> = Menor a 10% y a 10%	2: Moderado EF <sub>2</sub> = entre 10% y 30%		3: Severo EF <sub>3</sub> = mayor a 30%
								Formulación Paramétrica Propuesta				
1	Deterioros	1. Huellas profundas o cráteres mayores a 5 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 1 (Gravedad 1) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	6000	500	3000000	EF <sub>1</sub>					
		2. Huellos profundos entre 5 cm y 10 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 1 (Gravedad 2) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>2</sub>	$EF_1 = [(EF_1 \times A_{d1}) + (EF_2 \times A_{d2}) + (EF_3 \times A_{d3})] / (A_{d1} + A_{d2} + A_{d3})$	$> 0 \text{ y } < 20$	$> 20 \text{ y } < 100$	100	
		3. Huellas profundas < 5 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 1 (Gravedad 3) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>3</sub>					
2	Erutas	1. Cavado de lechazo por profundidad < 5 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 2 (Gravedad 1) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>1</sub>					
		2. Imbuccion de entre 5 cm y 10 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 2 (Gravedad 2) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>2</sub>	$EF_1 = [(EF_1 \times A_{d1}) + (EF_2 \times A_{d2}) + (EF_3 \times A_{d3})] / (A_{d1} + A_{d2} + A_{d3})$	$> 0 \text{ y } < 20$	$> 20 \text{ y } < 100$	100	
		3. Profundidad < 10 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 2 (Gravedad 3) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>3</sub>					
3	Baches (baches)	1. Puntos repetidos por construcción	Número (N <sub>d</sub> ) = Datos 3 (Gravedad 1)				EF <sub>1</sub>					
		2. Separación de la capa de material subyacente	Número (N <sub>d</sub> ) = Datos 3 (Gravedad 2)				EF <sub>2</sub>	$EF_1 = N_{d1} + N_{d2} + N_{d3}$	$> 0 \text{ y } < 20$	$> 20 \text{ y } < 50$	100	
		3. Se refleja una construcción	Número (N <sub>d</sub> ) = Datos 3 (Gravedad 3)				EF <sub>3</sub>					
4	Envolmamiento	1. Separación al rasarse por profundidad < 5 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 4 (Gravedad 1) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>1</sub>					
		2. Profundidad entre 5 cm y 10 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 4 (Gravedad 2) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>2</sub>	$EF_1 = [(EF_1 \times A_{d1}) + (EF_2 \times A_{d2}) + (EF_3 \times A_{d3})] / (A_{d1} + A_{d2} + A_{d3})$	$> 0 \text{ y } < 20$	$> 20 \text{ y } < 100$	100	
		3. Profundidad > 10 cm	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 4 (Gravedad 3) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>3</sub>					
5 y 6	El flujo de agua	1. Trampas de agua o irregularidades en la capa de base	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 5 (Gravedad 1) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>1</sub>	$EF_1 = [(EF_1 \times A_{d1}) + (EF_2 \times A_{d2})] / (A_{d1} + A_{d2})$	$> 0 \text{ y } < 10$	$> 10 \text{ y } < 50$	50	
		2. Trazado con bache o irregularidad en la capa de base	Área (A <sub>d</sub> ) = Datos 5 (Gravedad 2) x Longitud x Ancho (m) A <sub>s</sub> = Longitud x Ancho (m)	ancho	500	ancho x 500	EF <sub>2</sub>	$EF_1 = [(EF_1 \times A_{d1}) + (EF_2 \times A_{d2})] / (A_{d1} + A_{d2})$	$> 0 \text{ y } < 10$	$> 10 \text{ y } < 50$	50	
								SUMA PUNTAJE DE CONDICIÓN				

# ANEXO 2. TABLA DE CALIFICACIÓN POR TIPO DE DETERIORO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

**Tabla 4.13**  
**Calificación para cada tipo de deterioro o falla de la capa de rodadura por secciones de 200m de carreteras con pavimento flexible**

