



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrados

Maestría de Tecnologías de la Información y Comunicación

**SIDVI - SISTEMA DE INVENTARIOS DE DAÑOS VIALES CON UN MÓDULO  
PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO COMO  
INDICADOR DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES**

**Ing. Andrés Ixpec Calvillo**

Asesorado por el Ing. MA. Marlon Antonio Pérez Türk

Guatemala, agosto de 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SIDVI - SISTEMA DE INVENTARIOS DE DAÑOS VIALES CON UN MÓDULO  
PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO COMO  
INDICADOR DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANDRÉS VICTORIANO IXPEC CALVILLO**

ASESORADO POR EL ING. MARLON ANTONIO PÉREZ TÜRK

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ARTES EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y  
COMUNICACIÓN**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Murphy Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Marlón Antonio Pérez Türk
EXAMINADORA	Inga. María Elizabeth Aldana Díaz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **SIDVI - SISTEMA DE INVENTARIOS DE DAÑOS VIALES CON UN MÓDULO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO COMO INDICADOR DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrados, con fecha julio de 2014.



**Andrés Victoriano Ixpec Calvillo**





FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

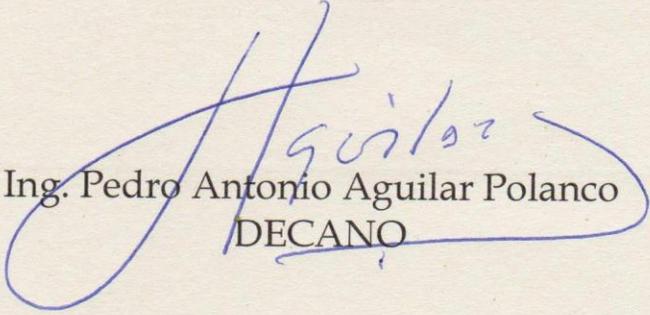
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2016-059

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación titulado: **"SIDVI - SISTEMA DE INVENTARIOS DE DAÑOS VIALES CON UN MÓDULO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO COMO INDICADOR DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES"** presentado por el Ingeniero en Sistemas Informática y Ciencias de la Computación **Andrés Victoriano Luis Pedro De Jesús Ixpec Calvillo**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
DECANO

Guatemala, agosto de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-059

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"SIDVI - SISTEMA DE INVENTARIOS DE DAÑOS VIALES CON UN MÓDULO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO COMO INDICADOR DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES"** presentado por el Ingeniero en Sistemas Informática y Ciencias de la Computación **Andrés Victoriano Luis Pedro De Jesús Ixpec Calvillo**, correspondiente al programa de Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación; apruebo y autorizo el mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos

Director

Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, agosto de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-059

Como Coordinador de la Maestría en Tecnologías de la Información y la Comunicación y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"SIDVI - SISTEMA DE INVENTARIOS DE DAÑOS VIALES CON UN MÓDULO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO COMO INDICADOR DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES"** presentado por el Ingeniero en Sistemas Informática y Ciencias de la Computación **Andrés Victoriano Luis Pedro De Jesús Ixpec Calvillo**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

*"Id y Enseñad a Todos"*



*[Handwritten Signature]*  
MSc. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, agosto de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por todas las bendiciones que me ha dado. Especialmente por proveerme la sabiduría, paciencia y perseverancia necesaria para alcanzar esta meta.
- La Virgen María** Por ser compañera, amiga y madre de toda la vida.
- Mi esposa** Con amor. Por tu paciencia y compañía en las noches de desvelos. Por ser esta la primer meta que alcanzamos juntos.
- Mi madre** En especial. Por tu abnegación. Por ser mi motivación en la lucha constante de lograr siempre lo que me propongo.
- Mi padre** Por tu apoyo. Por aceptar con amor ser el padre que Dios te pidió que fueras para mi.
- Mis hermanos** Javier, Danko y Tin. Por ser como son. Por enseñarme que la familia siempre es primero. Y como ejemplo para ustedes de que cuando el esfuerzo y la oportunidad se cruzan los sueños se materializan.

