

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**SECCION DE POSTGRADO**



**“PROPUESTA DE I+D+I DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE NIVELES DE SERVICIABILIDAD DE CARRETERAS ASFALTADAS: UN APOORTE DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AL MANTENIMIENTO DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL.”**

**TESIS**

**Para optar el Grado de Maestría  
en Gestión Tecnológica Empresarial**

**Lic. William Javier González Del Aguila**

**LIMA – PERÚ**

**2009**

**“PROPUESTA DE I+D+I DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE NIVELES DE SERVICIABILIDAD DE CARRETERAS ASFALTADAS: UN APORTE DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA AL MANTENIMIENTO DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL.”**

**Lic. William Javier González Del Aguila**

**Presentación a la sección de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de:**

**MAESTRO EN GESTIÓN TECNOLÓGICA EMPRESARIAL  
DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**2009**

**© 2009, Lic. William Javier González Del Aguila. Todos los derechos reservados**

**El autor autoriza a la UNI a reproducir esta tesis en su totalidad o en parte.**

**Autor : Lic. William Javier González del Aguila  
Facultad de Ingeniería Civil**

**Recomendado por: MSc Alfredo Pezo  
Profesor de Postgrado  
Asesor de Tesis**

**Aceptado por : Dr. José Carlos Matías León  
Jefe de la sección de Postgrado**

## INDICE

	Página
RESUMEN	5
EXECUTIVE SUMMARY	6
INTRODUCCIÓN	7
<b>CAPITULO I :        PROBLEMÁTICA</b>	
1.1    Nivel de Mantenimiento y Bienestar de la Comunidad	10
1.2    La Red Vial Asfaltada en el Perú (Brechas)	16
1.3    Mantenimiento de Carreteras por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)	18
1.4    Mantenimiento de Carreteras por Concesiones	23
1.5    Identificación del Problema	27
<b>CAPITULO II:        ESTUDIO DE MERCADO</b>	
2.1    Normatividad Vigente	31
2.2    Reconocimiento del Mercado Potencial	31
<b>CAPITULO III:       ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS</b>	
3.1    Antecedentes	37
3.2    Evaluación de Alternativas Disponibles de Solución	41
<b>CAPITULO IV:       MODELAMIENTO DEL PROYECTO DE DISEÑO</b>	
4.1    Sobre el Índice Internacional de Rugosidad (IRI)	52
4.2    De los Métodos para la Medición de la Rugosidad	54
4.3    Métodos utilizados en el Perú:	57
4.4    Requerimientos del IRI según las Especificaciones Técnicas del MTC EG 2000	57
4.5    Generalidades del Medidor a Desarrollar:	59

4.6	De las Etapas del Desarrollo del Proyecto	61
4.7	De los componentes del Sistema	72
<b>CAPITULO V: VIABILIDAD TECNOLÓGICA-EMPRESARIAL</b>		
5.1	Aspectos Corporativos	74
5.2	Unidad de Negocio - Giro - Organización de la Empresa Nueva	76
<b>CAPITULO IV: EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>		
6.1	Proyección de la Demanda en el Mercado Peruano	79
6.2	Presupuesto de Inversión	80
6.3	Evaluación de Escenarios	85
<b>CONCLUSIONES</b>		87
<b>RECOMENDACIONES</b>		92
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		93
<b>ANEXOS</b>		95
-	Anexo 1: Método Analítico Jerárquico (AHP)	96
-	Anexo 2: Algoritmo de cálculo - Interface Hombre – Máquina	101
-	Anexo 3: Presupuesto de Inversión - Flujos de Caja	108

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Frente a los decididos esfuerzos que viene desarrollando en los últimos años el Estado para reducir la brecha de infraestructura vial del país, donde la participación del sector privado es cada día más relevante reflejándose en los nuevos modelos de Participación Público Privada de los contratos de Concesión de infraestructura de Transporte, existe un creciente requerimiento por implementar acciones de conservación y reparación a las inversiones efectuadas, lo que deriva de la necesidad de disponer de la información técnica pertinente para conocer el estado real de la infraestructura.

En este sentido, la evaluación de la rugosidad de los pavimentos mediante la determinación del parámetro IRI (Índice de Rugosidad Internacional) resulta ser el parámetro ampliamente utilizado para determinar las características superficiales y de calidad. La presente tesis se refiere al diseño y desarrollo de un perfilómetro láser con el empleo de la tecnología disponible y la experiencia de técnicos y profesionales nacionales, con el fin de cubrir los requerimientos de mediciones de perfiles y determinación de IRI, como una contribución que complementa el esfuerzo del Estado en este rubro.

La tesis presenta los principales aspectos relacionados a la brecha de infraestructura vial del país, sus alcances y se identifica la problemática a enfrentar, se revisa la normatividad vigente, se plantean alternativas de solución las cuales son evaluadas empleando métodos analíticos con robustez estadística, se plantea el proceso de diseño y desarrollo del equipo de medición para luego evaluar la viabilidad tecnológica empresarial de llevar a cabo el proyecto de inversión, proyectándose la demanda por servicio de medición y su correspondiente presupuesto de inversión.

### **Palabras Clave:**

Rugosidad, IRI, Índice de Rugosidad Internacional, Regularidad Superficial, Perfil Longitudinal, Pavimentos.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

Faced with the decided efforts being developed in recent years by the State to reduce the gap in road infrastructure of the country where private sector participation is increasingly important that are reflected in new models of Private Public participation in the concession contracts of transportation, there is a growing requirement to implement conservation actions and investments to repair, resulting in the need for technical information relevant to know the real condition of the infrastructure.

In this aspect, evaluation of pavement roughness parameter by determining the IRI (International Roughness Index) is being widely used parameter to determine the surface characteristics and quality. This thesis concerns the design and development of a laser profilometer with the use of available technology and experience of technical and professional organizations in order to meet the requirements of measurements and determination of IRI profiles as a contribution to supplement State effort in this area.

The thesis presents the main aspects related to road infrastructure gap in the country, its achievements, identifies the issues to confront, review the current regulations, alternative dispute arise which are evaluated using analytical methods with statistical robustness arises the design process and development of measuring equipment to then assess the technological viability of conducting business to an investment project, projected demand for service and the related measurement of investment budget.

### **Keywords:**

Roughness, IRI International Roughness Index, Surface roughness, Longitudinal Profile, Pavement.

## INTRODUCCIÓN

El Presente trabajo de Tesis está orientado a la Innovación Tecnológica en el campo de la Gestión y el Mantenimiento de Carreteras, sector en el que el Estado Peruano viene orientando decididos esfuerzos tanto para reducir la brecha de infraestructura vial del país como de políticas dentro del Plan de Estimulo Económico para enfrentar la crisis financiera mundial, donde la participación del sector privado y empresarial es cada día más relevante, reflejándose en los nuevos modelos de Participación Publico Privada de los contratos de Concesión de Infraestructura de Transporte. Todo esto dentro de un marco de ejecución de inversiones y de crecimiento económico que hacen muy atractivo a nuestro país.

En tal sentido, existe un ambiente de cambios normativos así como un deficiente esfuerzo en asuntos de gestión y mantenimiento de la infraestructura vial tal como lo refieren algunos autores, sobre todo en la disponibilidad de información del IRI<sup>1</sup>, la cual es considerada onerosa y requiere del empleo de instrumentación no disponible en el país por lo que se demanda de la contratación de empresas extranjeras para cubrir este vacío, razones suficientes para participar e investigar y plantear la siguiente Hipótesis: ¿Es viable para una empresa privada del país desarrollar el equipamiento requerido que nos permita cubrir esta deficiencia de información?.

En el capítulo Primero se evalúa la brecha de infraestructura vial, sus alcances y se identifica la problemática a enfrentar, luego en el Capítulo Segundo se revisa la normatividad vigente para reconocer el mercado

---

<sup>1</sup> IPE INSTITUTO PERUANO DE ECONOMÍA “Lecciones del mantenimiento de carreteras en el Perú, 1992 - 2007” Mayo 2008, p.52 -53

“... Como señala el Manual de Conservación de la Red Vial Nacional del Ministerio (MTC 2007), una carretera, además del mantenimiento periódico, debería recibir un mantenimiento rutinario en la etapa en que la vía ha llegado al estado regular; mientras que, cuando ésta se encuentra en mal estado, ya debería ser rehabilitada. El estado de la vía se define, entre otros criterios, por el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Para el caso peruano, se han fijado valores del IRI de la siguiente forma: ... Para poder definir adecuadamente el momento en que una carretera debería recibir un mantenimiento periódico, se debería contar con el IRI para cada carretera y de forma anual. **Lamentablemente, esta información no se posee...**” el negrita es nuestro.

potencial existente. En el Capítulo Tercero se plantean alternativas de solución las cuales son evaluadas empleando el modelo de Thomas L. Saaty, método analítico jerárquico (AHP) el cual le otorga robustez a los resultados obtenidos al considerar razones de consistencia a los juicios establecidos. Se considera la revisión de la literatura; la recolección, selección y validación de la data disponible. Se plantea el proceso de diseño y desarrollo del equipo de medición del IRI, el cual consta de etapas para identificar la electrónica a emplear, configurarla, desarrollar el software para adquirir data, procesarla y luego presentarla vía el empleo de una computadora tipo laptop. En el Capítulo Cuarto se evalúa la viabilidad tecnológica empresarial de llevar a cabo un Proyecto de Inversión de Empresa Nueva con el aporte de los accionistas de HOB Consultores S.A. Finalmente, en el Capítulo Quinto se proyecta la demanda por servicios de medición de IRI con fines de obtener la mayor consistencia en nuestros resultados, el alcance del análisis sólo considera la infraestructura vial concesionada y su proyección en los próximos años.

Se desarrolla un modelo de Presupuesto de Inversión, el que es sometido a una evaluación económica y financiera con diferentes escenarios donde los indicadores de viabilidad serán el VANE, la TIRE, el BC y el periodo de recuperación de capital. En la presente investigación se plantea la Hipótesis de ser rentable intervenir en el mercado de mediciones de IRI en el país. Los resultados de la evaluación económica y financiera revelan que no existen argumentos suficientes para rechazar la Hipótesis planteada. En tal sentido, el presente trabajo de investigación recomienda la conveniencia de desarrollar el proyecto de diseño del equipo de medición de IRI y participar en el mercado de mediciones del país. También es relevante señalar que este aporte es requerido no sólo para desarrollar conocimiento en nuestro país lo que viene acompañado de múltiples ventajas, sino para desarrollar una línea de negocio que sea rentable y que motive a los profesionales, incluidas las universidades locales a desarrollar el equipamiento accesorio requerido y llevarnos a una espiral de investigación - desarrollo - innovación que nuestro país requiere.



**CAPITULO I**  
**PROBLEMÁTICA**

## 1.1 Nivel de mantenimiento y bienestar de la comunidad

Como lo señalan Vásquez y Bendezú (2008)<sup>2</sup>, el rol de la infraestructura vial es reconocido como uno de los más importantes para impulsar el crecimiento económico a través del desarrollo de los mercados locales y de su integración espacial con los centros económicos, sobre todo en economías en vías de desarrollo.

La existencia de infraestructura vial en una economía genera una serie de efectos positivos (externalidades) para el desarrollo de las actividades privadas, puesto que esta se constituye en un conjunto de activos públicos que influyen en las decisiones de producción y de consumo de las empresas y de los hogares. Así, por ejemplo, las actividades privadas en las regiones de un país no se desarrollarían adecuadamente si la infraestructura vial no fuera provista de manera eficiente, ya sea por el sector público o por el privado, evitando la duplicidad y desperdicio de recursos escasos.

De esta manera, en la medida que un país se desarrolla, las carencias o falencias de una red vial se traducen en impedimentos para desplazamientos rápidos y expeditos, y en la generación de crecientes trastornos que afectan directamente el nivel de vida y la productividad de los agentes económicos. Consecuentemente, la conservación adecuada del sistema es de creciente interés y significado.

Cuando las vías se encuentran con un nivel de deterioro elevado, hay, al menos, tres factores que se ven afectados:

- La comodidad y la seguridad del viaje se ven severamente deterioradas.

---

<sup>2</sup> Ensayos sobre el rol de la infraestructura vial en el crecimiento económico del Perú, Arturo Vásquez y Luis Bendezú, Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES) y Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), 2008.

- Los costos de operación y los tiempos de viaje de los vehículos que utilizan la carretera aumentan sensiblemente.
- La inversión en las vías aumenta, pues los procesos de reposición que se requieren cuando los pavimentos han alcanzado un nivel de deterioro extremo, son mucho mayores que cuando el mantenimiento se realiza oportunamente.

#### - **Serviciabilidad**

La satisfacción de los usuarios se manifiesta, fundamentalmente, por la calidad en que se encuentran los pavimentos o capas de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial. Los pavimentos, que experimentan un deterioro relativamente acelerado son los que requieren la mayor inversión, por lo que, con el desarrollo masivo de las carreteras pavimentadas, las entidades responsables de la conservación debieron plantearse las interrogantes de cuando intervenir y de cómo medir el nivel de deterioro.

Existen en la actualidad diversos indicadores que permiten establecer la calidad del servicio que se presta o, como se le denomina, la serviciabilidad. Parte fundamental de la definición de los niveles de serviciabilidad es establecer valores que corresponderían a serviciabilidades extremas, es decir, a un pavimento nuevo y a uno que resulta prácticamente intransitable. Todos los indicadores existentes tienen en común la preponderancia de las irregularidades (rugosidad) por sobre todos los otros factores utilizados en el cálculo de tales indicadores (grietas, ahuellamientos, deformaciones, etc.).

Los criterios más modernos sobre serviciabilidad comprenden aspectos que guardan relación con el deterioro funcional del pavimento, la capacidad estructural del pavimento y la seguridad de los usuarios. La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la

rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada (y bien construida), es el principal factor que define el nivel de la serviciabilidad funcional que presta. Aún cuando para el técnico especialista las tres condiciones señaladas en el párrafo anterior son importantes, y de muchas maneras están ligadas entre sí, no se debe olvidar que las carreteras tienen por finalidad servir al público y que a éste, naturalmente, le interesa fundamentalmente la condición funcional y la seguridad.

La serviciabilidad estructural representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir. La seguridad es un concepto de más reciente incorporación a la serviciabilidad y guarda relación con la disposición, calidad y cantidad de elementos de seguridad, y con un adecuado diseño vial.

#### - **Factores que afecta la Serviciabilidad**

Los caminos y, muy especialmente, la carpeta de rodadura, se diseñan teniendo en consideración que experimentarán un deterioro progresivo. El procedimiento de diseño más adecuado es el que logra predecir, de la manera más cercana a la realidad, la variación del deterioro durante el servicio de la obra. Los factores que afectan la durabilidad de los caminos son muchos, y su importancia varía según las características de los materiales que los componen. Algunos de los principales factores que influyen en el comportamiento de una carretera son los que se señalan a continuación:

Tránsito y Solicitaciones. El tránsito usuario es el que impone las sollicitaciones que deben ser soportadas por la estructura del camino; está compuesto por una gran variedad de vehículos de diferentes características y que, por lo tanto, influyen de diferentes formas en el

deterioro. Como resulta imposible analizar cada uno de los múltiples tipos de vehículos, éstos se suelen agrupar en categorías, siendo la más general, y también la más usada en el país, una que reúne los vehículos livianos (automóviles y camionetas) en una categoría, los camiones simples, es decir unitarios o de dos ejes (el tándem se considera como un solo eje) en otra, todos los camiones articulados (trailer, semitrailers, etc.) en una tercera y, por último, los buses, donde se incluyen tanto buses interurbanos como urbanos.

Medio Ambiente. El efecto del medio ambiente sobre la evolución del deterioro es un factor que, en la medida que avanzan las investigaciones, adquiere cada vez más importancia y significación. Ello implica, en primer lugar, que los resultados que se obtienen de estudios empíricos realizados bajo condiciones medioambientales determinadas, deben ser cuidadosamente evaluados antes de adoptarlos en otras circunstancias y condiciones. Se ha comprobado que el medio ambiente deteriora un camino aún cuando éste no se transite.

Por una parte el medio ambiente altera las propiedades de algunos materiales y, por otra, crea condiciones que aceleran el deterioro; el agua altera la capacidad de soporte de los suelos, sean de la subrasante o constituyan la carpeta de rodadura; el oxígeno contenido en el aire y el agua oxidan el asfalto, haciendo que las mezclas se tornen más rígidas con el tiempo y, por lo tanto, soporten deflexiones menores; la humedad y, muy especialmente, los gradientes diarios de temperatura alabea las losas de los pavimentos de hormigón, haciéndolas más susceptibles de sufrir agrietamientos; el tiempo que demora en evacuarse el agua que satura una base es un factor determinante en el proceso de deterioro, tanto de los pavimentos de hormigón como de los de asfalto, etc.

Serviciabilidad Inicial. Las investigaciones sobre el comportamiento de los pavimentos indican que la serviciabilidad inicial es un factor que

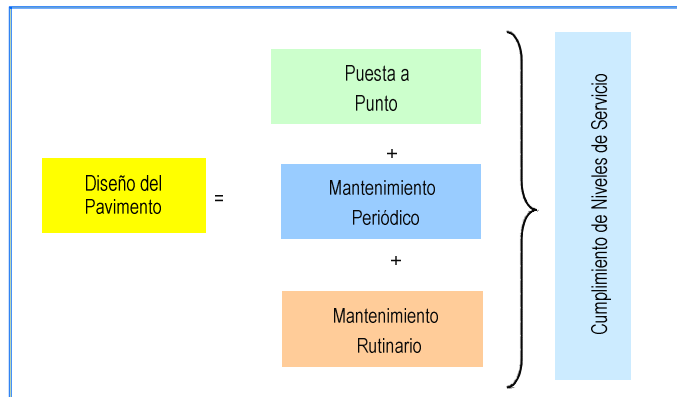
debe tenerse en consideración al proyectar la vida útil de la estructura; un pavimento que se construye con una rugosidad inicial deficiente siempre tendrá una serviciabilidad inferior a otro, igualmente construido, pero bien terminado. En consecuencia, no da lo mismo, ni al usuario ni a la institución encargada del mantenimiento, que se le entregue un pavimento con una rugosidad inicial alta que con una baja; el comportamiento de este último será siempre mejor que el del primero.

Condiciones de las Bermas. Las condiciones en que se mantengan las bermas afectan la serviciabilidad del camino, tanto desde el punto de vista estructural del pavimento como de la seguridad del usuario. Para cooperar efectivamente con la capacidad estructural del pavimento, las bermas deben estar conformadas por un material firme y denso, a nivel con el borde del pavimento y perfectamente adosadas a la cara lateral. Los materiales densos y adosados al pavimento y, especialmente, las superficies revestidas, evitan que el agua penetre hacia la base y subbase. Ese mismo material, a nivel con el pavimento, además de la seguridad que significa para los usuarios, proporciona un efectivo apoyo lateral al pavimento, en especial cuando está conformado por capas asfálticas.