Clasificación de los Deterioros / Fallas	Código de dato	Deterioros / Fallas	Gravedad (G)	Medidas Área de Afectado (A <sub>d</sub> ) (m <sup>2</sup> ) Número de deterioros (N <sub>d</sub> ) Longitud del deterioro (L <sub>d</sub> ) (m)	Ámbito de la Sección Evaluada (m)	Longitud de la Sección Evaluada (m)	Área de la Sección Evaluada (m <sup>2</sup> ) A <sub>e</sub>	Porcentaje de Estructuras de Evaluación del Estado (E) = (E <sub>d</sub> ) / A <sub>e</sub>	Estructuras Presentes Priorizadas	Puntaje de Condición Según Extensión de Cada Tipo de Deterioro o Falla			Puntaje de Condición Por Cada Tipo de Deterioro o Falla
										0: Sin deterioros o EFP = menor a 50%	1: Leve EFP = entre 50% y 30%	2: Moderado EFP = entre 30% y 10%	
1	Pie de rocedillo	Pie de rocedillo	1. Malla grande (1.5 m) o menor en la base	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100					
			2. Malla mediana (entre 0.3 y 0.4 m) o menor en la base	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100	0 < E < 45	30 y < 200	300		
2	FIDRIS longitudinales	FIDRIS longitudinales	1. Malla grande (1.5 m) o menor en la base	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100					
			2. FIDRIS mediana (entre 0.3 y 0.4 m) o menor en la base	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100	0 < E < 45	30 y < 200	300		
3	Definición del subrasante estructural	Definición del subrasante estructural	1. Profundidad variable al casero (1.2 m)	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100					
			2. Profundidad entre 2 cm y 4 cm	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100	0 < E < 45	30 y < 200	300		
4	Abundamiento	Abundamiento	1. Profundidad variable al casero (1.2 m) y 6 cm	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100					
			2. Profundidad = 5 cm y a 1.2 m	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100	0 < E < 45	30 y < 200	300		
5	Reparaciones o parches	Reparaciones o parches	1. Reparación a garras para drenaje superficial	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100					
			2. Reparación de sellado de juntas de juntas longitudinales, en juntas de juntas longitudinales, en juntas de juntas longitudinales, en juntas de juntas longitudinales	Área (A <sub>d</sub> ): Cálculo 1 (ver tabla 4.13) A <sub>d</sub> = longitud x ancho (m)	ámbito cubre	200	ámbito cubre	27 = A <sub>d</sub> / A <sub>e</sub> x 100	0 < E < 45	30 y < 200	300		





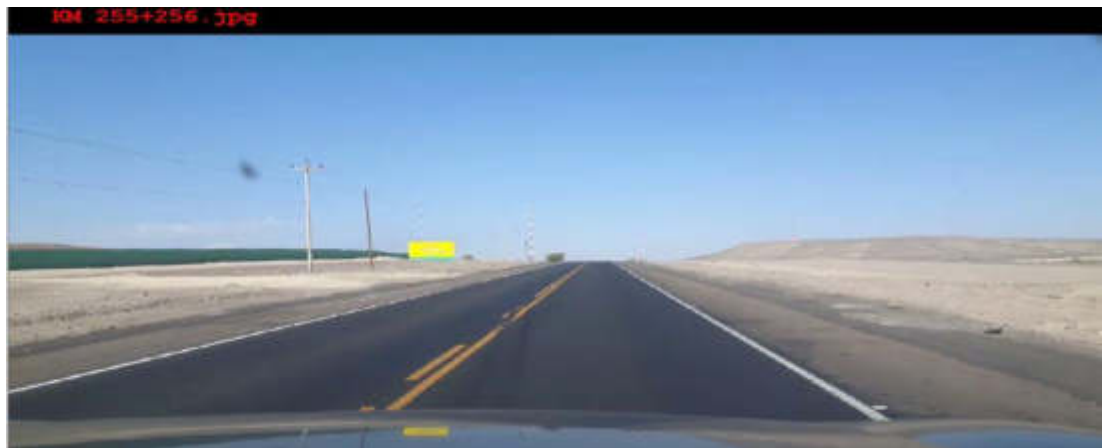
**Tabla 4.13 (continuación)**  
**Calificación para cada tipo de deterioro o falla de la capa de rodadura por secciones de 200m de carreteras con pavimento flexible**