**Mi familia**

Porque aunque no nos veamos, me hacen sentir su presencia.

**Mis amigos**

Porque hacen del camino que nos separa una distancia corta.

**Mi cohorte**

Por ser unidos. Y porque a pesar de que termináramos solo cinco, apoyándonos fuimos suficientes. Espero acompañarlos en su graduación.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Sin su presencia nada en mi vida sería posible.
<b>Mi asesor</b>	MA. Marlon Antonio Pérez Türk. Por compartirme sus conocimientos, experiencia, apoyo y el tiempo necesario para que lograré alcanzar esta meta.
<b>Mi revisora</b>	MSc. María Aldana. Por ser el impulso de conocimiento que me apoyo en la finalización de este estudio.
<b>Mis catedráticos</b>	Por brindarme su conocimiento, y con ello permitir realizarme como profesional.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por formarme profesionalmente.
<b>Gisystems</b>	Por el apoyo prestado en la realización de este estudio.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS .....	XV
OBJETIVOS .....	XIX
MARCO METODOLÓGICO .....	XXI
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Estado actual de los Inventarios Viales en Guatemala .....	3
1.2. Herramientas que brindan el levantamiento de inventarios viales .....	3
1.2.1. Geovial .....	4
1.2.2. Oriman Survey .....	4
1.2.3. Gisystems .....	5
1.2.4. Insegvial .....	7
1.2.5. Imajbox .....	7
2. JUSTIFICACIÓN .....	9
3. ALCANCES .....	11
3.1. Resultados .....	11
3.2. Alcances técnicos .....	12

4. MARCO TEÓRICO .....	15
4.1. Arquitectura de sistemas .....	15
4.1.1. Arquitectura de sistemas móviles .....	15
4.1.2. Arquitectura de sistemas distribuidos .....	16
4.1.3. Arquitectura de sistemas en tiempo real.....	17
4.2. Sistemas de posicionamiento global .....	18
4.3. Teléfonos inteligentes.....	18
4.4. Sistema Operativo Android.....	19
4.4.1. Tareas en segundo plano en Android.....	19
4.5. Servicios Web SOAP.....	20
4.6. Sistemas de apoyo a la toma de decisiones .....	21
4.7. Inventarios Viales .....	22
4.8. Índice de condición de Pavimento .....	25
5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	27
5.1. Diseño y análisis de la Arquitectura de Software.....	27
5.2. Diseño, análisis y desarrollo de la aplicación móvil .....	29
5.2.1. Tecnologías implementadas en la aplicación móvil .....	29
5.2.2. Interfaz de usuario de la aplicación móvil .....	31
5.3. Sitio Web para el análisis del PCI.....	33
5.3.1. Tecnología utilizada en la implementación del Sitio Web.....	35
5.4. Determinación de los requerimientos de información.....	35
5.4.1. Aplicación de métodos intrusivos de análisis de información: entrevistas a expertos sobre el levantamiento de inventarios viales y generación del PCI .....	35
5.4.2. Aplicación de métodos no intrusivos de análisis de información.....	37

5.4.3.	Diseño de diagramas de los flujos de datos como una representación gráfica del movimiento de los datos desde su captura hasta la generación del Índice de Condición del Pavimento.....	39
5.5.	5.5 Análisis de las necesidades del sistema .....	43
5.5.1.	Descripción de las especificaciones de los procesos físicos y lógicos para el asentamiento de inventarios viales. ....	43
5.6.	Funcionamiento final obtenido con SIDVI .....	46
5.6.1.	Prueba piloto realizada con SIDVI .....	47
5.6.2.	Resultados obtenidos en la prueba piloto .....	48
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	49
6.1.	Comparación de los resultados obtenidos con el prototipo de SIDVI con las herramientas actuales.....	51
6.2.	Impacto social.....	53
6.3.	Impacto económico.....	54
6.4.	Impacto tecnológico.....	55
6.5.	SIDVI como herramienta tecnológica de apoyo en la Ingeniería Civil.....	56
6.6.	Plan de negocios .....	57
	CONCLUSIONES .....	59
	RECOMENDACIONES.....	61
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	ANEXOS.....	69