Aún cuando no existe unanimidad entre los autores para definir el término gestión, parece adecuada para los propósitos y alcances de este estudio la siguiente definición: es el conjunto de operaciones que tienen por objetivo conservar adecuadamente y por un determinado período, una carretera o una red vial en condiciones apropiadas de seguridad, comodidad y capacidad estructural, bajo las condiciones ambientales locales. Lo anterior debe ejecutarse minimizando los requerimientos financieros, con el máximo beneficio social posible y con los menores impactos ambientales negativos. A continuación se muestran los componentes tomados en cuenta para el diseño de pavimentos y el proceso moderno para el relevamiento de información referida al mantenimiento de carreteras:

Figura N° 1

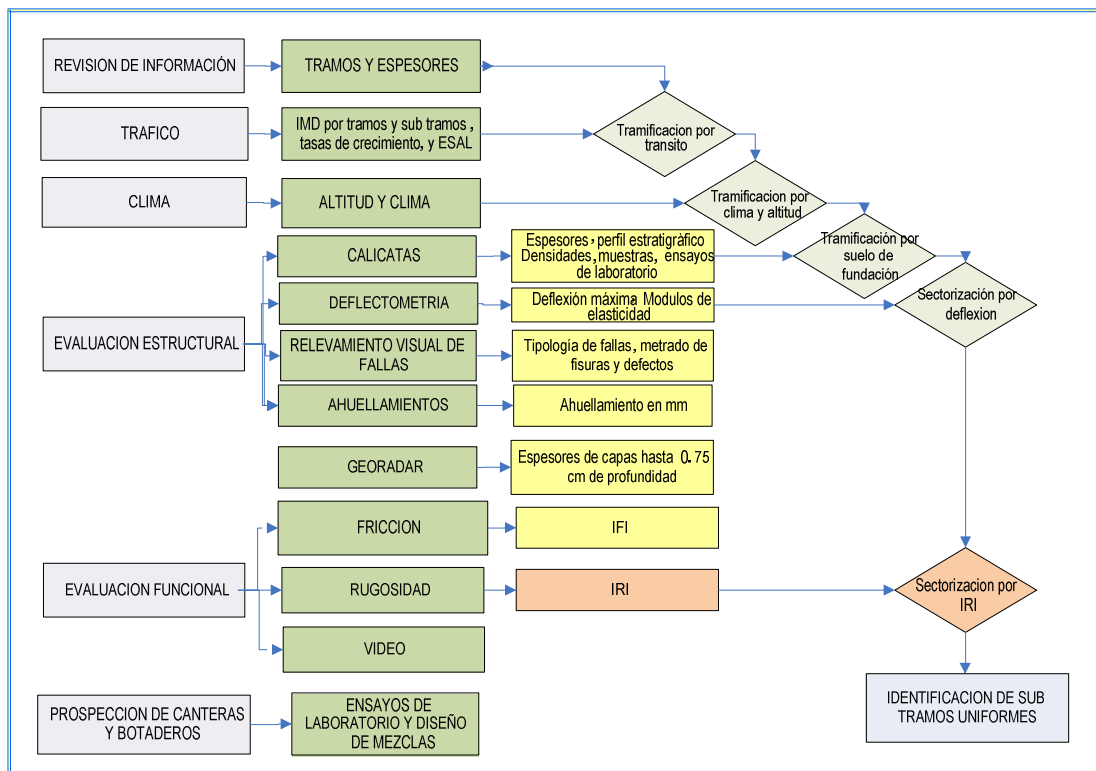
Componentes del Diseño del Pavimento



Fuente: Fuente: Presentación Aplicación de Tecnología Moderna en el Relevamiento de Información del Tramo I del Corredor Vial Interoceánico Sur Perú-Brasil - Graña y Montero Ingeniería (GMI). X Congreso Nacional del Asfalto y I de Concreto; 06 al 07 de noviembre de 2008. Lima - Perú

Figura N° 2

Proceso de relevamiento de la Información



Fuente: Presentación Aplicación de Tecnología Moderna en el Relevamiento de Información del Tramo I del Corredor Vial Interoceánico Sur Perú-Brasil - Graña y Montero Ingeniería (GMI). X Congreso Nacional del Asfalto y I de Concreto; 06 al 07 de noviembre de 2008. Lima - Perú

## 1.2 La red vial asfaltada en el Perú (brechas)

De acuerdo al estudio<sup>3</sup> elaborado por el Instituto Peruano de Economía (IPE) por encargo de la Asociación de Empresas Privadas de Servicios Públicos (ADEPSEP), en el año 2005 la brecha en infraestructura de servicios públicos en el Perú alcanzaba la cifra de US\$ 22,879 millones. El concepto de brecha de inversión implica el reconocimiento de la falta de inversiones para llegar a cierta meta o para cumplir con ciertos requerimientos de infraestructura, ya sea por el uso de instalaciones en condiciones subóptimas y/o la dificultad de satisfacer la demanda actual y futura. Asimismo, se identificó al sector transportes como el que presentaba mayores necesidades, con una brecha igual a US\$ 7,684 millones (aproximadamente el 33% del total). Por otro lado, a diciembre de 2007 aproximadamente 8,500 kilómetros de la Red Vial del país se encuentra asfaltada, lo que representa alrededor de 11% del total, considerando tanto la Red Vial Nacional, como la Departamental y la Rural/Vecinal. Asimismo, un estudio<sup>4</sup> elaborado por Gustavo Guerra-García por encargo del Ministerio de Economía y Finanzas, calcula que existe un déficit de inversión en mantenimiento vial de US\$ 236.50 millones anuales, considerando que el mantenimiento rutinario se realiza anualmente para la totalidad de las vías, y el periódico cada cinco años.

La longitud total de carreteras, registrada oficialmente es de 78,397 kilómetros, ver cuadro Nro.01 de los cuales, 16,857 (22%) kilómetros, pertenecen a la Red Vial Nacional, 14,251 (18%) kilómetros pertenecen a la Red Vial Departamental y 47,289 (60%) kilómetros, pertenecen a la Red Vial Vecinal. Las cifras anteriores muestran claramente el predominio en longitud de la Red Vial Vecinal.

---

<sup>3</sup> LA INFRAESTRUCTURA QUE NECESITA EL PERÚ, Brecha de inversión en infraestructura de servicios públicos, 2005.

<sup>4</sup> Guerra-García, Gustavo (2006) "Déficit de recursos para el Mantenimiento de la Infraestructura Vial y alternativas de solución". Ministerio de Economía y Finanzas



Cuadro N° 1

<b>Estructura de la Red Vial a diciembre de 2007</b>		
<i>Tipo de Red</i>	<i>Longitud</i>	<i>Porcentaje</i>
<b>Nacional</b>	<b>16,857 Kms</b>	<b>22%</b>
<b>Departamental</b>	<b>14,251 Kms</b>	<b>18%</b>
<b>Rural/Vecinal</b>	<b>47,289 Kms</b>	<b>60%</b>
<b>Total</b>	<b>78,397 Kms</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Plan Estratégico Institucional 2007 -2011 , Ministerio de Transportes y Comunicaciones.*

La Red Vial Nacional es la más importante del País y según el tipo de superficie de rodadura se clasifica en: asfaltada, afirmada, trocha y proyecto, con las siguientes características:

- la Red Vial Nacional asfaltada tiene una longitud de 8,531 kilómetros, de los cuales 34% se encuentra en buen estado, el 51% en estado regular y el 15% en mal estado.
- La Red Vial Nacional afirmada tiene una longitud de 5,160 kilómetros, de los cuales solo el 3% se encuentra en buen estado, el 34% se encuentra en estado regular y el 63% en mal estado.
- La Red Vial Nacional en trocha tiene una longitud de 1,106 kilómetros de los cuales prácticamente el 100% se encuentra en mal estado
- La Red Vial Nacional en proyecto tiene una longitud de 2,112 kilómetros.

Cuadro N° 2

<b>Estado de la Red Vial Nacional, según superficie de rodadura</b>				
<i>Clasificación por tipo de superficie de rodadura</i>	<i>Longitud</i>	<i>Vías en buen estado</i>	<i>Vías en regular estado</i>	<i>Vías en mal estado</i>
<b>Asfaltado</b>	<b>8,531 Kms</b>	<b>34%</b>	<b>51%</b>	<b>15%</b>
<b>Afirmado</b>	<b>5,160 Kms</b>	<b>3%</b>	<b>34%</b>	<b>63%</b>
<b>Trocha</b>	<b>1,106 Kms</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>Total</b>	<b>16, 857 Kms</b>	<b>12%</b>	<b>28%</b>	<b>59%</b>

*Fuente: Fuente: Plan Estratégico Institucional 2007 -2011 , Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Elaboración propia*

### **1.3 Mantenimiento de carreteras por el ministerio de transportes y comunicaciones (mtc)**

Para el caso específico de la infraestructura vial, los esfuerzos del Estado a fin de reducir el déficit existente son conducidos por la Dirección General de Caminos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la que a través del diagnóstico de los requerimientos de la infraestructura vial del país canaliza los proyectos hacia las siguientes entidades públicas:

- PROVÍAS NACIONAL, un Proyecto Especial del MTC, creado mediante Decreto Supremo N° 033-2002-MTC del 12 de julio de 2002, que asumió todos los derechos y obligaciones del Programa Rehabilitación de Transportes del Proyecto Especial Rehabilitación Infraestructura de Transportes (PRT-PERT) y del ex Sistema Nacional de Mantenimiento de Carreteras (SINMAC). Cuenta con autonomía técnica, administrativa y financiera, y está encargado de la ejecución de proyectos de construcción, mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de la Red Vial Nacional, con el fin de brindar a los usuarios un medio de transporte eficiente y seguro, que contribuya a la integración económica y social del país.
  
- La Agencia de Promoción de la Inversión (PROINVERSIÓN), adscrita al Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), y creada mediante Decreto Supremo N° 027-2002-PCM del 24 de abril de 2002, mediante la fusión de la Dirección Ejecutiva FOPRI con la Comisión de Promoción de la Inversión Privada (COPRI), la Comisión Nacional de Inversiones y Tecnologías Extranjeras (CONITE), la Gerencia de Promoción Económica de la Comisión de Promoción del Perú (PROMPERU), con el fin de fomentar el desarrollo del país, mediante la atracción de inversión privada que contribuya a convertir al Perú en un país más competitivo. Para lograr estos fines, PROINVERSIÓN es responsable de la promoción estratégica, la atención y servicio al inversionista y la promoción de la inversión privada en activos,

proyectos y empresas del Estado, así como en la infraestructura, servicios públicos y demás actividades estatales, mediante las modalidades de venta, concesión, usufructo, asociación en participación, empresas mixtas, contratos de gestión y cualquier otra modalidad idónea permitida por ley. En tal sentido, define los parámetros de servicialidad de la infraestructura a ser concesionada.

- El Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transporte de Uso Público, OSITRAN, creado en enero de 1998, organismo público, descentralizado, adscrito a la Presidencia del Consejo de Ministros, con autonomía administrativa, funcional, técnica, económica y financiera, que tiene como objetivo general regular, normar, supervisar y fiscalizar, dentro del ámbito de su competencia, el comportamiento de los mercados en los que actúan las Entidades Prestadoras, así como el cumplimiento de los contratos de concesión, cautelando en forma imparcial y objetiva los intereses del Estado, de los inversionistas y del usuario. En este sentido emite opinión de los contratos de Concesión en los aspectos de tarifas, facilidades esenciales y calidad de los servicios. Luego de entregada la Buena pro de los contratos de concesión, el Regulador se encargará de supervisar el cumplimiento de los contratos de concesión.

Como se desprende de lo anterior, PROVÍAS NACIONAL está encargada del mantenimiento y rehabilitación de carreteras, así como la realización de obras y estudios viales. Por su parte, PROINVERSIÓN es la entidad delegada a entregar en concesión la infraestructura vial de envergadura que requiere del aporte del sector privado para su desarrollo. PROVÍAS NACIONAL, es creado no sólo para ejecutar obras de inversión sino también para mantener en buenas condiciones de servicio la infraestructura vial de carácter nacional (asfaltada y afirmada).

Desde la creación de PROVÍAS NACIONAL hasta la fecha, los trabajos de mantenimiento rutinario los realiza a través de las Jefaturas Zonales (órganos desconcentrados de PROVÍAS NACIONAL, las mismas que se encuentran emplazadas a lo largo del territorio nacional por la modalidad de administración directa con tercerización de la mano de obra a través de las microempresas. Estos trabajos se realizan, según disponibilidad presupuestal y se financian con recursos procedentes de la recaudación de los peajes.

De acuerdo a la revisión de la literatura disponible, se ha logrado evidenciar que los trabajos que se ejecutan por esta modalidad están centrados en las limpiezas de obras de arte y drenaje así como trabajos de parchados y tratamiento de fisuras, y los parámetros de control son subjetivos (visuales) y no se realiza otro tipo de ensayo de calidad, a pesar que PROVÍAS NACIONAL cuenta con equipos para realizar mediciones de la serviciabilidad de las carreteras tales como el perfilómetro o rugosímetro laser y un equipo para deflectometría(Falling Weight Deflectometer FWD ) que fuera utilizado en la elaboración del inventario de la Red Vial Nacional en el año 2004.

En relación a los trabajos de mantenimiento periódico estos los realiza por la modalidad de contrata, en base a un estudio de ingeniería previo, donde se plantea las actividades necesarias para mantener las condiciones originales del diseño de la vía, tanto estructurales (que son de carácter puntual) como funcionales (serviciabilidad). En este último se indica que en el estudio de mantenimiento periódico se utilizan instrumentos como el perfilómetro o rugosímetro láser así como un deflectómetro (falling weight deflectometer) para medir el grado de serviciabilidad en que se encuentra la vía y otros.

Posteriormente se ejecutan los trabajos como obra pública y donde entre otros se exige un nivel de serviciabilidad, comprobándose este nivel con los instrumentos antes indicados. Adicionalmente a los

trabajos antes indicados, PROVÍAS NACIONAL desde el año 2007, ha implementado el Proyecto Perú, en base a una estrategia tercerizada donde se plantea la ejecución de los trabajos de mantenimiento por ejes (asfaltado y afirmado) y las ha catalogado como contratos por niveles de servicio y se viene trabajando en grandes corredores económicos (de 200 a 400 kilómetros), mezclando intervenciones de conservación con rehabilitación en algunos casos. Estos contratos permiten plantear al privado trabajar la mejor alternativa para mantener la carretera con los niveles de servicio convenidos durante la duración del contrato. Ver cuadro Nro. 03.

Estos contratos dan espacio al cambio tecnológico y su contratación se ha planteado como servicio, en estos contratos se exigen niveles de servicio en la calzada con recubrimiento, cuyo indicador es el IRI medido con un perfilómetro. Esta es una modalidad nueva que viene implementado PROVÍAS NACIONAL.

Mediante Decreto Supremo N° 011-2009-MTC de fecha 19 de marzo de 2009, se modifica el Artículo 15 del Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por Decreto Supremo N° 034-2008-MTC, estableciéndose los siguientes conceptos relacionados al mantenimiento de carreteras:

“Artículo 15.- Del mantenimiento vial

15.1 Las actividades de mantenimiento vial comprenden las siguientes fases:

- a) Mantenimiento Rutinario.- Es el conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como, limpieza o reparación de juntas de dilatación, elementos de apoyo, pintura y drenaje en la superestructura y subestructura de los puentes.

- b) Mantenimiento Periódico.- Es el conjunto de actividades, programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para recuperar sus condiciones de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a: i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello, ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento, iii) reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje, elementos de seguridad vial, y señalización, iv) reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera y v) reparación o reconstrucción puntual de los componentes de los puentes tanto de la superestructura como de la subestructura.”

Al mes de diciembre del 2008, se tienen los siguientes contratos en operación:

Cuadro Nro. 03

Contratos en Operación del Proyecto Perú			
Descripción	Plazo de Contrato	Presupuesto (S./)	Longitud (kms)
Dv. Humajalco - Desaguadero	05 años	24,904,607.70	207
Pte. Camiara - Tacna/ Tacna - Ilo/ Tacna - Tarata/ Tacna - Palca	05 años	55,453,264.70	399
Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Zúñiga - Dv Yauyos - Ronchas - Chupaca	05 años	131,589,139.31	281.73
Huancayo - Imperial - Izcuchaca - Ayacucho	03 años	54,271,845.00	421.49
Cajamarca - Celendin - Balsas - Dv Chachapoyas - Chachapoyas	03 años	64,960,054.00	372.26
Lima - Canta - Huayllay - EMP. PE-3N y Chancay - Huaral - Acos - Huayllay	03 años	29,273,908.00	374.35
Puente Huarochiri - Sihuas - Huacrachuco - San Pedro de Chonta	03 años	59,560,776.40	280
Carretera PE 3S tramo Ayacucho - Andahuaylas - Puente Sahuinto	04 años	45,538,779.80	384.5
Huaura - Sayan - Churin - Oyon - Ambo y Río Seco - Sayan	03 años	73,133,086.67	343.41
Huanuco - Hullanca - Dv. Antamina	05 años	75,735,000.00	172.43
<b>Total</b>		<b>746,009,601</b>	<b>3,236</b>

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

#### **1.4 Mantenimiento de carreteras por concesiones.**

El Gobierno Peruano, a través de PROINVERSIÓN, viene impulsando la participación privada en la infraestructura vial con contratos de concesión de 25 años en promedio, donde entre otros, se considera intervenciones de mantenimiento. En este punto se indica que el objeto es conservar en óptimo estado las características técnicas y físico-operacionales de la vía, así como las instalaciones y los medios empleados para la operación, de forma que pueda brindarse un servicio con los niveles pactados en el Contrato de Concesión.

Para tal efecto, aparte de las obras de construcción y rehabilitación que el aumento de tráfico de las carreteras pueda determinar como ineludibles, el Contrato de Concesión también considera dos tipos de mantenimiento:

- i) mantenimiento rutinario (actividades de conservación de carácter programable que deben efectuarse con una frecuencia de una vez o más al año) y,
- ii) mantenimiento periódico (actividades de conservación de carácter programable que deben efectuarse con una frecuencia mayor al año).

Ambos comprenden la realización de una serie de “trabajos de conservación” destinados a mantener las carreteras en su nivel habitual de servicio e impedir, o retrasar en lo posible, la degradación de los diferentes elementos que las componen. Ambas actividades son programadas dentro de un marco regulatorio. El Concesionario tiene la libertad de realizar los trabajos de mantenimiento, y emergencia cumpliendo los tiempos y condiciones que para el caso correspondan, con medios propios o mediante contratación.

En cualquier caso, se asegura que las condiciones técnicas de las estructuras físicas sobre las carreteras, así como sus equipos e instalaciones, cumplan los parámetros técnicos que permitan

adecuados niveles de servicio para los usuarios, y se vinculan con los siguientes componentes: calzadas, bermas, drenajes, seguridad vial (señalización vertical y aérea, señalización horizontal y elementos de encarrilamiento y defensa), faja pública, puentes y obras de arte, entre otros. Dentro de este contexto se tienen al mes de febrero de 2009, las siguientes carreteras concesionadas:

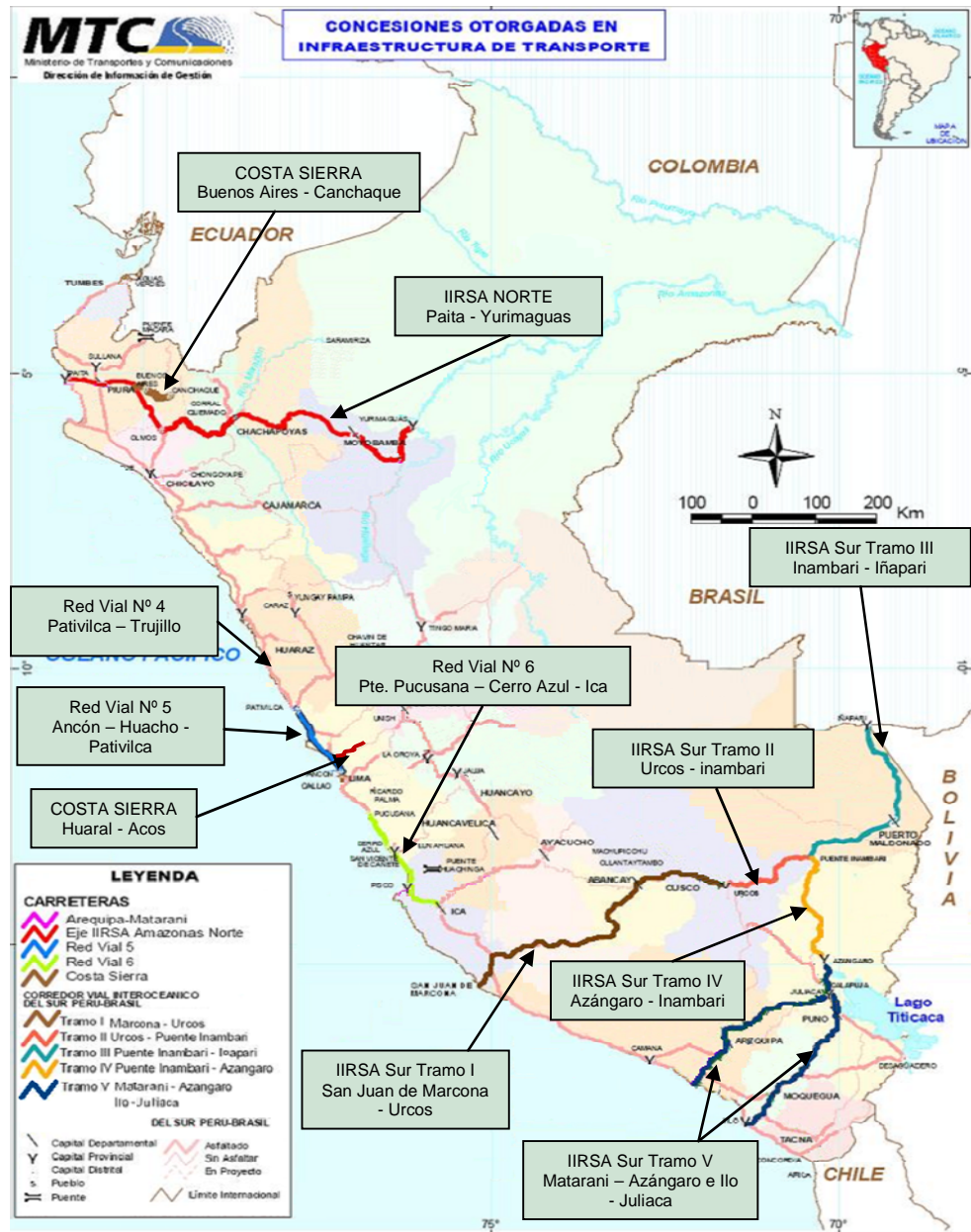
Cuadro Nro 04

<b>Detalle de Contratos de Concesión a febrero de 2009</b>						
<i>Contrato de Concesión</i>	<i>Longitud (kms)</i>	<i>Concesionario</i>	<i>Fecha de Suscripción</i>	<i>Plazo (años)</i>	<i>Tipo de Concesión</i>	<i>Inversión Referencial US\$ millones con IGV</i>
IIRSA Norte: Paíta - Yurimaguas	955.1	Concesionaria IIRSA Norte S.A.	17/06/2005	25	Cofinanciada	258.2
IIRSA Sur Tramo 1: San Juan de Marcona - Urcos	757.6	Survial S.A.	23/10/2007	25	Cofinanciada	98.9
IIRSA Sur Tramo 2: Urcos - Inambari	300	Concesionaria Interoceánica Sur Tramo 2 S.A.	04/08/2005	25	Cofinanciada	263
IIRSA Sur Tramo 3: Inambari - Iñapari	403.2	Concesionaria Interoceánica Sur Tramo 3 S.A.	04/08/2005	25	Cofinanciada	332.4
IIRSA Sur Tramo 4: Azángaro - Inambari	305.9	Intersur Concesiones S.A.	04/08/2005	25	Cofinanciada	214.6
IIRSA Sur Tramo 5: Matarani - Azángaro e Ilo - Juliaca	827.1	Concesionaria Vial del Sur S.A. (Covisur)	24/10/2007	25	Cofinanciada	183.4
Red Vial 5: Tramo Ancón - Huacho - Pativilca	182.6	Norvial S.A.	15/01/2003	25	Autofinanciada	73.1
Red Vial 6: Puente Tramo Pucusana - Cerro Azul - Ica	93	Concesionaria Vial del Perú S.A. (Coviperú)	20/09/2005	30	Autofinanciada	228.6
Empalme 1B Buenos Aires - Canchaque	78.1	Concesionario Canchaque S.A.	09/02/2007	15	Cofinanciada	31
Red Vial 4: Tramo Pativilca - Trujillo	362	Concesionaria Autopista del Norte S.A.C.	18/02/2009	25	Autofinanciada	360
Óvalo de Chancay - Huaral - Acos	76.5	Concesión Chancay - Acos S.A.	24/02/2009	15	Cofinanciada	31
<b>Total</b>	<b>4,341.10</b>					<b>1,490.20</b>
<i>Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Infraestructura de Transportes de Uso Público - OSITRAN</i>						



Figura Nº 03

Contratos de Concesión a febrero de 2009



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Sin embargo, aún cuando los proyectos de concesión de carreteras se vienen dando en infraestructuras en condiciones, ambientes y ubicaciones disímiles, y con características particulares, de la revisión de los Contratos de Concesión se identifica que los parámetros establecidos para medir los estándares de calidad (servicialidad) de las carreteras no se encuentran estandarizados tanto en los

parámetros a medir, como en los niveles a ser alcanzados que garanticen el nivel estructural y funcional requerido.