Clasificación Deterioro/Falla	Código de daño	Descripción/Falla	Gravidad (G)	Muestra Zona de deterioro (m²) (N <sub>1</sub> ) Número de secciones (N <sub>2</sub> ) Longitud por deterioro (L <sub>1</sub> )	Ancho de la Sección (m) (N <sub>3</sub> ) Ancho de la Sección (m) (N <sub>4</sub> )	Longitud de la Sección (m) (N <sub>5</sub> ) Longitud (m) (N <sub>6</sub> )	Área de la Sección (m²) (N <sub>7</sub> ) Área (m²) (N <sub>8</sub> )	Porcentaje de Carpinado experimental (N <sub>9</sub> ) α (N <sub>10</sub> )	Exposición Promedio (N <sub>11</sub> )	Puntaje de Condición Según Exposición de Cada Tipo de Deterioro y Falla			Puntaje de Condición Resultante Por Cada Tipo de Deterioro/Falla										
										1. Sin Deterioros o Fallas	2. Moderado (EF <sub>1</sub> - entre 10% y 20%)	3. Severo (EF <sub>2</sub> - entre 20% y 30%)											
I	8	Pavimento Desmenuzamiento	1. Puntos de deterioro de la base que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	EF <sub>1</sub> = 100 EF <sub>2</sub> = 100	EF <sub>1</sub> = 100 EF <sub>2</sub> = 100	100 y 20%	100	100										
														2. Corrosión de la base que afecta las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100
II	9	Ranuras Profundas	1. Ranuras profundas que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100											
													2. Corrosión de la base que afecta las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100	
																							3. Corrosión de la base que afecta las secciones (verificar las secciones adyacentes)
III	10	Fallas Irregulares	1. Faltas irregulares que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100											
													2. Faltas irregulares que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100	
																							3. Faltas irregulares que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)
IV	11	Difusión de Materiales	1. Difusión de materiales que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100											
													2. Difusión de materiales que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100	
																							3. Difusión de materiales que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)
V	12	Difusión de Materiales	1. Difusión de materiales que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100											
													2. Difusión de materiales que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)	N <sub>1</sub> = Longitud x ancho (m²) N <sub>2</sub> = 1 N <sub>3</sub> = 3.00 N <sub>4</sub> = 3.00 N <sub>5</sub> = 200 N <sub>6</sub> = 200 N <sub>7</sub> = 9000 N <sub>8</sub> = 9000 N <sub>9</sub> = 100 N <sub>10</sub> = 100	3.00 3.00	200 200	9000 9000	100 100	100 100	100 y 20%	100	100	
																							3. Difusión de materiales que afectan las secciones (verificar las secciones adyacentes)



### ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO

Tramo pavimentado Paracas-Ica. Aspecto típico



Tramo pavimentado Ica-Nazca. Aspecto típico





Tramo pavimentado Ica-Nazca. Grietas tipo piel de cocodrilo severas



Tramo pavimentado Ica-Nazca. Tono blanquecino por sol intenso





Tramo Sicuani-Combapata. Aspecto típico



Tramo Sicuani-Combapata. Deformación por deficiencia estructural severa



Tramo Sicuani-Combapata. Múltiples cocodrilos con deformaciones



Tramo Sicuani-Combapata. Fisuras longitudinales múltiples y gruesas



Tramo no pavimentada Paracas-Ica. Aspecto típico segmento 1



Tramo no pavimentada Paracas-Ica. Aspecto típico segmento 2



Tramo no pavimentada Paracas-Ica. Propiedad que divide el segmento 1 del 2 y que falta expropiarse para la continuidad de la vía



Tramo no pavimentado Paracas-Ica. Fotografía al inicio del segmento 3



Tramo Comatrana-Carhuaz. Punto de inicio de filmación





Tramo Comatrana-Carhuaz. Aspecto típico en zonas de expansión urbana



Tramo Comatrana-Carhuaz. Fotografía del aspecto típico en el km 25



Tramo Comatrana-Carhuaz. Encalaminado



Tramo Comatrana-Carhuaz. Panorámica pasando zonas de expansión



Tramo Comatrana-Carhuaz. Hito del kilómetro 25