Asimismo, los estándares de servicio establecidos en Contratos de Concesión revelan escasa incidencia en aspectos relacionados a la seguridad vial (intercambios viales, veredas, puentes peatonales) y al bienestar de los usuarios (solución de reclamos, derechos de usuarios, empoderamiento), situación que ha venido siendo subsanada mediante adendas a los contratos incluyéndose obras complementarias que permitan mitigar los riesgos evidenciados, tales como la construcción de puentes peatonales, situación que se presenta recurrentemente en zonas pobladas donde atraviesan las carreteras. Ver cuadro siguiente

Cuadro Nro 05

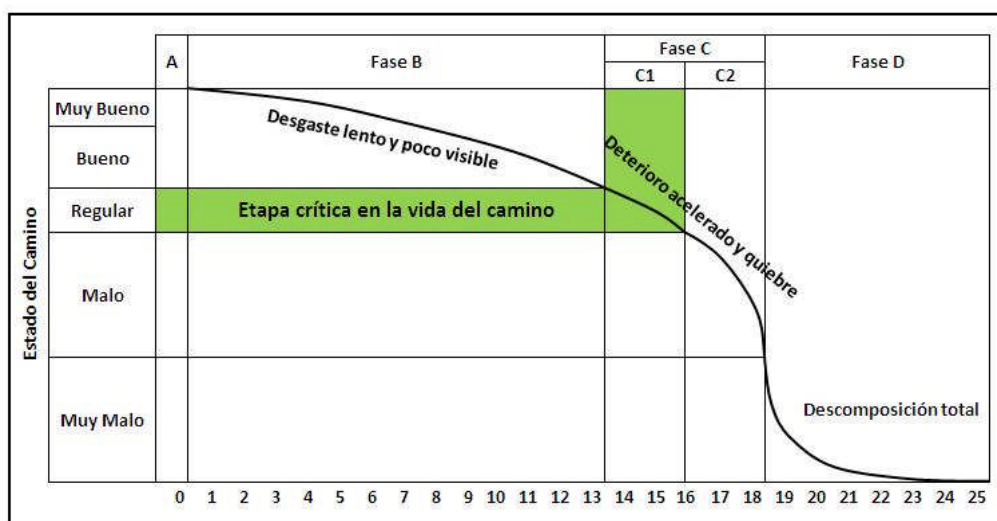
<i>Contrato de Concesión</i>	<i>Rugosidad (IRI)</i>	<i>Ahuellamiento</i>	<i>Deflectometría</i>
Red Vial N° 6	SI	SI	NO
Red Vial N° 5	SI	SI	SI
IIRSA Norte: Paíta - Yurimaguas	SI	SI	NO
IIRSA SUR Tramo 1: San Juan Marcona - Urcos	SI	SI	SI
IIRSA SUR Tramo 2: Urcos – Inambari	SI	SI	NO
IIRSA SUR Tramo 3: Inambari – Iñapari	SI	SI	NO
IIRSA SUR Tramo 4: Azángaro – Inambari	SI	SI	NO
IIRSA SUR Tramo 5: Matarani – Azángaro e Ilo - Juliaca	SI	SI	SI
Empalme 1B Buenos Aires - Canchaque	SI	SI	NO

*Fuente: Contratos de Concesión, elaboración propia*

## 1.5 Identificación del problema.

La importancia del mantenimiento de las obras de infraestructura muchas veces no es considerada en su real dimensión. En el caso de la infraestructura vial, el proceso de deterioro de un camino no se hace aparente o visible hasta que la carretera ya se encuentra en tan mal estado que la intervención a través de un mantenimiento ya no es suficiente. En estos casos, es necesario rehabilitar la vía, incurriendo en costos que pueden ser hasta ocho veces mayores en relación con los que se hubieran dado si se hubiera mantenido la vía, tal como lo señala el IPE en mayo del 2008<sup>5</sup>.

**Figura N° 04**  
**Deterioro de Caminos en el Transcurso del Tiempo**



Fuente: CEPAL (1994) "Caminos: un nuevo enfoque para la gestión y conservación de las redes viales".

<sup>5</sup> IPE Instituto Peruano de Economía (2008) "Lecciones del mantenimiento de carreteras en el Perú, 1992 - 2007". Lima, Perú. P 59, refiere: 6 CONCLUSIONES: La importancia del mantenimiento de las obras de infraestructura muchas veces no es considerada en su real dimensión. En el caso de la infraestructura vial, el proceso de deterioro de un camino no se hace aparente o visible hasta que la carretera ya se encuentra en tan mal estado que la intervención a través de un mantenimiento ya no es suficiente. En estos casos, es necesario rehabilitar la vía, incurriendo en costos que pueden ser hasta ocho veces mayores en relación con los que se hubieran dado si se hubiera mantenido la vía. Como señala el Banco Mundial (1994), de haberse invertido US\$ 12 mil millones en mantenimiento periódico en las redes viales de África durante la década de los ochenta, dicha región pudo haber ahorrado US\$ 45 mil millones en la reconstrucción y rehabilitación que tuvo que realizar a mediados de los noventa.

El sistema de transportes peruano, si bien ha venido creciendo en algunos aspectos como la infraestructura, aún no puede ser considerado como un sistema integrado y eficiente en su operación que satisfaga los requerimientos de accesibilidad, capacidad, niveles adecuados de transitabilidad y de servicio, costos, confiabilidad y seguridad. La realidad muestra un crecimiento desigual de los distintos modos de transporte, una infraestructura aún insuficiente, crecimiento de servicios de baja calidad y presencia de informalidad, poco desarrollo logístico, poca innovación tecnológica, debilidad institucional y deficiencias en la protección del medio ambiente y salud de las personas. Como se concluye en el estudio<sup>6</sup> elaborado por el Instituto Peruano de Economía (IPE) por encargo de la Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (AFIN), el mantenimiento de las principales redes viales en el país ha sido deficiente y ha estado orientado básicamente a reparar lo dañado; ello debido a los problemas típicos que enfrenta la inversión pública, la escasez de recursos y la inadecuada gestión de los organismos públicos.

Conocido el contexto y la realidad en el que se viene desarrollando el mantenimiento de carreteras en el país, se ha podido identificar que se carece de un Sistema de Gestión de Carreteras que incluya la calidad del servicio que se presta (serviciabilidad) generándose un vacío que restringe el conocimiento del estado real de la Red Vial Nacional y la identificación de las deficiencias existentes con el fin de proveer una respuesta a las interrogantes de cuándo intervenir y cómo medir el nivel de deterioro. Por otro lado, conocemos que la rugosidad<sup>7</sup> o regularidad superficial (IRI, índice de rugosidad internacional) es un factor que está directamente relacionado con el estado estructural de una vía, por esta razón, se ha establecido como factor primario en el análisis de costos de mantenimiento de las

---

<sup>6</sup> IPE Instituto Peruano de Economía (2008) "Lecciones del mantenimiento de carreteras en el Perú, 1992 - 2007". Lima, Perú. P 59.

<sup>7</sup> "La rugosidad es la desviación de una superficie con respecto una superficie real plana con dimensiones características que afectan el comportamiento dinámico y el confort de un vehículo sobre una vía".

carreteras y costos de los usuarios que la transitan, determinando las condiciones de estado y la vida útil de la infraestructura, que es necesario medir y evaluar periódicamente para así desarrollar programas de mantenimiento adecuados y oportunos.

Asimismo, las restricciones identificadas en los Contratos de Concesión debido a la falta de estandarización de los parámetros de calidad establecidos, limitan el seguimiento, control y gestión de niveles estructurales y funcionales adecuados en las carreteras concesionadas, ahondando el problema identificado.

## **CAPÍTULO II**

### **ESTUDIO DE MERCADO**

## **2.1 Normatividad Vigente**

Debido a la calidad de la información disponible, así como por la simplicidad y transparencia de los parámetros establecidos, se ha establecido trabajar únicamente con la infraestructura de transportes concesionada. En este sentido, la normatividad en la que se enmarca el presente estudio está definida por los estándares de calidad exigidos y definidos en cada uno de los contratos de concesión vigentes y la proyección de estas exigencias a futuras concesiones. De esta manera, se ha llegado a resumir la siguiente información referida a los estándares de calidad de los contratos de concesión vigentes a diciembre de 2008: En el cuadro Nro. 06, se puede apreciar que, aún cuando los niveles de calidad exigidos son similares en muchos casos, no existe una uniformidad para todos y cada uno de los contratos de concesión.

## **2.2 Reconocimiento del Mercado Potencial**

Como se señala en el punto anterior, para estimar la demanda se ha tomado en cuenta únicamente la infraestructura vial concesionada y por concesionar en los próximos años, dejándose de lado la administrada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de PROVÍAS NACIONAL. En este sentido, se recabó información de la infraestructura vial que se señala en el cuadro Nro. 07. De esta manera, se determinó la longitud en kilómetros que abarca la infraestructura concesionada al año 2009 y su proyección hasta el año 2030, considerándose los compromisos de inversión establecidos contractualmente con el Estado (Ministerio de Transportes y Comunicaciones). Además, se ha considerado, para el mismo periodo, la longitud en kilómetros de la infraestructura actualmente en promoción por el Estado en el marco del Plan de Estímulo Económico que se viene implementando por el Ejecutivo a fin de contrarrestar los posibles efectos de la actual crisis financiera

internacional, mediante medidas extraordinarias en materia económica y financiera que permitan minimizar los riesgos que puedan afectar el aparato productivo nacional.

Posteriormente, debido a que las mediciones de rugosidad se realizan a cada kilómetro y por cada carril de la infraestructura, y dado que existen carreteras o tramos de 2 carriles y otras de 4 carriles, se ha determinado el número de kilómetros - carril disponibles de ser atendidos por el servicio de medición que se plantea en el presente trabajo de investigación.

Cuadro Nro.06

<b>Estándares de Calidad Establecidos en los Contratos de Concesión</b>			
<b>(a diciembre de 2008)</b>			
<b>Contrato de Concesión</b>		<b>Rugosidad (IRI)</b>	
<b>Red Vial N° 6</b>	Concreto asfáltico	Tramos nuevos o de puesta a punto 2.4	Tramos en mantenimiento 3.45
	Tratamiento superficial	3.45	4.4
<b>Red Vial N° 5</b>		3.5	
<b>IIRSA Norte:</b>		Tramos nuevos o rehabilitación	Tramos en mantenimiento
<b>Paíta - Yurimaguas</b>	Concreto asfáltico	2.50 (tolerancia 20%)	3.50 (tolerancia 15%)
	Tratamiento superficial	3.50 (tolerancia 15%)	4.00 (tolerancia 10%)
<b>IIRSA SUR Tramo 1:</b>		Tramos nuevos, puesta a punto o rehabilitación	Tramos en mantenimiento
<b>San Juan de Marcona - Urcos</b>	Concreto asfáltico	2	3.5
	Tratamiento superficial	2.5	4
<b>IIRSA SUR Tramo 2:</b>		Tramos nuevos, puesta a punto o rehabilitación	Tramos en mantenimiento
<b>Urcos – Inambari</b>	Concreto asfáltico	2	3.5
	Tratamiento superficial	2.5	4
<b>IIRSA SUR Tramo 3:</b>		Tramos nuevos, puesta a punto o rehabilitación	Tramos en mantenimiento
<b>Inambari – Iñapari</b>	Concreto asfáltico	2	3.5
	Tratamiento superficial	2.5	4
<b>IIRSA SUR Tramo 4:</b>		Tramos nuevos, puesta a punto o rehabilitación	Tramos en mantenimiento
<b>Azángaro – Inambari</b>	Concreto asfáltico	2	3.5
	Tratamiento superficial	2.5	4
<b>IIRSA SUR Tramo 5:</b>		Tramos nuevos, puesta a punto o rehabilitación	Tramos en mantenimiento
<b>Matarani – Azángaro e Ilo - Juliaca</b>	Concreto asfáltico	2	3.5
	Tratamiento superficial	2.5	4
<b>Empalme 1B Buenos Aires - Canchaque</b>	Concreto asfáltico	Tramos nuevos o rehabilitación 2.5	Tramos en mantenimiento 3.5
	Tratamiento superficial	3	4

Fuente: Contratos de Concesión, elaboración propia

Nota: La carretera Arequipa - Matarani (a cargo del concesionario CONCAR) se ha incorporado al Tramo 5 de la Carretera Interoceánica Sur



Cuadro Nro. 07

Infraestructura Considerada en la Estimación de la Demanda	
<i>Infraestructura Concesionada</i>	Red Vial N° 5
	IIRSA Norte
	IIRSA Sur Tramo 2
	IIRSA Sur Tramo 3
	IIRSA Sur Tramo 4
	Red Vial N° 6
	Buenos Aires - Canchaque
	IIRSA Sur Tramo 1
	IIRSA Sur Tramo 5
	Red Vial N° 4
Huaral - Acos	
<i>Infraestructura por Concesionar</i>	Red Vial N° 3 (Autopista del Sol)
	IIRSA Centro
	Nuevo Mocupe - Cayalti - Oyotún

Fuente: OSITRAN – PROINVERSIÓN

En el Cuadro N° 08 se muestra la proyección de los kilómetros - carril de cada una de las infraestructuras viales concesionadas y por concesionar desde el año 2009 hasta el 2030

Cuadro Nro.08

		Proyección de Kilómetros - carril																
		2009		2010		2011		2012 - 2013		2014 - 2016		2017 - 2021		2022 - 2029		2030		
		carriles																
Concesiones		Kms.	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4		
<i>Infraestructura Concesionada</i>	Red Vial N° 5	182.7	80	103	80	103	80	103	80	103	80	103	22	160	22	160	22	160
	IIRSA Norte	955.1	955	0	955	0	955	0	955	0	955	0	955	0	955	0	955	0
	IIRSA Sur Tramo 2	300	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0	300	0
	IIRSA Sur Tramo 3	403.2	403	0	403	0	403	0	403	0	403	0	403	0	403	0	403	0
	IIRSA Sur Tramo 4	305.9	306	0	306	0	306	0	306	0	306	0	306	0	306	0	306	0
	Red Vial N° 6	221.7	88	74	147	74	147	74	147	74	147	74	147	74	55	167	0	222
	Buenos Aires - Canchaque	78.1	78	0	78	0	78	0	78	0	78	0	78	0	78	0	78	0
	IIRSA Sur Tramo 1	757.6	758	0	758	0	758	0	758	0	758	0	758	0	758	0	758	0
	IIRSA Sur Tramo 5	827.1	827	0	827	0	827	0	827	0	827	0	827	0	827	0	827	0
	Red Vial N° 4	356.2	356	0	356	0	246	110	246	110	6	350	6	350	6	350	6	350
Huaral - Acos	76.5	9	0	9	0	77	0	77	0	77	0	77	0	77	0	77	0	
<i>Infra. por Concesionar</i>	Red Vial N° 3	475	475	0	475	0	205	270	205	270	205	270	205	270	205	270	205	270
	IIRSA Centro	867.2	867	0	867	0	867	0	867	0	867	0	867	0	867	0	867	0
	N. Mocupe - Cayalti - Oyotún	46.8	11	0	11	0	47	0	47	0	47	0	47	0	47	0	47	0
<b>Totales Km</b>		5853	5,513	177	5,573	177	5,295	558	5,295	558	5,055	798	4,998	855	4,905	948	4,850	1,003
			5,690		5,750		5,853		5,853		5,853		5,853		5,853		5,853	
<b>Total Kilómetros - carril</b>			11,026	709	11,145	709	10,591	2,231	10,591	2,231	10,110	3,192	9,996	3,421	9,810	3,793	9,701	4,011
			11,735		11,854		12,822		12,822		13,302		13,417		13,603		13,712	

Fuente: Contratos de Concesión, elaboración propia

En resumen, la proyección de los kilómetros – carril para el periodo 2009 – 2030 de todo el mercado potencial es el que se señala en el cuadro Nro 09:

**Cuadro Nro.09**

<b>Proyección Estimada</b>			
<b>Año</b>	<b>Kilómetros - carril</b>	<b>Año</b>	<b>Kilómetros - carril</b>
2009	11,734	2020	13,417
2010	11,854	2021	13,417
2011	12,821	2022	13,603
2012	12,821	2023	13,603
2013	12,821	2024	13,603
2014	13,302	2025	13,603
2015	13,302	2026	13,603
2016	13,302	2027	13,603
2017	13,417	2028	13,603
2018	13,417	2029	13,603
2019	13,417	2030	13,712

*Fuente: Contratos de Concesión, elaboración propia*

Para el presente trabajo de investigación, se ha considerado la participación del sector privado en apoyo a la gestión vial del Estado, en particular la provisión de información que permita mejorar la gestión de mantenimiento de la infraestructura de carreteras. En este sentido, es usual la participación corporativa de privados en asuntos de concesiones de infraestructura dado los altos costos y riesgos asociados, por lo que se ha considerado la participación 40% - 60% en el aspecto financiero, así como el aporte de su mercado actual (contratos de obras y administración de concesiones de carreteras) del orden del 14% como el escenario base en la proyección de demanda.

Asimismo, para estimar los escenarios moderado y optimista se ha tomado en cuenta, además del mercado cautivo antes mencionado, una participación adicional en el resto del mercado de 4% y 8%, totalizándose una participación del orden del 17% y 20% para los escenarios moderado y optimista, respectivamente. Además, en todos los escenarios se ha implementado una tasa de crecimiento de la demanda del orden del 5% anual a partir del segundo año del proyecto como una consecuencia del clima de inversiones que se vienen ejecutando en el país.

Finalmente en el Cuadro N° 10 se muestra un resumen de la demanda proyectada por servicios de medición de IRI para los primeros cuatro años del proyecto, expresada en el parámetro kilómetros - carril:

Cuadro N° 10

<b>Demanda Proyectada de Servicios según Escenarios</b> (kilómetros - carril)				
<b>Escenario</b>	<b>años</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Base</b>	1700	1700	1785	1874
<b>Moderado</b>	2100	2100	2205	2315
<b>Optimista</b>	2500	2500	2625	2756

*Elaboración propia*

## **CAPITULO III**

# **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y MODELAMIENTO DEL PROYECTO**

### 3.1 Antecedentes

Como se indicó en el Capítulo Primero, al año 2005 la brecha en infraestructura de servicios públicos en el Perú alcanzaba una cifra cercana a los US\$ 23,000 millones. Asimismo, sabemos que el concepto de brecha de inversión implica el reconocimiento de la falta de inversiones para llegar a cierta meta o para cumplir con ciertos requerimientos de infraestructura, ya sea por el uso de instalaciones en condiciones subóptimas y/o la dificultad de satisfacer la demanda actual y futura. Además, se identificó al sector transportes como el que presentaba mayores necesidades, con una brecha de cerca de US\$ 8,000 millones (aproximadamente el 33% del total).

Las carencias o falencias de la infraestructura vial asociadas a este déficit se traducen en impedimentos para desplazamientos rápidos y expeditos, y en la generación de crecientes trastornos que afectan directamente el nivel de vida y la productividad de los agentes económicos (sobrecostos). Consecuentemente, la conservación adecuada del sistema es de creciente interés y significado.

De acuerdo a Vásquez y Bendezú (2008)<sup>8</sup>, la existencia de infraestructura vial en un país en desarrollo como el Perú es una condición necesaria para que haya crecimiento económico, por lo que sería importante que el Estado promueva que se generen los complementos adecuados entre el sector de transporte vial y otros sectores productivos para alcanzar un mejor desempeño económico. Asimismo, se requiere que el Estado planifique una política de inversiones para expandir la red vial considerando el análisis costo-beneficio de los proyectos viales, la demanda de transporte, el momento oportuno para la expansión de la infraestructura y el tipo de gestión (privada o pública) más conveniente para administrarla, así

---

<sup>8</sup> "Ensayos sobre el rol de la infraestructura vial en el crecimiento económico del Perú", Consorcio de Investigación Económica y Social – CIES / Banco Central de Reserva del Perú, Lima, Perú, 2008.

como una política de gestión de mantenimiento y rehabilitación eficiente de la infraestructura vial.

Por otro lado, a diciembre de 2007 sólo el 11% del total de la Red Vial del país se encuentra asfaltada, considerando tanto la Red Vial Nacional, como la Departamental y la Local (Rural/Vecinal).

Cuadro Nro 11

<b>Estructura de la Red Vial a diciembre de 2007</b>		
<i>Tipo de Red</i>	<i>Longitud</i>	<i>Porcentaje</i>
<b>Nacional</b>	<b>16,857 kms</b>	<b>21.50%</b>
<b>Departamental</b>	<b>14,251 kms</b>	<b>18.18%</b>
<b>Rural/Vecinal</b>	<b>47,289 kms</b>	<b>60.32%</b>
<b>Total</b>	<b>78,397 kms</b>	
<b>Asfaltada</b>	<b>8,531 kms</b>	<b>10.88%</b>

*Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones*

Las restricciones presupuestales han dado lugar a disminuir la asignación destinada al mantenimiento de las vías, lo que ha obligado a disminuir la calidad y cobertura de las actividades de conservación, dilatando los periodos de ejecución, especialmente los referidos al mantenimiento periódico (actualmente sólo el 34% de la red total de carreteras está sometida a algún tipo de conservación y únicamente el 12.5% cuenta con mantenimiento permanente).

En el caso de la Red Vial Nacional Asfaltada, cuyo mantenimiento se realiza con ingresos directamente recaudados provenientes de los peajes, la recaudación es insuficiente. La perspectiva está dirigida a destinar dichos recursos exclusivamente al mantenimiento de estas vías y también progresivamente al sinceramiento de las tarifas actualmente vigentes. A fin de garantizar la transitabilidad de la Red Vial Nacional y brindar a los usuarios aceptables niveles de

infraestructura con adecuado mantenimiento, se requiere asignar importantes montos de recursos, para lo cual es imprescindible continuar con el proceso de tercerización de las labores de concesión de las carreteras, promoviendo la creación y participación de capitales privados. Por otro lado, la inexistencia de un Sistema de Gestión de Carreteras que incluya la calidad del servicio que se presta (o, como se le denomina, la serviciabilidad) genera un vacío que la iniciativa privada ha identificado y desea llenar a través de la provisión de información que permita establecer el estado real de la Red Vial Nacional e identificar las deficiencias existentes con el fin de proveer una respuesta a las interrogantes de cuándo intervenir y cómo medir el nivel de deterioro.

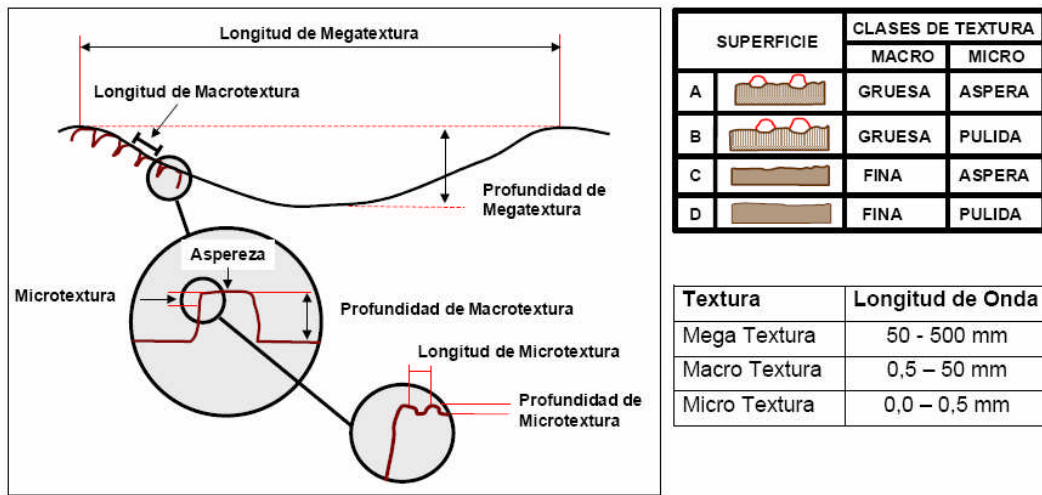
En este sentido, y como se mencionó en el Capítulo Primero, los criterios más modernos sobre serviciabilidad comprenden aspectos que guardan relación con el deterioro funcional de las carreteras, su capacidad estructural y la seguridad de los usuarios. La serviciabilidad funcional interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada (y bien construida), es el principal factor que define el nivel de la serviciabilidad funcional que presta. La serviciabilidad estructural representa la condición física en que se encuentra la carretera; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir.

La seguridad es un concepto de más reciente incorporación a la serviciabilidad y guarda relación con la disposición, calidad y cantidad de elementos de seguridad, y con un adecuado diseño vial. Sin embargo, debido a que la serviciabilidad abarca un abanico bastante amplio de aspectos, se ha optado por centrarse en proveer información relacionada a la rugosidad por cuanto las carreteras tienen por

finalidad servir al público y a éste, naturalmente, le interesa fundamentalmente su condición funcional.

La rugosidad está asociada a las irregularidades superficiales correspondientes a la denominada megatextura, cuya longitud de onda está comprendida entre unos 50 y 500 mm

Figura Nro 05



Fuente: Tipos de Textura de un pavimento (PIARC, 1995; Highways Agency, 1999).

Este tipo de irregularidad es siempre indeseable pues afecta la comodidad de los usuarios entre otros efectos. En consecuencia, el nivel de rugosidad o, más bien, la regularidad superficial de un pavimento, es una muy buena medida de su capacidad funcional; se expresa con el indicador denominado IRI (Índice Internacional de Rugosidad).

El IRI es, probablemente, el indicador de nivel de servicio más aceptado en la actualidad. Se utiliza como medida de calidad de los pavimentos desde el momento mismo en que son construidos, así como para definir cuando debe realizarse una determinada intervención. En consideración a que su uso es cada vez más generalizado, es conveniente tener presente algunas consideraciones importantes respecto de él y que son las siguientes:

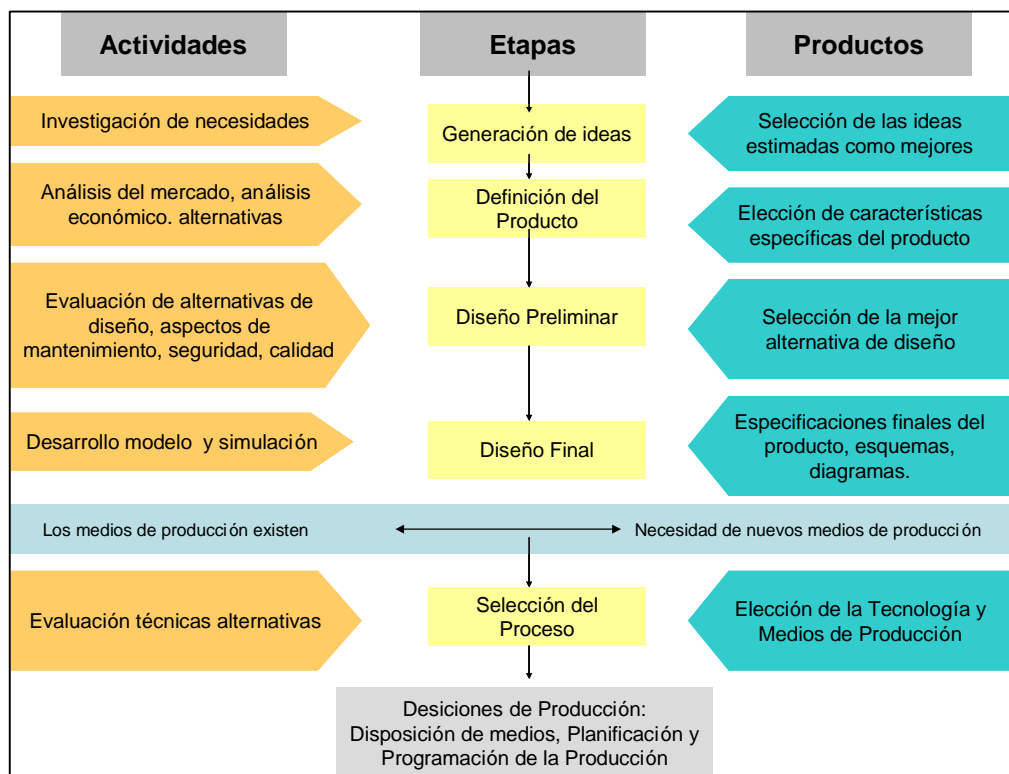


- Es un modelo matemático cuyos resultados son independientes de la técnica o equipos que se utilicen para definir el perfil.
- La representatividad de las ordenadas depende de la confiabilidad de la técnica o equipo utilizado en la medición y de la frecuencia que utilice el equipo en la medición.
- La precisión que debe tener el equipo de medición es difícil de definir y valorar.

### 3.2 Evaluación de Alternativas Disponibles de Solución

La metodología a emplear en el presente trabajo de investigación será la investigación de campo y realización de ensayos. Partimos de la necesidad de desarrollar e implementar equipos de medición, cuyo uso complementa la actividad de supervisión de obras y de mantenimiento de infraestructura vial. Las actividades que se plantean son las siguientes:

Figura N° 06



Fuente: Elaboración propia.

## - Metodología seleccionada

Para la evaluación de las alternativas disponibles y la selección de la mejor, existen varias metodologías disponibles, entre ellas:

- a). La Ponderación Lineal (scoring);
- b). La Utilidad multiatributo (MAUT);
- c). El Análisis jerárquico (AHP-Analytic Hierarchy Process - Proceso de Jerarquía Analítica);
- 4) Las Relaciones de superación (sobreclasificación, outranking) (ÉLECTRE-Élimination Et Choix Traduisant la REalité, PROMÉTHÉE-Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), de ellas emplearemos la metodología AHP, desarrollada por Thomas L. Saaty, (Universidad de Pittsburg))<sup>9</sup> el cual provee objetivos matemáticos a procesos inevitablemente subjetivos, en donde se manifiesten preferencias personales o grupales en la toma de una decisión, metodología diseñada para resolver problemas complejos que involucren múltiples objetivos.

Las áreas de aplicación debido a sus características, constituye una metodología estructurada para la toma de decisiones que puede aplicarse en una gran variedad de situaciones, tanto a nivel comercial o de negocios, como decisiones individuales de la vida privada. Desde el punto de vista de negocios, su cobertura es muy amplia, excluyendo las decisiones de tipo automáticas, donde modelos de simulación podrían ser mejores alternativas. Se puede aplicar en planificación de escenarios, selección/calificación/promoción del personal, adquisición de productos o servicios, asignación de recursos, decisiones de marketing, evaluación de planes y como parte de una optimización de procesos.

---

• <sup>9</sup> 1980 *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, [ISBN 0-07-054371-2](https://doi.org/10.1002/9781118134461.ch1), McGraw-Hill

El AHP, nos permite la posibilidad de modelar los problemas en sus propios términos, representando las relaciones existentes. En otras palabras, representando las complejidades del mundo real. Asimismo permite una percepción clara de los tomadores de decisión durante la modelación del problema se concibe y se aprende del mismo, lo que ayuda a mejorar los procesos ya existentes, dándoles una estructura clara y precisa, así como, para generar procesos nuevos de decisión, donde no existen parámetros (criterios) definidos de evaluación ni una métrica común aceptada. Por otro lado se ha revisado una extensa bibliografía sobre los fundamentos matemáticos del AHP, libros orientados a desarrollar y detallar su aplicación en diferentes tipos de decisiones<sup>10</sup>, siendo algunos de los puntos más importantes sobre la aplicación del AHP en este caso:

- 1) Tipos de problemas: individuales / empresas. Manejo de factores cualitativos. No a las decisiones automáticas que entregan los diferentes métodos cuantitativos.
- 2) Estructuración del problema como aprendizaje. No reducir el problema a los supuestos y explicitar los parámetros de decisión. El modelo incorpora el proceso.
- 3) Concepto de métrica. No basta con el orden, es necesario cuantificarlo/medirlo.
- 4) Múltiples actores. Organización del equipo por niveles de la jerarquía, integración de expertos.
- 5) Completar el proceso con otros métodos. Se enriquece el proceso y la asignación de los recursos
- 6) Evita la manipulación de los resultados con el análisis de inconsistencias, incoherencias.

En este procedimiento, se hacen juicios sobre la importancia relativa de cada uno de los objetivos y, luego se define la preferencia para cada una de las alternativas en relación con cada objetivo. El

---

<sup>10</sup> Decisiones Multicriterio, El Proceso de Jerarquía Analítica; extraído de Anderson, Sweeney & Williams (2004). "Métodos Cuantitativos para los negocios". Rochester Institute of Technology. 9na Edic. Thomson. p. 744

resultado es una clasificación con prioridades, que indica la preferencia general para cada una de las alternativas de decisión.

Para el presente trabajo de investigación, se ha planteado como objetivo general la participación del sector empresarial en cubrir el requerimiento de información que haga viable la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento de la infraestructura vial del país, como una respuesta a la falta de iniciativa por parte del Estado, en este caso del MTC, para atender una demanda futura, teniendo a la vista las inversiones que se viene realizando y las que se encuentran programadas para el corto y mediano plazo. En ese sentido, se pretende contribuir en la adquisición de información relevante de las obras viales, en este caso en la determinación del parámetro más importante, el IRI. "International Roughness Index", el cual es indispensable en la gestión de pavimentos, su control, la priorización del mantenimiento, el diseño de las rehabilitaciones y que permite realizar una evaluación funcional de las obras, permitiendo medir la Rugosidad.

En tal sentido pasamos a evaluar las alternativas disponibles, las cuales las resumimos en cuatro:

A1 Adquirir un equipo de medición del IRI.

A2 Alquilar un equipo de medición del IRI.

A3 Ensamblar un equipo de medición del IRI, con apoyo del fabricante en el país.

A4 Desarrollar un equipo de medición del IRI.

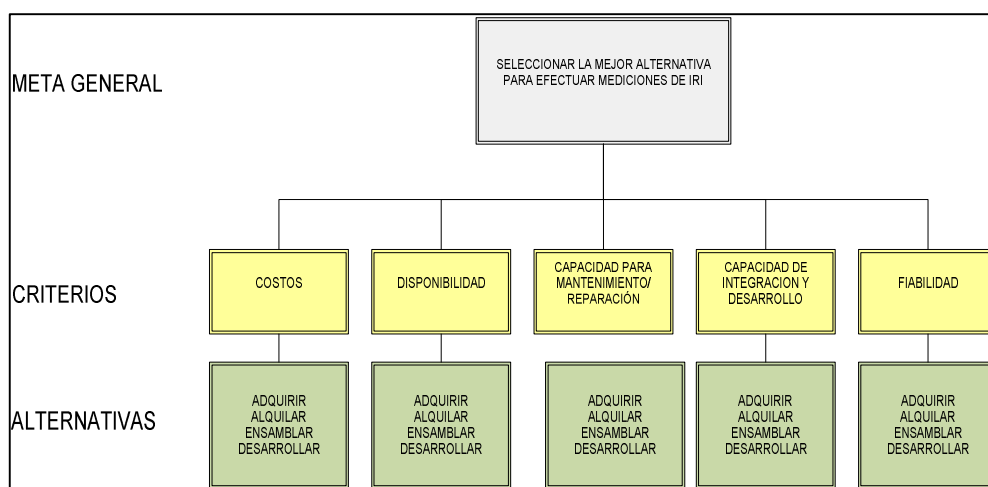
Estas alternativas serán evaluadas según los siguientes criterios:

- C1 Costos, se refiere tanto a los costos de adquisición como de operación.
- C2 Disponibilidad, esta referida a los plazos para disponer del equipo y efectuar mediciones y atender adecuadamente la demanda.

- C3 Capacidad para mantenimiento y reparación, se refiere a la capacidad disponible/facilidades del equipo técnico correspondiente para intervenir el equipo de medición. Se debe considerar el traslado de tecnología.
- C4 Capacidad de Integración y desarrollo, esta referido al diseño y su potencial para integrarse con otros equipos de medición, tecnologías, así como de mejorarlo, y ampliar sus capacidades.
- C5 Fiabilidad, está referida a la seguridad de buen funcionamiento del equipo, es decir que se comporte del modo deseado, bajo las condiciones relevantes y durante el periodo para el cual se le requiere. Asimismo, afecta la validez de las mediciones y de los resultados.

Los criterios y las alternativas a evaluar, es decir el *modelo a evaluar* se indica en la siguiente figura:

Figura Nro 07



Fuente: Elaboración propia

Se han efectuado juicios o comparaciones, las que han estado a cargo de los Directores de HOB y expertos en el asunto; éstas evaluaciones de la relación entre dos elementos que comparten algo en común se han representado numéricamente de acuerdo a una escala (ver cuadro Nro. 12). El conjunto de todos esos juicios se ha representado en una matriz cuadrada en la cual el conjunto de

elementos ha sido comparado con sí mismo. Cada juicio representa la dominancia de un elemento de la columna de la izquierda sobre un elemento de la fila de arriba. Muestra la respuesta a dos preguntas:

¿Cuál de los dos elementos es más importante con respecto a un criterio de nivel superior, y cuánto más fuerte, usando la escala de 1 a 9 (de la Tabla que se presenta el cuadro Nro. 12) para el elemento de la izquierda sobre el elemento en la parte superior de la matriz.?

Si el elemento de la izquierda es menos importante que el elemento de la parte superior de la matriz, ingresamos el valor recíproco en la posición correspondiente de la matriz (a modo de ejemplo si el valor era de 3, el recíproco será de 1/3) La escala de evaluación empleada es la siguiente:

Cuadro Nro. 12

<b>ESCALA DE EVALUACIÓN (Rating de Importancia Relativa)</b>	
<b>1</b>	IGUALMENTE PREFERIDA
<b>3</b>	MODERADAMENTE PREFERIDA
<b>5</b>	FUERTEMENTE PREFERIDA
<b>7</b>	MUY FUERTEMENTE PREFERIDA
<b>9</b>	EXTREMADAMENTE PREFERIDA
<b>Pueden asignarse valores intermedios: 2,4,6,8.</b>	
<b>Un rating recíproco se aplica cuando la segunda alternativa es preferida a la primera. (ejm. 1/3, 1/5, 1/8)</b>	
<b>Se asigna un valor de 1 cuando se compara la misma alternativa.</b>	

Fuente: Decisiones Multicriterio, El Proceso de Jerarquía Analítica; extraído de Anderson, Sweeney & Williams (2004)

Las valoraciones en una matriz puede que no sean consistentes, debido a la inseguridad o malos juicios al efectuarse comparaciones entre los elementos. La redundancia da lugar a múltiples comparaciones de un elemento con otros elementos y por lo tanto a inconsistencias numéricas La inconsistencia es inherente al proceso del juicio y puede considerarse un error tolerable sólo en la medida que sea de una magnitud menor al 10 por ciento que la medida en sí misma; de lo contrario la inconsistencia influiría en los resultados. Durante el proceso de evaluación se han verificado secuencialmente

los valores de Inconsistencia que sean aceptables: Por otro lado debemos cuidar que mayor consistencia no implica mayor exactitud.

En cada matriz de comparaciones, tanto de criterios entre si, como de cada alternativa versus cada criterio se muestra la Relación de Consistencia (RC) comparando la inconsistencia del conjunto de juicios de esa matriz.

En el presente trabajo de investigación hemos aplicado la Metodología AHP, en las siguientes 8 etapas:

- Primero: Descomponer el Problema de Decisión en una jerarquía de elementos interrelacionados, identificando:
  - (a) La Meta General,
  - (b) Los Criterios ( $i=1,2,\dots,m$ ) y
  - (c) Las Alternativas posibles ( $j=1,2,\dots,n$ ).

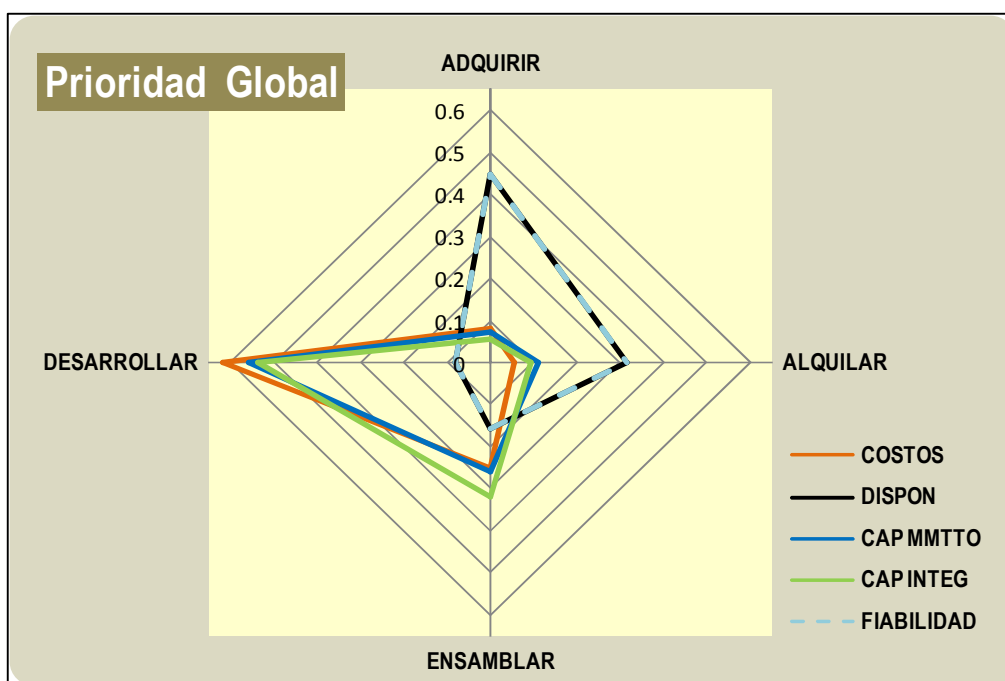
Para cada uno de los "m" Criterios repetir las Etapas (2) a (5):

- Segundo: Desarrollar la Matriz de comparación por Pares (MCP) de Alternativas para cada uno de los criterios estableciendo el rating de importancia relativa entre las Alternativas consideradas.
- Tercero: Desarrollar la Matriz normalizada (MCN) dividiendo cada número de una columna de la Matriz de Comparación por pares por la suma total de la columna.
- Cuarto: Desarrollar el Vector de Prioridad para el Criterio, calculando el promedio de cada fila de la Matriz Normalizada. Este promedio por fila representa el Vector de Prioridad de la Alternativa con respecto al criterio considerado.
- Quinto: La Consistencia de las opiniones utilizadas en la Matriz de Comparación por pares puede ser determinada a través de la Relación de Consistencia (RC). Un CR inferior a 0.10 es considerado aceptable. Para aquellos casos en que  $RC > 0.10$ , las opiniones y juicios deberán ser reconsiderados.

- Sexto: Luego de que la secuencia (2)-(3)-(4)-(5) ha sido ejecutada para todos los criterios, los resultados obtenidos en (4) son resumidos en una Matriz de Prioridad (MP), listando las Alternativas por fila y los Criterios por Columna.
- Séptimo: Desarrollar una Matriz de Comparación de Criterios por pares de manera similar a lo que se hizo para las Alternativas en (2)-(3)-(4).
- Octavo: Desarrollar un Vector de Prioridad Global multiplicando el vector de prioridad de los Criterios (7) por la Matriz de prioridad de las Alternativas (6).

En tal sentido, desarrollamos las Matrices de Comparación por Pares de Alternativas por cada uno de los criterios estableciéndose el ranking de importancia relativa entre las Alternativas consideradas. (ver detalles en anexo 01).

Figura Nro.08



Fuente: Elaboración Propia

En cada caso el valor de la Relación de Consistencia, (RC), se mantuvo menor a 0.1, por lo que se considera un nivel aceptable de las evaluaciones efectuadas.



Cuadro Nro. 13

Relación de Consistencia (RC)		
Matriz de Alternativas	COSTOS	0.0633
	DISPONIBILIDAD	0.0540
	MANTTO / REPAR	0.0293
	INTEGRA / DESARR	0.0115
	FIABILIDAD	0.0540
Matriz de Criterios		0.0380

Se desarrolló la Matriz de Comparación de Criterios por pares (ver resultados en cuadro Nro. 14, los detalles en anexo 01) y se estableció un ranking de importancia relativa entre los éstos. En todos los casos el valor de la Relación de Consistencia (RC) fue menor a 0.1, .por lo tanto las evaluaciones se consideran aceptables.

Cuadro Nro. 14

Matriz de evaluación de Criterios		
CRITERIO	PRIORIDAD	RANKING
COSTOS	0.3933	1
DISPONIBILIDAD	0.2752	2
FIABILIDAD	0.1753	3
MANTTO / REPAR	0.0947	4
INTEGRA / DESARR	0.0614	5
SUMA	1.0000	

*Fuente: Elaboración Propia*

Finalmente, efectuamos una evaluación Global considerando las Alternativas propuestas (ver resultados en cuadro Nro. 15, los detalles en anexo 01) y se estableció un ranking de importancia relativa y de preferencia entre los éstas. En todos los casos el valor de la Relación de Consistencia, RC, fue menor a 0.1, .por lo tanto las evaluaciones se consideran aceptables.

De lo anterior, podemos afirmar con un nivel aceptable de certidumbre que la mejor alternativa será la A4:

## **“DESARROLLAR UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE IRI”.**

Por lo tanto, pasamos a desarrollar el proyecto de diseño del equipo de medición IRI.

## **CAPITULO CUARTO**

### **MODELAMIENTO DEL PROYECTO DE DISEÑO**

#### 4.1 Sobre el Índice Internacional de Rugosidad (IRI):-

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es la escala estándar mediante la cual muchos países informan la rugosidad de los pavimentos; se desarrolló bajo el auspicio del Banco Mundial en 1968 y su medición consiste esencialmente de cuatro pasos:

- a) La medición física de un perfil longitudinal simple
- b) Dicho perfil se filtra empleando la media móvil sobre una base de 250 mm de largo. Este filtrado simula el efecto suavizante de la deformación del neumático.
- c) El perfil resultante se vuelve a filtrar mediante la simulación del cuarto de auto. Esta simulación registra la respuesta física de un auto "ideal" que transita sobre el perfil a una velocidad de 80 km/h.
- d) El IRI (m/km) se calcula como el movimiento acumulado en metros (m) de la suspensión del auto "ideal", dividido por la longitud del perfil transitado en Kilómetros (km). Existen instrumentos de medición que emplean unidades inglesas, tales como pulgadas/milla terrestre, en inglés: (in/mile ó in/mi)

Siendo su equivalencia la siguiente:

$$1 \text{ m/Km} = 63.36 \text{ in/mile}$$

Las escalas gráficas de comparación de valores de IRI van desde 0 - 1000 in /mile que equivalen a 0 -16 m/Km)<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> De acuerdo al "Manual for Profile Measurement:Operational Field Guidelines" P-001 Technical Assistance StaffTexas Research and Development FoundationAustin, TexasNorth MichiganStrategic Highway Research Program .National Research Council. Washington, DC, 1994. p.84.

El Equipo medidor de IRI, es un dispositivo láserico de medición. La importancia de este parámetro se manifiesta desde la misma puesta en servicio del pavimento, pues el valor inicial tiene gran influencia en el comportamiento futuro; a menor IRI inicial mayor es el periodo de vida útil del pavimento, manteniendo constante los otros factores como tránsito, suelos, materiales, condiciones atmosféricas, etc.

En los Estados Unidos, la Federal Highway Administration ha reportado que los rangos típicos del IRI evaluados en diferentes tramos de carreteras están entre 0.8 a 4.7 m/Km. (50 y 300 in/mi). Los tramos de pavimentos con valores menores de 2.4 m/Km. (150 in/mi) son considerados como superficies en buen estado y confortables, mientras que los valores de 4.7 m/Km. o más, son considerados como rugosos y no confortables.

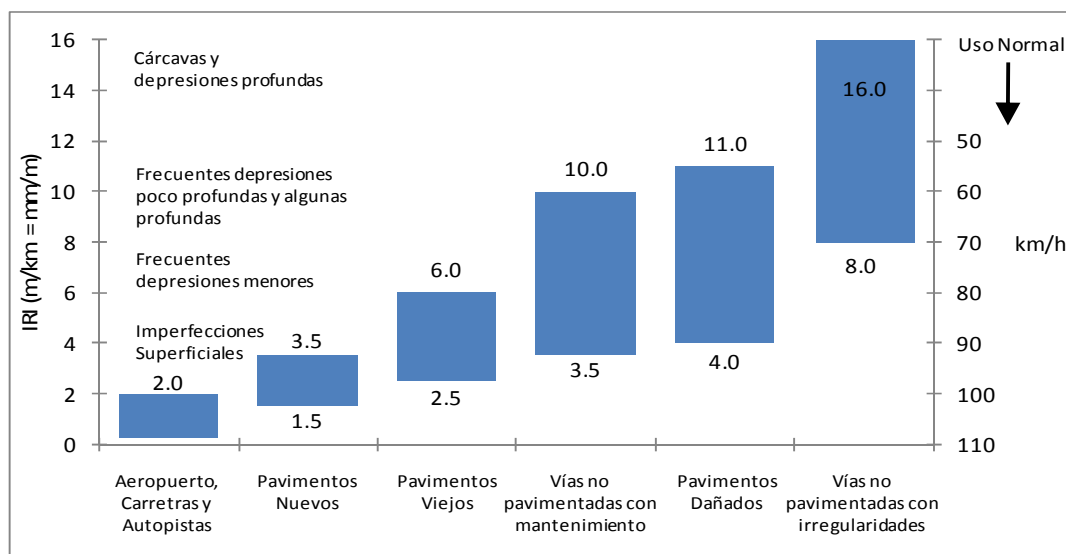
**Cuadro Nro. 16**

<b>Rangos Típicos del Índice de Rugosidad</b>		
<i>Condición del camino</i>	<i>Pavimento asfáltico</i>	<i>Pavimento hidráulico</i>
	<i>IRI (m/km)</i>	<i>IRI (m/km)</i>
<b>Muy bueno</b>	< 3.2	< 2.8
<b>Bueno</b>	3.2 – 3.9	2.8 – 3.5
<b>Regular</b>	4.0 – 4.6	3.6 – 4.3
<b>Malo</b>	> 4.6	>4.3

*Fuente: Federal Highway Administration*

La escala de IRI inicia desde cero, para una ruta perfecta sin rugosidad, y cubre números positivos que crecen en forma proporcional a la rugosidad del perfil. La siguiente figura muestra los valores típicos de IRI:

**Figura N° 09**  
**Escalas de IRI**



Fuente: Banco Mundial

## 4.2 De los Métodos para la Medición de la Rugosidad

Los diversos métodos para medir la rugosidad que existen en el mundo pueden agruparse de acuerdo a la clasificación dada por el Banco Mundial en cuatro clases genéricas, en base a que tan directa sea la correlación que emplean para relacionar sus medidas con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

### - Métodos Clase 1

Basados en la medición de perfiles topográficos de gran precisión, estos métodos son los más exactos que existen para la determinación del IRI.

Los métodos de la clase 1 establecen la rugosidad a través de la determinación muy exacta del perfil longitudinal de un pavimento, con medidas espaciadas cada 0.25 m y cotas con una precisión de 0.5 mm. A esta clase pertenecen los métodos basados en la medición del

perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam y con mira y nivel de precisión (Rod and Level).

- **Métodos Clase 2**

Esta clase incluye todos los otros métodos en los cuales la rugosidad se determina sobre la base de la medición del perfil longitudinal, pero con una exactitud menor que los de la Clase 1. Estos métodos recurren al uso de perfilómetros de alta velocidad o mediciones estáticas con equipos similares a los de Clase 1, pero con niveles inferiores de exactitud. Entre los perfilómetros de alta velocidad se tienen, el APL Trailer y GMR-type Inertial Profilometer.

Tanto los métodos Clase 1, como los Clase 2, establecen la rugosidad en unidades IRI haciendo uso de programas de cómputo, los cuales se basan en algoritmos matemáticos que simulan la respuesta dinámica que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo modelo, al “transitar” por el perfil medido. Dicha respuesta se sintetiza finalmente en la cantidad de movimiento relativo vertical acumulado por unidad de longitud, expresado en m/Km. y que recibe el nombre de IRI.

- **Método Clase 3**

En esta clase están los métodos que recurren al uso de una ecuación de correlación para la estimación del IRI. La mayoría de datos de rugosidad que se recoge a través del mundo se obtienen mediante estos métodos, también denominados “tipo respuesta” (Response – Type Road Roughness Measuring System, o simplemente RTRRMS), establecen la rugosidad en base a la detección del movimiento relativo que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo de pasajeros o de un trailer remolcado, al transitar sobre el pavimento.

Las mediciones efectuadas mediante los métodos Clase 3 dependen de las características dinámicas de un vehículo, para proporcionar parámetros de rugosidad que puedan correlacionarse con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Sin embargo, las propiedades dinámicas de cada vehículo son particulares y cambian con el tiempo, por lo que las mediciones directas deben ser correlacionadas con el IRI mediante una ecuación de calibración, que debe ser obtenida experimentalmente y específicamente para el vehículo empleado.

Esta clase también incluye métodos que emplean otros tipos de instrumentos para medir la rugosidad, diferentes a un RTRRMS, que sean capaces de generar parámetros razonablemente correlacionados con la escala del IRI.

Entonces, un método para medir rugosidad califica como Clase 3 si emplea algún tipo de ecuación de correlación, indistintamente del tipo de instrumentación o vehículo que se utilice para la obtención de la medida de rugosidad básica. En particular, un equipo tipo respuesta no califica como Clase 3, si es que no ha sido adecuadamente calibrado para la obtención de una correlación con el IRI.

Los métodos clase 3 emplean diversos tipos de equipos tales como el Mays Meter (Norteamericano), Bump Integrator (Inglés), NAASRA Meter (Australiano), etc., todos ellos producidos comercialmente.

#### - **Métodos Clase 4**

Hay situaciones en las que se requieren datos de rugosidad sin necesidad de una gran precisión o simplemente no es posible obtener datos precisos; sin embargo se hace deseable relacionar las medidas a la escala del IRI. En tales casos se puede recurrir a una evaluación subjetiva, ya sea mediante experiencia previa recorriendo caminos o en base a una inspección visual. Otra posibilidad es utilizar las medidas obtenidas con un equipo sin calibrar, tal como un RTRRMS.



De hecho un equipo tipo respuesta que no es calibrado por lo que cae dentro la categoría de Clase 4.

#### **4.3 Métodos utilizados en el Perú:**

La mayor experiencia en el Perú esta relacionada con el método basado en el uso del rugosímetro denominado MERLIN, acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation.

Si bien en el Perú existen también equipos tipo respuesta (Bump Integrator), su uso ha sido bastante limitado; tanto en cantidad de proyectos, como también en calidad de resultados, debido fundamentalmente a la falta de exactitud de las calibraciones efectuadas para dichos equipos o a la imposibilidad de mantener las condiciones con las inicialmente fueron calibrados, los que ha incidido mayoritariamente en la obtención de resultados inconsistentes con el estado de los pavimentos evaluados. De acuerdo a la clasificación del Banco Mundial, estos resultados corresponden de hecho a un método de Clase 4.

Otro método empleado también frecuentemente en el Perú, es el método de evaluación subjetiva, al que ha formado parte de la metodología elaborada alrededor del MERLIN.

#### **4.4 Requerimientos del IRI según las Especificaciones Técnicas del MTC EG 2000**

Las normas vigentes sobre especificaciones técnicas para Proyectos y Obras Viales a la fecha de la presente investigación relacionadas a la calidad de los pavimentos de concreto asfáltico señalan entre otros aspectos el de la rugosidad de la siguiente forma:

**Sub sección 410.18.e (5):**

*La regularidad superficial de la superficie de rodadura será medida y aprobada por el Supervisor, para lo cual, por cuenta y cargo del contratista, deberá determinarse la rugosidad en unidades IRI.*

*Para la determinación de la rugosidad podrán utilizarse métodos topográficos, rugosímetros, perfilómetros o cualquier otro método aprobado por el Supervisor.*

La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada, deberá efectuarse en toda su longitud y debe involucrar ambas huellas por tramos de 5 km, en los cuales las obras estén concluidas, registrando mediciones parciales para cada kilómetro. La rugosidad, en términos IRI, tendrá un valor máximo de 2,0 m/km. En el evento de no satisfacer este requerimiento, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactado, a fin de tomar las medidas correctivas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura.

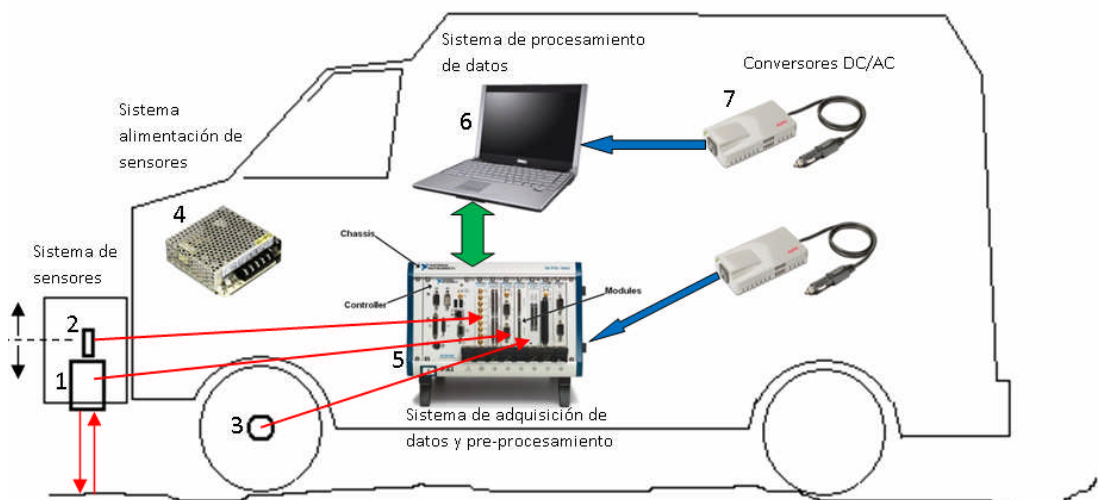
La regularidad superficial de la superficie de rodadura será medida y aprobada por el Supervisor, para lo cual, por cuenta y cargo del contratista, deberá determinarse la rugosidad en unidades IRI.

Estas especificaciones, pueden ser consideradas aceptables, pues el cálculo del valor de IRI considera un perfil longitudinal, que es la mejor forma conocida actualmente para reproducir el perfil real de un camino de una forma rápida y representativa, pero no es óptima en el sentido de que depende de la longitud del tramo a muestrear, lo que en algunos casos no permitiría detectar defectos puntuales del camino. Este parámetro varía de país en país y en el caso peruano, es establecido en cada contrato, debiendo ser normado para la generalidad de los casos.

#### 4.5 Generalidades del Medidor a Desarrollar:

El sistema consta de un conjunto de sensores de distancia (perfilómetros laser), acelerómetros inerciales para compensar la suspensión del vehículo, ondímetros para medir el desplazamiento horizontal, sistema de adquisición de datos para registrar los datos crudos de los sensores, un sistema de procesamiento digital de señales para calcular los parámetros IRI en tiempo real y una interface gráfica que presenta los resultados de las mediciones.

Figura Nro. 10



Fuente: Elaboración Propia

1. Perfilómetro láser.- Sensor encargado de medir la profundidad del pavimento.
2. Acelerómetro.- Sensor encargado de medir la referencia inercial, para compensar el desplazamiento vertical producido por la suspensión del vehículo en movimiento.
3. Ondímetro.- Sensor encargado de medir el desplazamiento horizontal del vehículo.
4. Alimentación DC/DC.- Este sistema provee alimentación a los perfilómetros, acelerómetros y ondímetros.
5. Sistema de adquisición de datos y pre-procesamiento.- Este sistema se encarga del muestreo digital de las señales

entregadas por los sensores. Este sistema consta de un procesador de tiempo real encargado de tratar digitalmente los datos censados, y de tarjetas digitalizadoras que se conectan directamente con los sensores.

6. Sistema de de procesamiento de datos.- Este sistema se encarga de mostrar los datos calculados y parámetros del IRI al operador. Este sistema se conecta vía red Ethernet<sup>12</sup> con el sistema de pre-procesamiento de datos.
7. Convertidores DC/AC.- Sistema convertidor de Corriente Continua o Directa, siglas en inglés DC (Direct Current) a Corriente Alterna, siglas en inglés AC (Alternating current) para alimentación de computadoras, diseñado para autos.

El desarrollo del sistema IRI constara de cinco etapas:

- Primera Etapa:** Desarrollo del sistema de tratamiento de datos.
- Segunda Etapa:** Desarrollo de la interface hombre máquina; diseño de instalación interna del sistema IRI en la unidad móvil.
- Tercera Etapa:** Desarrollo y configuración del sistema de adquisición de datos en tiempo real, desarrollo de los equipos de alojamiento de sensores y procesadores.
- Cuarta Etapa:** Integración del sistema IRI.
- Quinta Etapa:** Pruebas y calibración del sistema IRI, documentación y manual de operación del sistema.

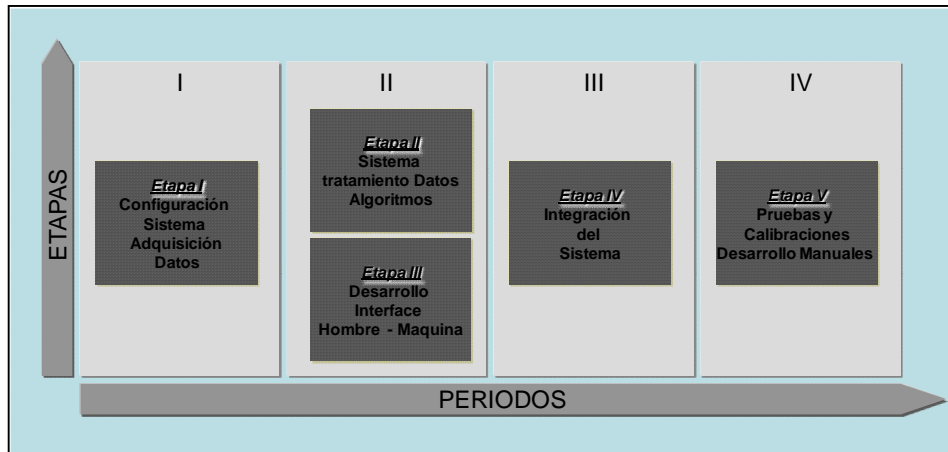
---

<sup>12</sup> Una Red Ethernet es un tipo particular de cableado de red más un grupo de especificaciones de señalización que cubren las capas 1 (Física) y 2 (Enlace) del modelo OSI. Es una red de banda base, o sea que provee un único canal de comunicación sobre el medio físico (cable), de forma que solo puede usarlo un dispositivo a la vez. Ethernet, como red de medio compartido, usa un mecanismo de acceso basado en la contención. Para ello usa un protocolo llamado CSMA/CD : carrier sense multiple access whit collision detection.

## 4.6 De las Etapas del Desarrollo del Proyecto

Al respecto, pasamos a describir brevemente las diferentes etapas del proyecto, las que se desarrollarán en cuatro periodos definidos de la siguiente forma:

Figura Nro. 11

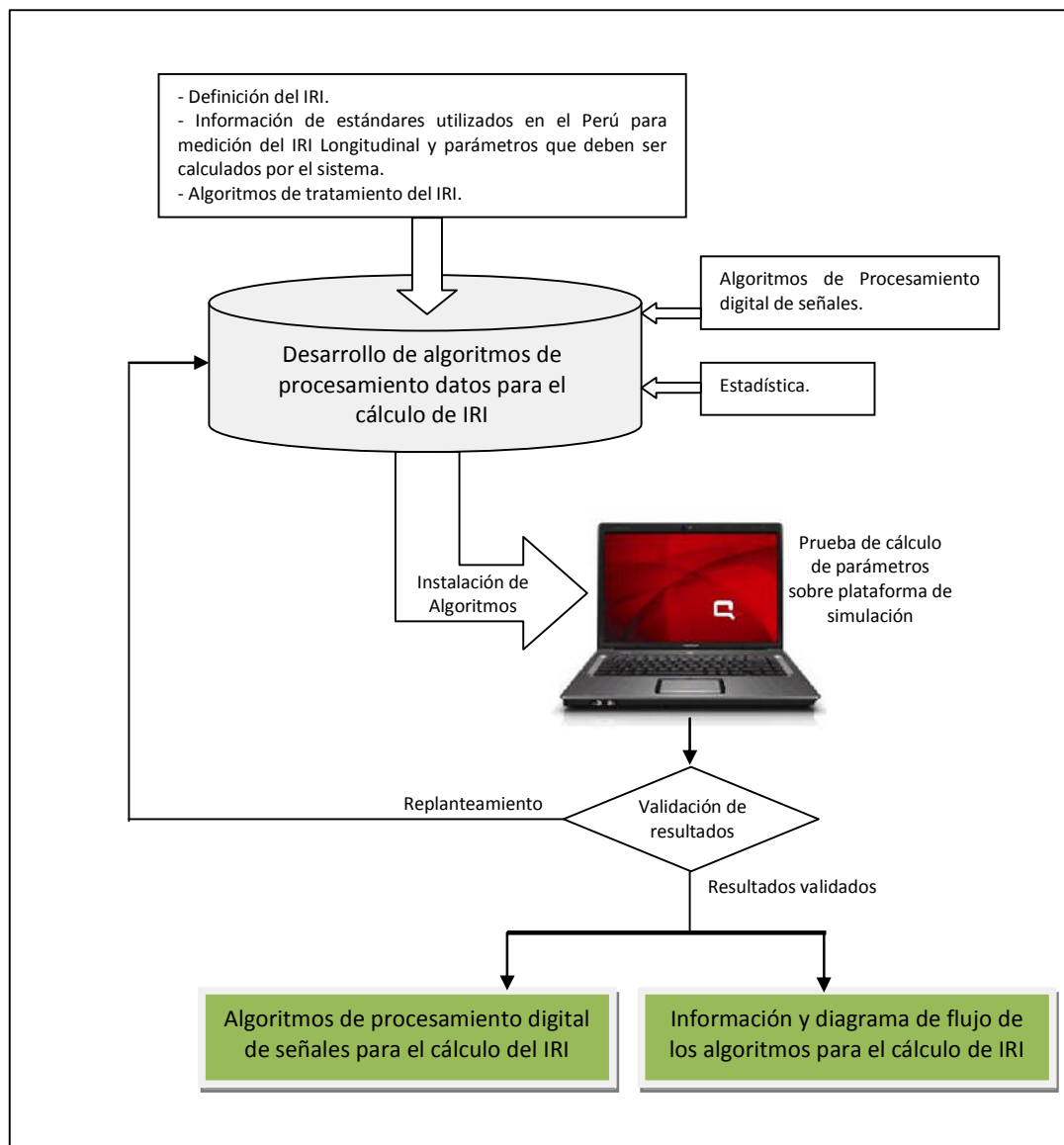


**4.6.1 Primera Etapa.-** Desarrollo del sistema de tratamiento de datos utilizando algoritmos para el cálculo del IRI, diseño estructural externo del sistema IRI.

### Descripción:

- a) En esta etapa se crean todos los algoritmos para calcular los parámetros del IRI, según las normas establecidas para el Perú. Ver párrafo 4.4
- b) Se realiza el diseño estructural externo para la instalación de los sensores en la unidad móvil.

Figura Nro. 12



Fuente: Elaboración Propia

### Requerimientos:

- Información de estándares utilizados en el Perú para medición del IRI Longitudinal y parámetros que deben ser calculados por el sistema.
- Procesador portátil.
- Algoritmos de tratamiento del IRI.
- Información técnica estructural de la unidad móvil donde será instalado el sistema.
- Dibujante técnico.

- f) Información técnica de los sensores y componentes electrónicos del sistema IRI.

**Entregables:**

- a) Algoritmos de procesamiento digital de señales para el cálculo del IRI.
- b) Información y diagrama de flujo de los algoritmos para el cálculo de IRI.
- c) Diseño de la instalación del sistema sensores en la unidad móvil.

**Desarrollo:**

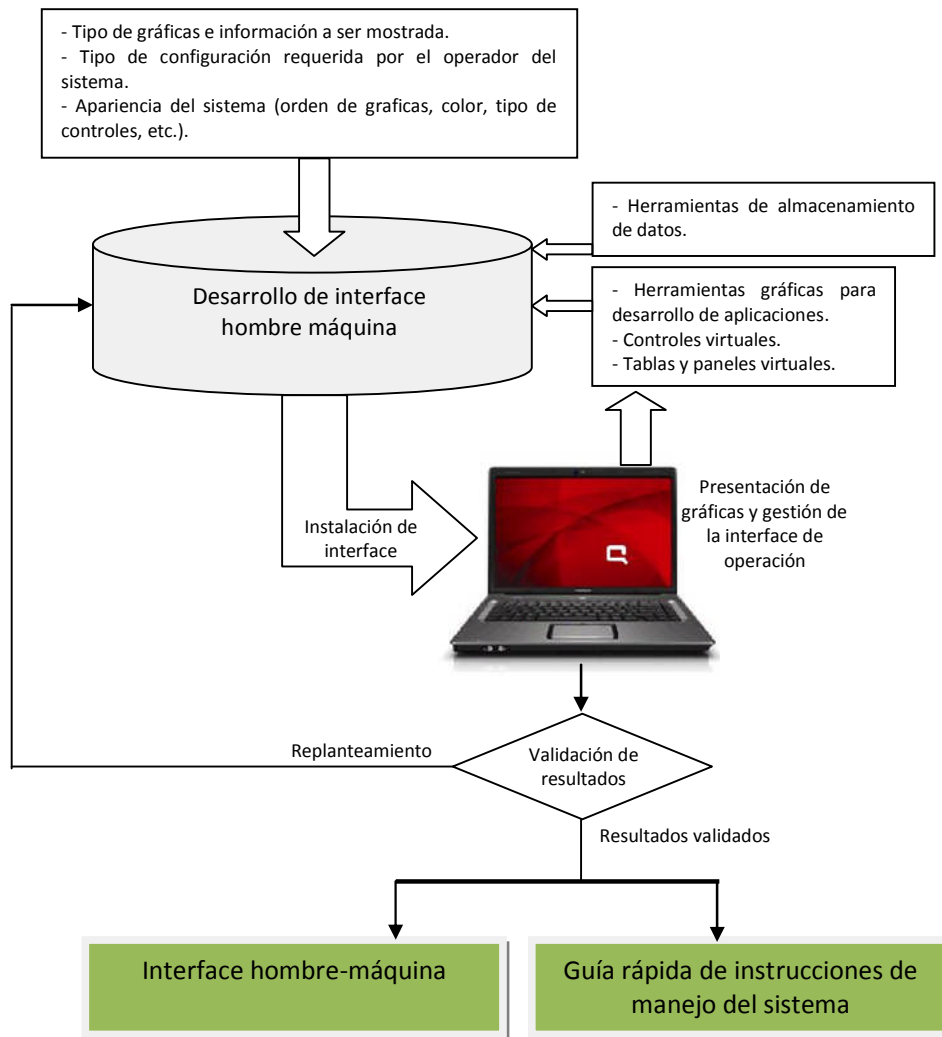
Creación de todos los algoritmos para calcular los parámetros del IRI, según las normas establecidas para el Perú.

**4.6.2 Segunda Etapa.-** Desarrollo de la interface hombre máquina para visualizar y controlar los datos medidos para el IRI, diseño de instalación interna del sistema IRI en la unidad móvil.

**Descripción:**

- a) En esta etapa se crean todas la graficas que muestran los registros medidos para el IRI, así como los controles y configuraciones que necesite el operador para sacar un reporte en tiempo real.
- b) Se diseña el sistema de alojamiento y conexiones electrónicas para los equipos de procesamiento de datos del sistema IRI.

Figura Nro. 13



Fuente: Elaboración Propia

### Requerimientos:

- Tipo de gráficas e información a ser mostrada.
- Tipo de configuración requerida por el operador del sistema.
- Apariencia del sistema (orden de graficas, color, tipo de controles, etc.).
- Dibujante técnico.
- Información técnica de equipos electrónicos y de procesamiento de datos del sistema.

### Entregables:

- Sistema de interface hombre-máquina para el sistema IRI.



- b) Guía rápida de instrucciones de manejo del sistema.
- c) Diseño de alojamiento de sistemas de procesamiento de datos.

**Desarrollo:**

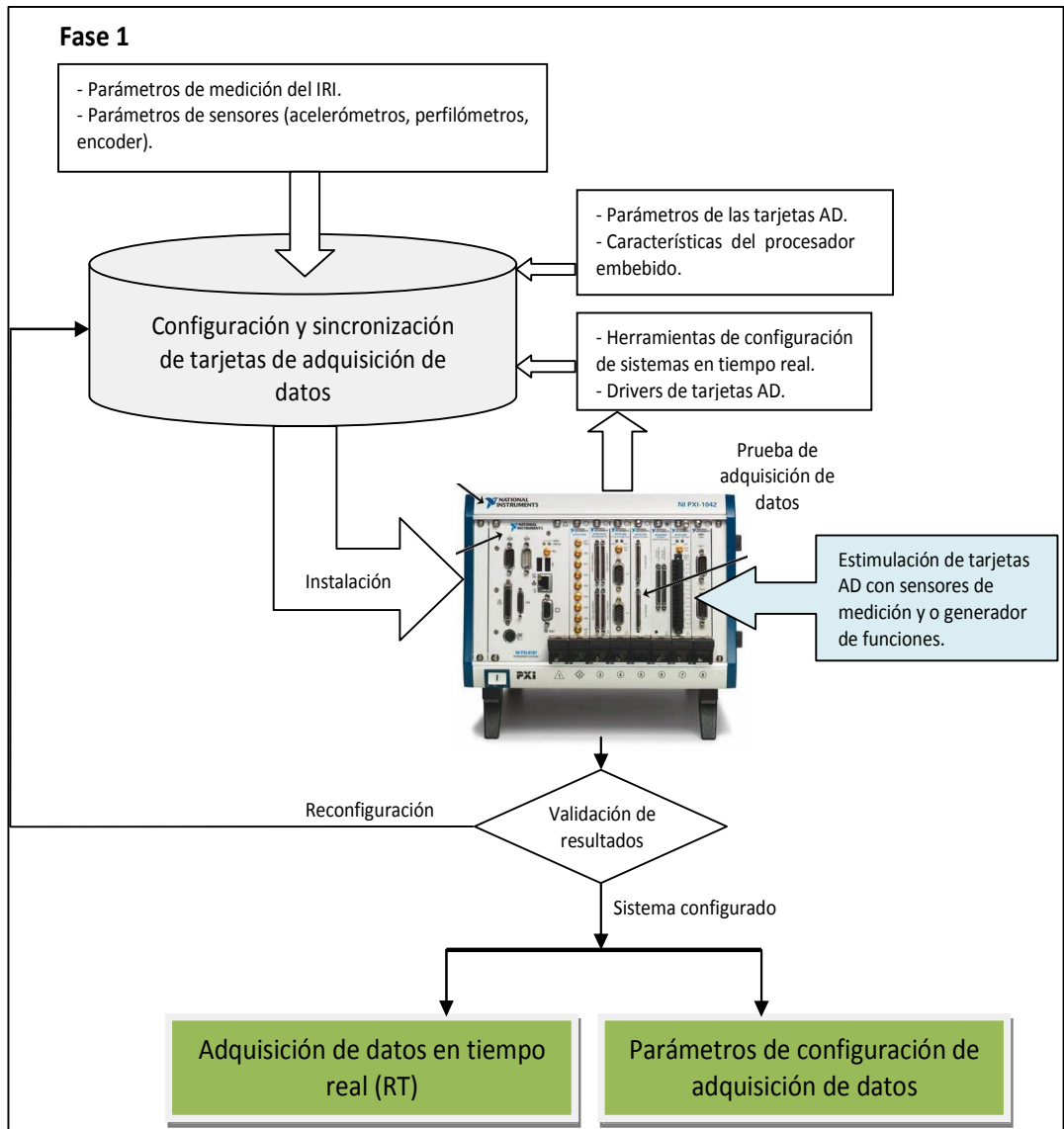
En esta etapa se crean todas las gráficas que muestran los registros medidos para el IRI, así como los controles y configuraciones que necesite el operador para sacar un reporte en tiempo real.

**4.6.3 Tercera etapa.-** Desarrollo y configuración del sistema de adquisición de datos en tiempo real, desarrollo de los equipos de alojamiento de sensores y procesadores.

**Descripción:**

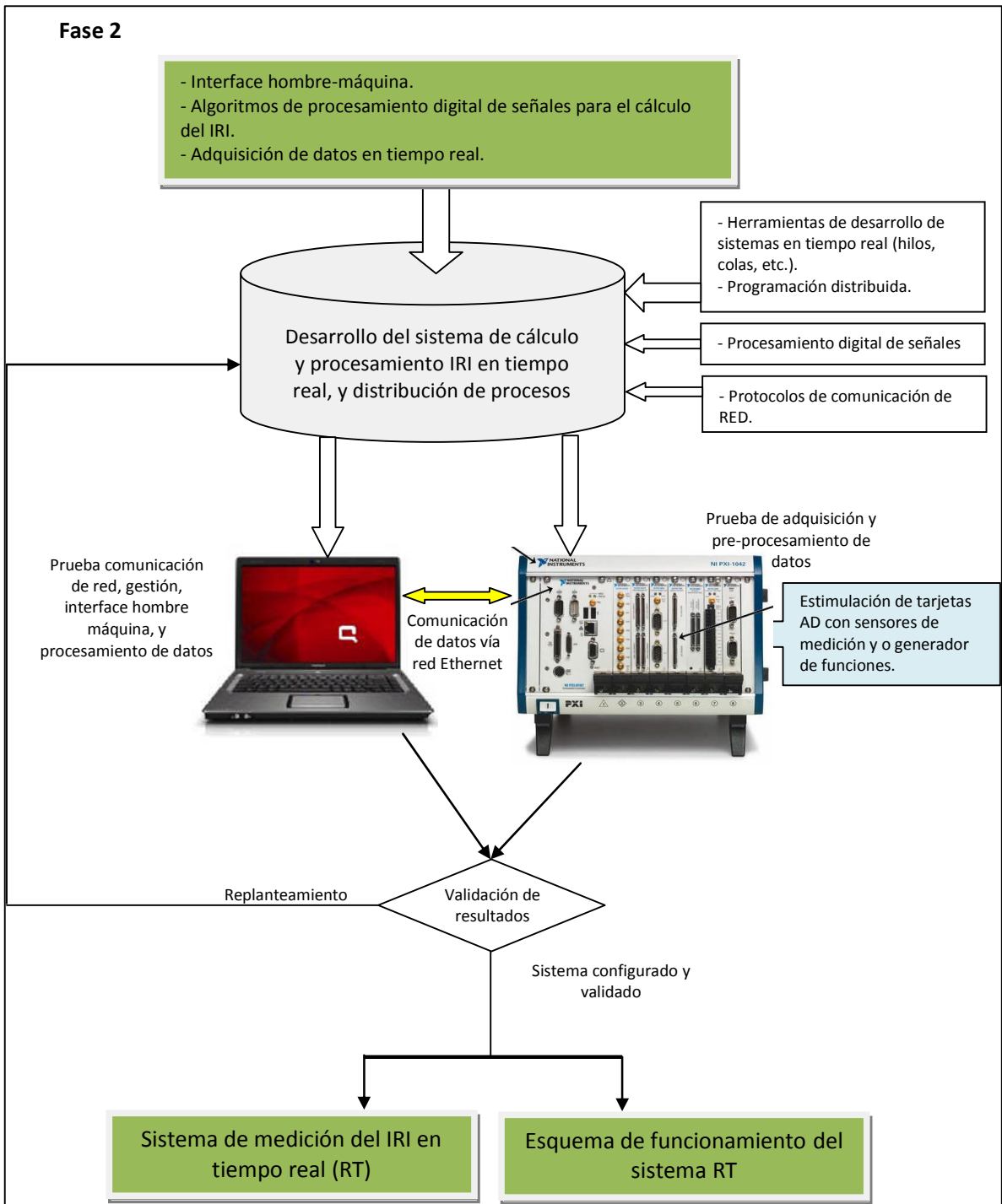
- a) En esta etapa se configuran y sincronizan las tarjetas de adquisición de datos (fase 1), y se crea una estructura de procesamiento de datos en tiempo real (fase 2).
- b) Se desarrollan los equipos de alojamiento de sensores y procesadores.

Figura Nro. 14



Fuente: Elaboración Propia

Figura Nro. 15



Fuente: Elaboración Propia

**Requerimientos:**

- a) Equipos de adquisición de datos para el sistema IRI (sensores, tarjetas A/D, procesador embebido).
- b) Planos de diseños del sistema de alojamiento de sensores y procesador.
- c) Materiales para el desarrollo del sistema de alojamiento.
- d) Servicio en desarrollo mecánico.

**Entregables:**

- a) Adquisición de datos en tiempo real (RT).
- b) Parámetros de configuración de adquisición de datos.
- c) Sistema de medición del IRI en tiempo real.
- d) Esquema de funcionamiento del sistema RT.
- e) Sistema de alojamiento de equipos electrónicos y de procesamiento del sistema IRI.

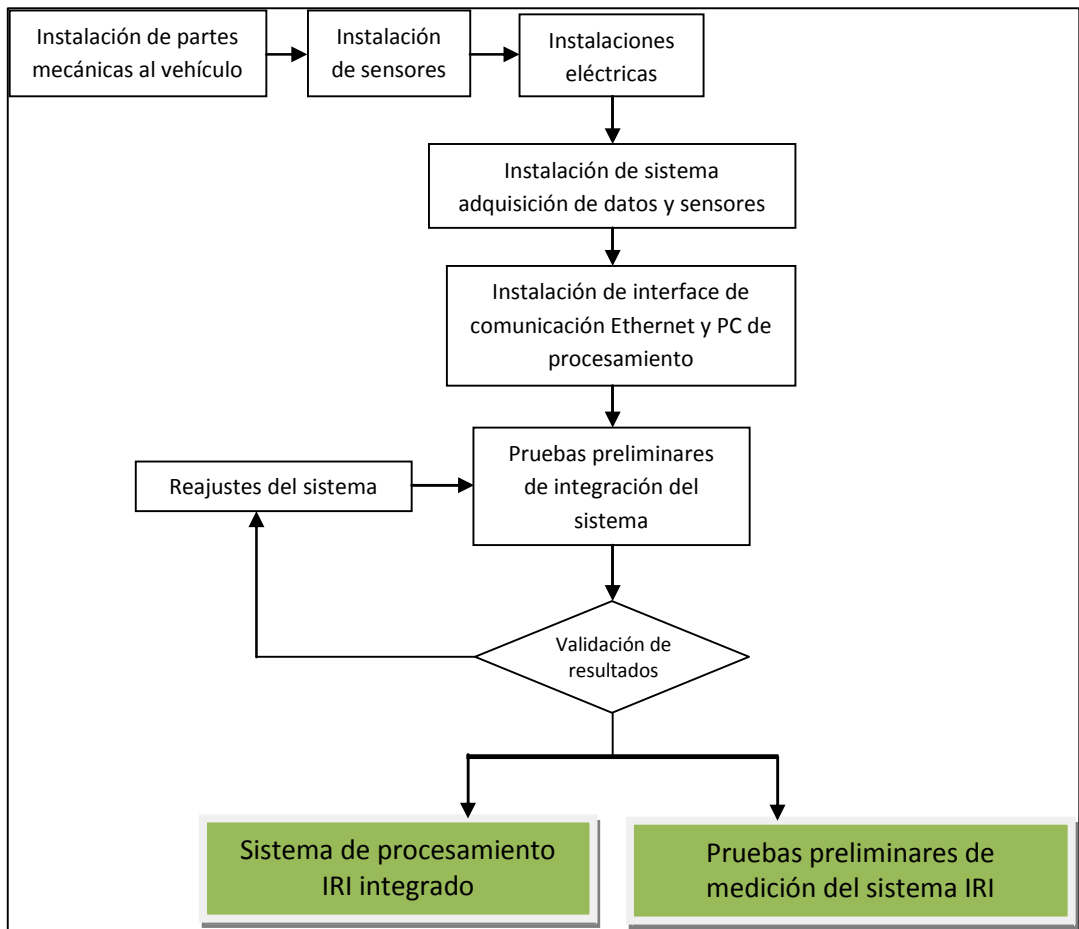
**Desarrollo:**

Configuración y sincronización de las tarjetas de adquisición de datos, desarrollo de estructura de procesamiento de datos en tiempo real.

**4.6.4 Cuarta etapa.- Integración del sistema IRI.****Descripción:**

- a) En esta etapa se integran los sensores con las tarjetas de adquisición de datos.
- b) Se genera una comunicación con el procesador portátil vía red Ethernet.
- c) Se instalan dentro del vehículo con alojamiento mecánico.
- d) Se hacen las instalaciones eléctricas para el sistema.
- e) Se realizan las pruebas preliminares del sistema IRI en la unidad móvil.

Figura Nro. 16



Fuente: Elaboración Propia

### Requerimientos:

- Equipos de adquisición de datos para el sistema IRI (sensores, tarjetas A/D, procesador embebido).
- Sistema de procesamiento IRI.
- Estructura de alojamiento de sensores y procesador de datos.
- Unidad móvil.

### Entregables:

- Sistema de procesamiento IRI integrado.
- Pruebas preliminares de medición del sistema IRI.

### Desarrollo:

Proceso de integración:

**4.6.5 Quinta etapa.-** Pruebas y calibración del sistema IRI, documentación y manual de operación del sistema.

**Descripción:**

- a) En esta etapa se calibra y se realizan las pruebas de medición de las carreteras utilizando el sistema IRI desarrollado.
- b) Se realiza un informe técnico de las pruebas obtenidas.
- c) Se desarrolla el manual de operación para el sistema IRI.

**Requerimientos:**

- a) Sistema IRI instalado en la unidad móvil.

**Entregables:**

- a) Sistema IRI calibrado y probado.
- b) Manual de operación.
- c) Informe con especificaciones técnicas del sistema.

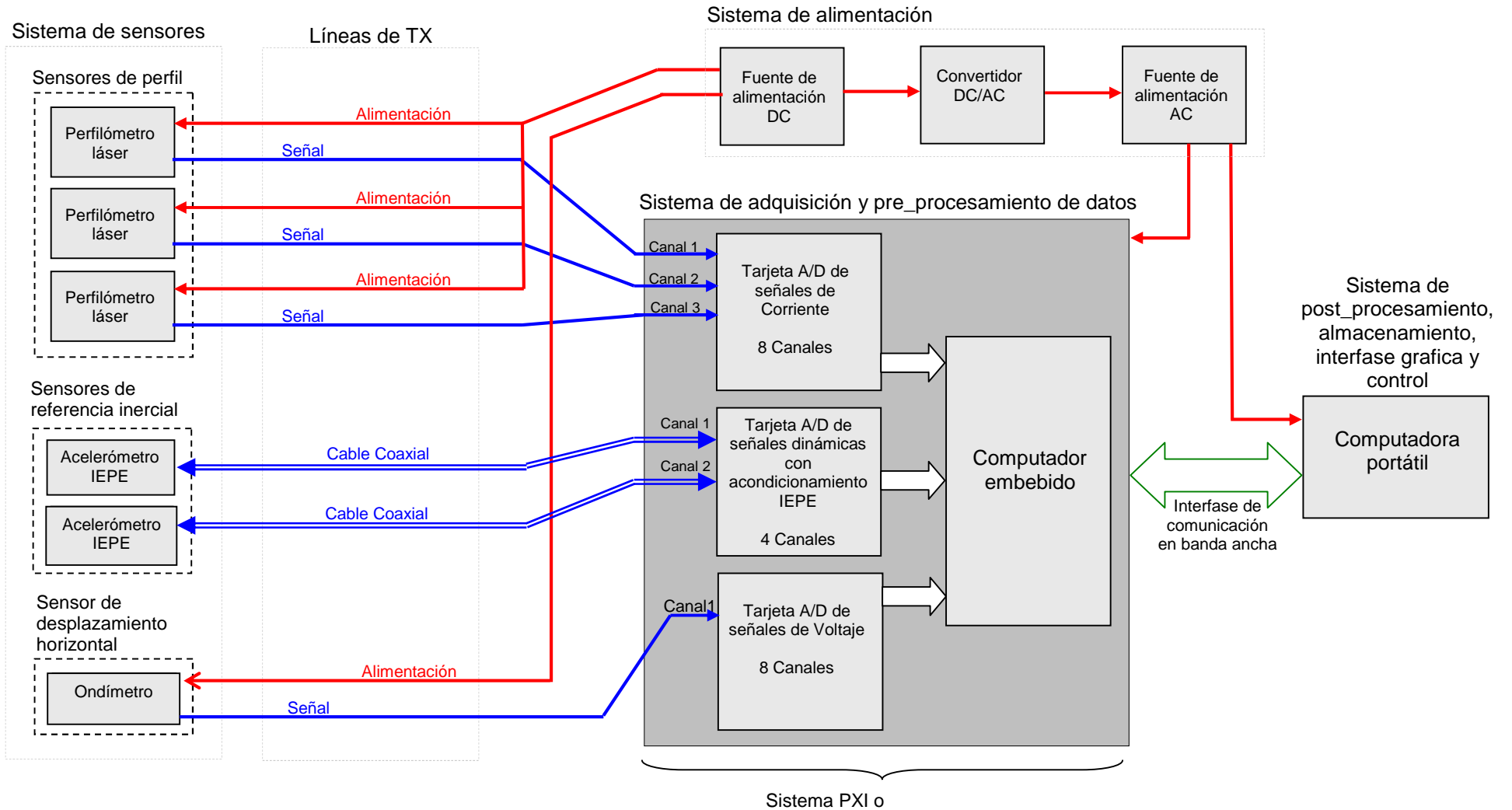
**- Características Generales de los Componentes del Sistema:**

1. Para los sistemas de sensores, se contará con dos perfilómetros laser de alta precisión y velocidad de muestreo, dos acelerómetros IEPE para medir la referencia inercial, y un ondímetro que medirá el desplazamiento vertical del vehículo.
2. Líneas de transmisión de datos que conecten directamente los sensores con el sistema de adquisición de datos.
3. Un sistema de alimentación DC para los sensores y alimentación AC (con conversor DC/AC) para el pre-procesador y computadora portátil.
4. Un Computador portátil para la muestra y registro de datos calculados para el IRI.
5. Un Sistema de adquisición de datos y pre-procesamiento, con un sistema integrado de tarjetas para la digitalización de datos con procesador embebido para aplicaciones de tiempo real. Esta configuración puede ser con PXI o con compact RIO.

6. Todos los equipos serán portables y fáciles de instalar en cualquier vehículo.
7. Todos los equipos contarán con características de uso industrial.

## 4.7 De los componentes del Sistema

Esquema del sistema IRI (Figura Nro. 17)





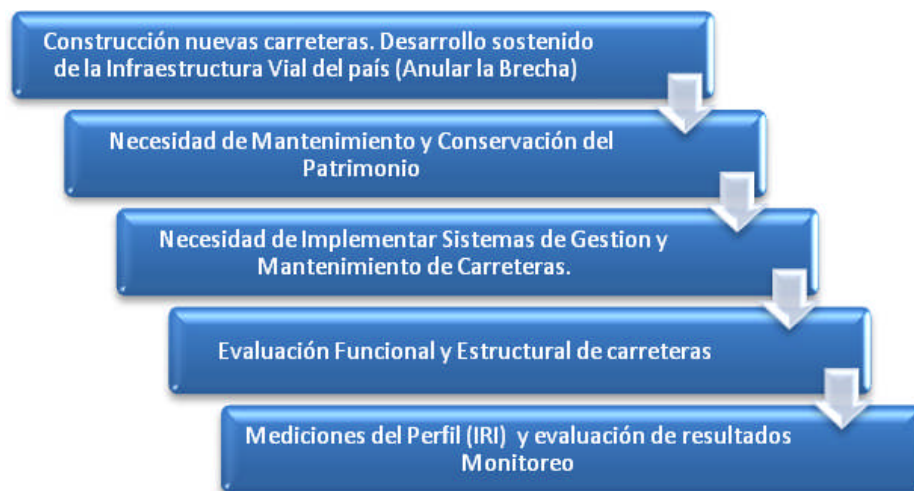
## **CAPITULO V**

### **VIABILIDAD TECNOLÓGICA - EMPRESARIAL**

## 5.1 Aspectos Corporativos

HOB S.A. fundada en 1971, es una empresa especializada y dedicada a la elaboración de estudios y a la supervisión de obras de Infraestructura vial. El contexto actual, donde el Estado Peruano viene desarrollando decididos esfuerzos en cubrir la brecha de infraestructura, ha generado las condiciones así como el ambiente propicio para participar en el sector vial nacional y desarrollar líneas de negocio que complementen la actividad principal de HOB S.A., en este caso, efectuar mediciones sobre la calidad de la infraestructura con el empleo de la instrumentación requerida en forma adecuada y oportuna. (Ver figura 18)

Figura Nro. 18

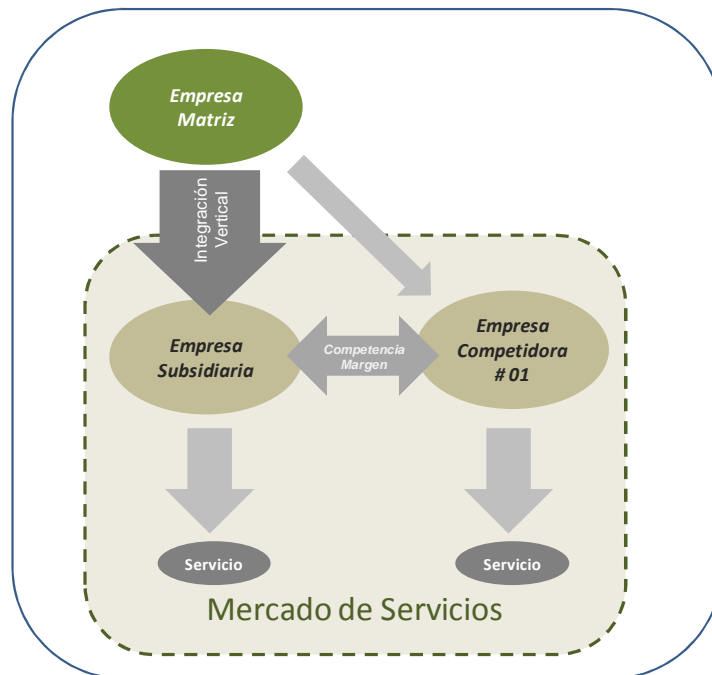


Fuente: Elaboración propia

Esta nueva actividad desde el punto de vista de la empresa se ve como una forma de organización corporativa con múltiples ventajas; desde el punto de vista de la libre competencia, debido a la elevada concentración de mercado que podría tener una empresa concentrada verticalmente. Por tratarse de servicios de los cuales HOB S.A. los podría emplear como insumo para el desarrollo de su actividad, se estaría dando la integración vertical hacia atrás, es decir la nueva empresa produciría algunos insumos utilizados en los servicios de

Estudios o de Supervisión de obras de infraestructura vial que ofrece HOB S.A. lo que se justifica con la posibilidad de tener un suministro estable y de calidad constante de información para el producto final de HOB S.A., es decir incorporándolos a su cadena de valor.

Figura Nro. 19



Fuente: Elaboración propia.

En este contexto, la Gerencia General encarga a la Oficina de Innovación Tecnológica formular un proyecto de desarrollo y su presupuesto de inversión, modelo empresa nueva, especializada en técnicas de medición del Índice de Rugosidad (IRI). Toda vez que existe un atractivo mercado potencial de servicios de medición por atender, y no se evidencia competencia en el país. (Entendiéndose como rugosidad a las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costos de operación del vehículo).

## **5.2 Unidad de Negocio - Giro - Organización de la Empresa Nueva.**

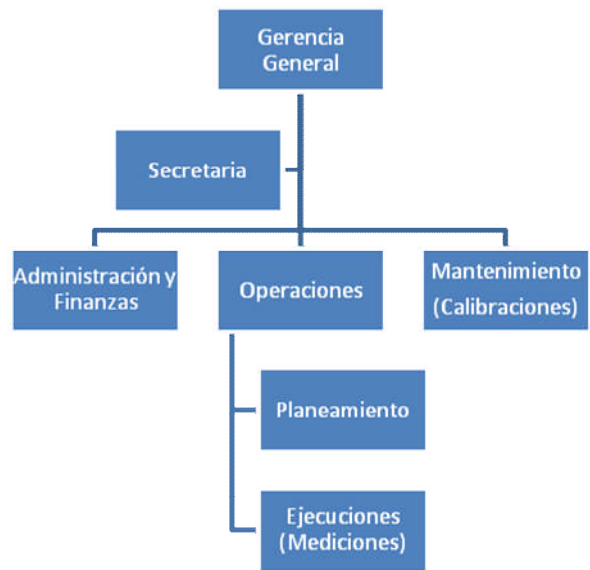
La Casa Matriz, Empresa HOB S.A. a través de su Gerencia General asignará los recursos económicos (Presupuesto de Inversión) de la siguiente forma: 60% como aporte y 40% con apalancamiento financiero vía crédito bancario; sistemas de tecnologías de información, los muebles e inmuebles tales como el equipamiento electrónico, medios de transporte así como los recursos humanos requeridos, para la creación de la Unidad de negocio o Empresa y su inicio de operaciones. Para efectos del cálculo de la proyección de la demanda se deberá considerar como escenario base el posicionamiento de la casa matriz en el sector.

El giro del negocio de la empresa son los servicios de medición de IRI de las carreteras del sistema vial nacional, con el fin de contribuir a asegurar el desarrollo sostenible de la inversión en infraestructura en transporte proveyendo controles relacionados a la calidad de terminación de los pavimentos, que refleja en el nivel de comodidad, seguridad y costos de operación para los usuarios.

En este sentido, medir el perfil longitudinal de las carreteras con el máximo nivel de precisión a través de equipos tipo perfilómetro laser, será de significativa importancia toda vez que esta demostrado que el mantenimiento vial es menos costoso que la rehabilitación o su mejoramiento; adicionalmente, es imprescindible y necesario el servicio de medición del IRI, por ser el parámetro insumo que requiere todo sistema de gestión de mantenimiento vial, asimismo, se ha observado deficiencias en la información relevante de nuestra infraestructura vial, generalmente por falta de la instrumentación disponible para medirla.

Con el fin de poner en marcha la empresa, en la figura Nro. 21 se observa la estructura funcional recomendable para que la nueva organización pueda cumplir con sus objetivos:

Figura Nro. 20



Fuente: Elaboración propia.

**CAPITULO VI**

**EVALUACIÓN ECONÓMICA**

## 6.1 Proyección de la Demanda en el Mercado Peruano

Para el presente trabajo de investigación, se ha considerado la participación del sector privado en apoyo a la gestión vial que debería realizar el Estado, en particular la provisión de información que permita mejorar la gestión de mantenimiento de la infraestructura de carreteras. En este sentido, es usual la participación corporativa de privados en asuntos de concesiones de infraestructura dado los altos costos y riesgos asociados, por lo que se ha considerado la participación 40% - 60% en el aspecto financiero, así como el aporte de su mercado actual (contratos de obras y administración de concesiones de carreteras) del orden del 14% como el escenario base en la proyección de demanda.

Asimismo, para estimar los escenarios moderado y optimista se ha tomado en cuenta, además del mercado cautivo antes mencionado, una participación adicional en el resto del mercado de 4% y 8%, lo que significaría una participación total de mercado del orden del 17% y 20% para los escenarios moderado y optimista, respectivamente. Además, en todos los escenarios se ha implementado una tasa de crecimiento de la demanda del 5% anual a partir del segundo año del proyecto como una consecuencia del clima de fortalecimiento de las inversiones que se vienen ejecutando para cubrir la brecha en infraestructura del país, tal como se desarrolló en 1.2.

El cuadro N° 17 muestra la distribución de la participación del mercado del proyecto, tanto para el mercado cautivo (corresponde al posicionamiento de mercado del socio estratégico), el resto del mercado (corresponde al total del mercado menos el mercado cautivo) y el total del mercado, en kilómetros - carril y en porcentaje:

Cuadro Nro.17

Distribución del Mercado en kilómetros - carril						
Escenarios	Mercado cautivo		Resto del mercado		Total del mercado	
	1,722	Participación	10,689	Participación	12,411	Participación
Escenario Base	1,722	100%	0	0%	1,722	14%
Escenario 2	1,722	100%	428	4%	2,149	17%
Escenario 3	1,722	100%	855	8%	2,577	21%

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro N° 18 muestra un resumen de la demanda proyectada de servicios de medición para los primeros cuatro años del proyecto, expresada en el parámetro kilómetros - carril:  
(nota se redondean los datos para el año 1)

Cuadro Nro.18

Demanda Proyectada de Servicios según Escenarios (kilómetros – carril)				
Escenario	años			
	1	2	3	4
Base	1700	1700	1785	1874
Moderado	2100	2100	2205	2315
Optimista	2500	2500	2625	2756

Fuente: Elaboración propia

## 6.2 Presupuesto de Inversión:

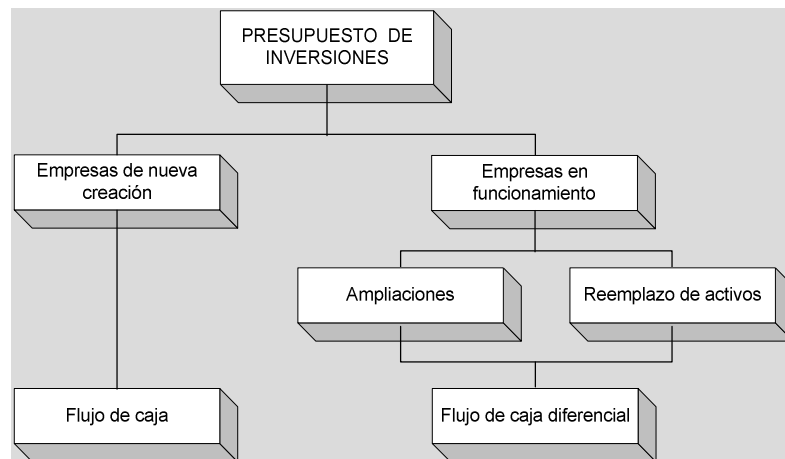
Los presupuestos de inversiones que generan los flujos de caja económicos, tienen algunas características especiales, según los proyectos de inversión se estructuran para analizar la factibilidad de:

- ✓ Empresas de nueva creación.
- ✓ Ampliaciones.
- ✓ Reemplazo de activos.

En la figura se muestra los tipos de flujos de caja a emplear para la evaluación de proyectos de empresas nuevas y en funcionamiento.



Figura Nro 21



Fuente: elaboración propia

Para el caso en estudio, se evaluará la factibilidad de constituir una nueva empresa la cual brindará servicios de medición del parámetro IRI de las carreteras del país. Este proyecto tiene una vida útil de 4 años, siendo sus ventas anuales estimadas en 5.1 en Kilómetros - carril medidos en los años 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

El precio unitario de venta se han considerado escenarios entre 280 y 320 unidades monetarias (um) con una tasa de crecimiento anual del 4% en razón a aspectos inflacionarios y macroeconómicos del entorno económico mundial y nacional actual.

El Costo de producción unitario, es de 160 um (excluye la depreciación), incluye 40 um de materia prima directa, 100 um de mano de obra directa y 20 um de costos indirectos de fabricación. No varía durante el horizonte del proyecto por política de empresa.

Los Gastos operativos anuales, son 100,000 um; de gastos administrativos y 20000 um de gastos de venta y distribución. No varían durante el horizonte del proyecto por política de empresa.

Las Inversiones, son 100,000 um en equipamiento electrónico.

Los Intangibles, los estudios del proyecto son 10000 um y los gastos de puesta en marcha son otros 10,000 um, estos intangibles se amortizan en el período de 2 años.

El Capital de trabajo, debe cubrir el costo de producción y gastos operativos correspondientes a un período de 6 meses de operación.

Los Inmuebles (incluyen terrenos) y los equipos electrónicos que tienen un valor de salvamento de 30,000 um al final de la vida útil del proyecto, se depreciarán por el método de la línea recta en un período de 30 y 5 años respectivamente.

La tasa del impuesto a la renta es 30%

El costo de oportunidad del capital es una tasa de 15% anual y, si la evaluación económica fuese favorable, se debe analizar la factibilidad de una estructura de financiamiento 40% (terceros) y 60% (propio), este financiamiento devengará una TEA de 12%, amortizable en el plazo de 4 años con cuotas anuales uniformes.

Vamos a formular el presupuesto de inversiones y obtener el flujo de caja económico, el flujo de caja del financiamiento neto y el flujo de caja financiero.

Valor residual de los equipos es de 30,000 um.

Costo de producción, se obtiene al multiplicar las unidades que se producirán por el respectivo costo de producción de 120 um (que excluye la depreciación).

Gastos operativos, son de 120,000 al año.

La Depreciación es lineal y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{\text{Costo de adquisición} + \text{Gastos de instalación}}{\text{Vida útil}}$$

Por ejemplo, la depreciación de los equipos electrónicos de 20,000 um anuales se obtuvo al dividir la inversión en equipos electrónicos de 100,000 um por su vida útil de 5 años.

La Amortización de intangibles, se obtiene en forma similar a la depreciación.

Valor en libros de activos fijos VL, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$VL = \text{Costo de adquisición} - \text{Depreciación acumulada}$$

Por ejemplo, el valor en libros de los equipos electrónicos de 20,000 um al final de la vida útil del proyecto, se obtuvo del siguiente modo:

Impuestos, se obtiene al multiplicar el ingreso neto gravable por la tasa de impuesto a la renta.

$$VL = 100000 - 80000 = 20000$$

Capital de trabajo (CT), debe cubrir los costos de producción y gastos operativos de 6 meses; dado que los flujos de caja son anuales, entonces deben tomarse los 6/12 de dichos importes:

En razón que en los dos últimos años de vida del proyecto las ventas son crecientes, los costos y gastos asociados con la producción también pueden ser crecientes de acuerdo a la política de la empresa, entonces se requería de mayor inversión en capital de trabajo para que pueda sostener el mayor nivel de actividad. Los requerimientos de CT deben estar de acuerdo a los incrementos de unidades físicas de producción, por lo que en el análisis de escenarios posibles la variación de precios no afecta esta variable. En razón de lo anterior, mostramos un cuadro del cálculo del CT incremental para el escenario base, donde se pueden apreciar los montos de inversión en CT

anticipados que deben realizarse para cubrir los requerimientos de CT del siguiente periodo. Cabe señalar que el CT se recupera en el último periodo del horizonte del proyecto.

Tabla: Capital de trabajo incremental y recuperación del capital de trabajo del Escenario Base

Cuadro Nro. 19

Capital de Trabajo					
Periodos	0	1	2	3	4
Costos de Produccion		-272,000	-282,880	-308,905	-337,324
Gastos Operativos		-120,000	-124,800	-129,792	-134,984
Total Anual		-392,000	-407,680	-438,697	-472,308
6/12 del total anual		-196,000	-203,840	-219,348	-236,154
CT incremental requerido	-196,000	-7,840	-15,508	-16,805	236,154

Fuente: Elaboración Propia

- **Flujo de caja del financiamiento neto**

Para determinar si el proyecto es adecuado de financiarse, primero se ha efectuado la evaluación económica, a partir de los flujos de caja económicos que se obtuvieron con el presupuesto de inversiones. Dado que el VANE obtenido en todos los escenarios es mayor que 0, y que la TIRE correspondiente mayor que la tasa de COK de 15%, podemos afirmar que el proyecto es viable y por lo tanto puede procederse a estructurar los presupuestos de inversiones del financiamiento neto. Para el caso del financiamiento a cargo del socio estratégico del 40% se amortizará con cuotas uniformes desagregadas en cuotas principales y cuotas interés. Esta desagregación es necesaria porque las cuotas que amortizan el principal son pasivos, mientras que las cuotas interés son gastos deducibles de impuesto que generan un escudo fiscal.

Los resultados de los flujos de caja del financiamiento neto son menores que los Flujos de Caja económicos, lo que nos permite

revelar que la estructura del financiamiento (40%-60%) es viable en todos los escenarios.

- **Flujo de caja financiero**

Este flujo muestra la diferencia de los flujos de caja económicos y del financiamiento neto, que en este caso en evaluación es positivo en todos los escenarios.

- **Flujo de caja del inversionista**

Se presenta el flujo de caja del inversionista, el cual consiste en fusionar en un sólo presupuesto las decisiones de inversión con las decisiones de financiamiento, el cual muestra la inversión y los flujos de caja después de haber cancelado el financiamiento del socio estratégico.

Para el presente trabajo de investigación se han formulado escenarios de acuerdo a los parámetros que se indican a continuación:

Cuadro N° 20

Escenarios por Evaluar				
Parámetro		Base	Moderado	Optimista
Por variación de la Demanda	Participación de mercado	14%	17%	21%
Por variación de Precios	unidades monetarias	280	300	320

Fuente: Elaboración Propia

### 6.3 Evaluación de Escenarios

De los resultados obtenidos en los presupuestos de inversión – flujos de caja de cada escenario planteado en el presente trabajo de investigación, a continuación se presenta un cuadro resumen que revela valores aceptables en los principales ratios utilizados generalmente en la evaluación de proyectos:

Cuadro N°21

Resumen de Evaluación por Escenarios						
			Por Demanda			
Por Precio	um	Indicadores	Base	Moderado	Optimista	
	Base	280	VANE al 15%	28,367	117,986	207,604
			TIRE	18.3%	27.2%	34.3%
			BC	1.09	1.35	1.56
			PRI n (años)	3.4	3.1	3.0
	Moderado	300	VANE al 15%	102,427	209,471	316,516
			TIRE	26.8%	36.5%	44.3%
			BC	1.33	1.62	1.86
			PRI n (años)	3.1	2.8	2.3
	Optimista	320	VANE al 15%	176,487	300,957	425,427
TIRE			35.2%	45.7%	54.2%	
BC			1.58	1.89	2.15	
PRI n (años)			2.8	2.2	1.9	

Fuente: Elaboración Propia

Como se desprende del cuadro anterior, podemos afirmar que el proyecto es viable económica y financieramente en los escenarios planteados.

En el Anexo 3 se presentan los detalles de los flujos de caja por cada escenario.

## **CONCLUSIONES**

1. La infraestructura vial en una economía genera una serie de efectos positivos para el desarrollo de las actividades privadas, al constituirse como activos públicos e influyen en las decisiones de producción y de consumo de las empresas y de los hogares, de allí la importancia de medir la satisfacción de los usuarios, la que se manifiesta, fundamentalmente por la calidad en que se encuentran los pavimentos o capas de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial. En la actualidad se emplea el indicador de servicialidad que comprende aspectos sobre el deterioro funcional del pavimento, como de su capacidad estructural.
  
2. Se ha identificado que la brecha en infraestructura de transporte al año 2005 era igual a US\$ 7,684 millones (aproximadamente el 33% del total). Por otro lado, a diciembre de 2007 aproximadamente 8,500 kilómetros de la Red Vial del país se encontraba asfaltada, lo que representa alrededor de 11% del total. El Estado canaliza sus esfuerzos para reducir esta brecha a través de la Dirección General de Caminos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la que a través del diagnóstico de los requerimientos de la infraestructura vial del país canaliza los proyectos hacia PROVÍAS NACIONAL, PROINVERSIÓN y OSITRAN. responsables de la promoción estratégica; la atención y calidad del servicio y la promoción de la inversión privada.
  
3. Se ha podido identificar que se carece de un Sistema de Gestión de Carreteras que incluya la calidad del servicio que se presta (serviciabilidad) generándose un vacío que restringe el conocimiento del estado real de la Red Vial Nacional y la identificación de las deficiencias existentes con el fin de medir el nivel de deterioro. Por

otro lado, conocemos que la rugosidad o regularidad superficial (IRI, índice de rugosidad internacional) es un factor que esta directamente relacionado con el estado estructural de una vía, por esta razón, se ha establecido como factor primario en el análisis de costos de mantenimiento de las carreteras y costos de los usuarios que la transitan, determinando las condiciones de estado y la vida útil de la infraestructura, que es necesario medir y evaluar periódicamente para así desarrollar programas de mantenimiento adecuados y oportunos.

- 4 Se ha podido evidenciar que existen restricciones en los Contratos de Concesión debido a la falta de estandarización de los parámetros de calidad establecidos, las que limitan el seguimiento, control y gestión de niveles estructurales y funcionales adecuados en las carreteras concesionadas, ahondando el problema identificado.
5. Es relevante la participación del sector privado en apoyo a la gestión vial del Estado, en particular la provisión de información que permita mejorar la gestión de mantenimiento de la infraestructura de carreteras. En este sentido, es usual la participación corporativa de privados en asuntos de concesiones de infraestructura dado los altos costos y riesgos asociados tanto en los aportes de capital como de su posicionamiento en el mercado para la proyección de la demanda expresada en el parámetro kilómetros – carril; como escenario base de análisis.
- 6 La evaluación de las alternativas disponibles y la selección de la mejor, se realizó con la ayuda de la metodología AHP, desarrollada por Thomas L. Saaty, el cual provee objetivos matemáticos a procesos inevitablemente subjetivos, que considera las preferencias personales o grupales en la toma de una decisión. Las alternativas disponibles a evaluar fueron: a) adquirir un equipo de medición del IRI; b) alquilarlo; c) ensamblarlo en el país con el apoyo del Fabricante y d) desarrollarlo en el país; estas alternativas fueron contratadas bajo los criterios de 1) costos; 2) disponibilidad; 3) capacidad para el



mantenimiento y reparación; 4) capacidad de integración y desarrollo y 5) fiabilidad del instrumento. Las evaluaciones efectuadas en las matrices de comparación de criterios por pares se consideran aceptables dado que la relación de consistencia se mantuvo dentro de lo esperado, pudiéndose afirmar con un nivel aceptable de certidumbre que la mejor alternativa sería la de “desarrollar un equipo de medición de iri en el país”.

7. En el Perú se ha venido empleando metodologías antiguas de medición, empleándose instrumentos tipo estáticos denominado MERLIN, otro tipo respuesta denominado Bump Integrator de uso muy limitado tanto en cantidad de proyectos, como también en calidad de resultados, debido fundamentalmente a aspectos de calibración, haciendo inconsistentes las mediciones efectuadas. A la fecha de la presente investigación, las normas vigentes sobre especificaciones técnicas para Proyectos y Obras Viales EG 2000, relacionadas a la calidad de los pavimentos de concreto asfáltico, refieren la necesidad de medir la regularidad superficial de la superficie de rodadura en unidades IRI, pudiendo utilizarse métodos topográficos, rugosímetros, perfilómetros o cualquier otro método aprobado por el Supervisor.

La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada, deberá efectuarse en toda su longitud y debe involucrar ambas huellas por tramos de 5 km, en los cuales las obras estén concluidas, registrando mediciones parciales para cada kilómetro. La rugosidad, en términos IRI, tendrá un valor máximo de 2,0 m/km. En el evento de no satisfacer este requerimiento, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactado, a fin de tomar las medidas correctivas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura.

Estas especificaciones, pueden ser consideradas aceptables, pues el cálculo del valor de IRI considera un perfil longitudinal, que es la mejor forma conocida actualmente para reproducir el perfil real de un

camino de una forma rápida y representativa, pero no es óptima en el sentido de que depende de la longitud del tramo a muestrear, lo que en algunos casos no permitiría detectar defectos puntuales del camino. Este parámetro varía de país en país y en el caso peruano, es establecido en cada contrato, debiendo ser normado para la generalidad de los casos.

- 8 El procedimiento de diseño del equipo de medición IRI considera cinco etapas, iniciándose con el desarrollo del sistema de tratamiento de datos utilizando algoritmos para el cálculo del IRI y el diseño estructural externo del sistema IRI; luego en la segunda etapa, pasamos al desarrollo de la interface hombre máquina para visualizar y controlar los datos medidos para el IRI así como el diseño de la instalación interna del sistema IRI en la unidad móvil; luego en la tercera etapa, se desarrolla y configura el sistema de adquisición de datos en tiempo real; en la cuarta etapa se desarrolla la integración del sistema IRI; finalmente en la quinta etapa se realizan las pruebas y calibraciones correspondientes con el desarrollo de los manuales técnicos de operación y mantenimiento del equipo.
  
- 9 Existe un atractivo mercado potencial de servicios de medición del IRI por atender, y no se evidencia competencia nacional en el país, por lo que medir el perfil longitudinal de las carreteras con el máximo nivel de precisión a través de equipos tipo perfilómetro laser, será de significativa importancia toda vez que esta demostrado que el mantenimiento vial es menos costoso que la rehabilitación o su mejoramiento; adicionalmente, es imprescindible y necesario el servicio de medición del IRI, por ser el parámetro insumo que requiere todo sistema de gestión de mantenimiento vial, asimismo, se ha observado deficiencias en la información relevante de nuestra infraestructura vial, generalmente por falta de la instrumentación disponible para medirla.

10. Con las consideraciones y restricciones descritas en el presupuesto de inversión del proyecto y de los resultados obtenidos en los diferentes flujos de caja de cada escenario planteado en el presente trabajo de investigación, se revela la viabilidad del proyecto de inversión tanto para la empresa como para el inversionista, siendo aceptables los valores obtenidos en el VAN, TIR, BC y PRI, principales ratios utilizados generalmente en la evaluación de proyectos, por lo que se puede concluir que el proyecto es viable económica y financieramente en los escenarios planteados, no existiendo argumentación suficiente para rechazar nuestra hipótesis planteada: ¿Es viable para una empresa privada del país desarrollar el equipamiento requerido que nos permita cubrir esta deficiencia de información de IRI de la infraestructura de carreteras?.

## **RECOMENDACIONES**

1. Desarrollar el Proyecto de Investigación, Desarrollo e Innovación tecnológica de “desarrollar en el país un equipo de medición de iri, tipo perfilómetro laser” asimismo, con las restricciones y consideraciones planteadas en el presupuesto de inversión para el presente proyecto de inversión, desarrollar los esfuerzos necesarios de formalizar y consolidar una empresa proveedora de los servicios de medición como soporte de información técnica pertinente que requiere la infraestructura de carreteras del país.
2. Motivar a la Universidad Peruana a desarrollar estudios de investigación que complementen y mejoren el presente estudio.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) "Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference" (Designation: E 950-98), ASTM, EEUU, Marzo 1998.
2. ANDERSON, David; Sweeney, Dennis and Williams Thomas. "Métodos Cuantitativos para los Negocios". Copyright International Thomson Editores, SA. Thomson. México. p. 744, 2004.
3. ARRIAGA Patiño Mario, Paul Garnica Anguas y Alfonso Rico Rodríguez. "Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México". Publicación Técnica No.108. Sanfandila, Qro., 1998
4. DÁLESSIO Fernando. "Administración y Dirección de la Producción. Enfoque estratégico y de Calidad". 2da edición. CENTRUM – Centro de Negocios PUCP. Lima – Perú. 2004
5. DIRECCIÓN NACIONAL DEL PRESUPUESTO PÚBLICO. "Informe de Recomendaciones de Presupuesto Evaluado de Conservación o Mantenimiento de Carreteras". Unidad de Evaluación – Presupuesto por Resultados. Ministerio de Economía y Finanzas. Lima – Perú. 2008
6. GUERRA-GARCÍA, Gustavo "Déficit de recursos para el Mantenimiento de la Infraestructura Vial y alternativas de solución". Ministerio de Economía y Finanzas. Lima –Perú, 2006.
7. IPE Instituto Peruano de Economía "Lecciones del mantenimiento de carreteras en el Perú, 1992 - 2007". Lima, Perú. P59, 2008.
8. PROAKIS Jhon G. y MANOLAKIS Dimitris G., "Tratamiento Digital de Señales", Prentice Hall, Tercera edición, Madrid, 1998.

9. MICHAEL W. Sayers, Thomas D. Gillespie, and Wiliam D.O. Paterson, "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements", The International Bank for Reconstruccion and Development/THE WORLD BANK, Washington D.C., U.S.A. 1986.
10. SAYERS Michael W., KARAMIHAS Steven M. "The Little Book of Profiling, Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profalies". University of Michigan, EEUU, September 1998.
11. SAYERS, M. W.; Guillespie, T.D. y Paterson, W.D.O. "Guideline for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements" World Bank Technical Paper Number 46, World Bank, Washington, pág. 87 1986.
12. SAYERS, M. et al. "The International Road Roughnes Experiment: establishing correlations and a calibration standard for measurements". Bank Technical Paper N° 45. Washington D.C., 1986.
13. SAATY, T.L., The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, NY. 1980
14. SAATY, T.L. Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburgh, PA. 1990
15. SAATY, T.L., Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process, RWS Publications, Pittsburgh, PA. 1994.
16. VÁSQUEZ Arturo & Bendezú Luis "Ensayos sobre el rol de la infraestructura vial en el crecimiento económico del Perú", Consorcio de Investigación Económica y Social – CIES / Banco Central de Reserva del Perú, Lima, Perú, 2008.