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Interfaz del software Geovial .....	4
2.	Equipo de trabajo utilizado por ORIMAN SURVEY .....	5
3.	Equipo de trabajo utilizado por la herramienta Gisystems .....	6
4.	Pantallas generadas por Insegvial .....	7
5.	Interacción de un Servicio Web (Web Service, en inglés) usando estándares tecnológicos de internet.....	20
6.	Ilustración del funcionamiento obtenido con SIDVI .....	28
7.	Tecnologías implementadas en la aplicación móvil .....	30
8.	Datos serializados en notación JSON por la aplicación móvil.....	31
9.	Interfaz mostrada al usuario en la aplicación móvil para las preguntas de tipo lista .....	32
10.	Elementos y daños de un inventario vial, mostrados en el sitio web de SIDVI.....	33
11.	Elementos y daños de un inventario vial, mostrados en el sitio web de SIDVI.....	34
12.	Elementos y daños de un inventario vial, mostrados en el sitio web de SIDVI.....	34
13.	Diagrama de flujo sobre el proceso actual para el levantamiento de inventarios viales... ..	39
14.	Diagrama de flujo de procesos lógicos del sistema propuesto.....	44
15.	Diagrama de flujo sobre el procesos físicos del sistema propuesto .....	44
16.	Ilustración del funcionamiento obtenido con SIDVI .....	47

## TABLAS

I.	Rangos de calificación del PCI .....	26
II.	Duración estimada utilizando las herramientas y procedimientos actuales para un tramo de 10 km de longitud .....	40
III.	Porcentaje esperado de reducción de tiempo en la ejecución del proceso aplicando las mejoras propuestas .....	41
IV.	Resultados obtenidos en la prueba piloto .....	48

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>4G</b>	Tecnología de cuarta generación
<b>BLL</b>	Business Layer Logic, o capa de negocios
<b>COVIAL</b>	Unidad Ejecutora de Conservación Vial del Gobierno de Guatemala
<b>DAL</b>	Data Access Layer, o capa de acceso a datos
<b>GISYSTEMS</b>	Empresa Consultora de Ingeniería Civil y de Sistemas
<b>GOOGLE</b>	Empresa multinacional norteamericana de tecnología
<b>GPS</b>	Sistema de posicionamiento global
<b>HDM</b>	Highway Design and Maintenance Model, Modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
<b>JSON</b>	JavaScript Object Notation
<b>MML</b>	Capa de métodos
<b>PCI</b>	Índice de condición de pavimento
<b>SIDVI</b>	Sistema de inventarios viales
<b>SO</b>	Sistema Operativo
<b>TASM</b>	Sociedad Americana para pruebas y materiales
<b>TICS</b>	Tecnologías de la información
<b>UIL</b>	Capa de interfaz de usuario
<b>UML</b>	Capa de interfaz lógica
<b>WWW</b>	World Wide Web
<b>WSL</b>	Capa de servicios



## GLOSARIO

<b>Actor</b>	En el Lenguaje Unificado de Modelado (UML), un actor "especifica un rol jugado por un usuario o cualquier otro sistema que interactúa con el sujeto".
<b>Algoritmo</b>	Es un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad.
<b>Android</b>	Es un sistema operativo. Fue diseñado principalmente para dispositivos móviles con pantalla táctil, como teléfonos inteligentes; y también para relojes inteligentes, televisores y automóviles.
<b>Aplicación móvil</b>	Es una aplicación informática diseñada para ser ejecutada en teléfonos inteligentes, tabletas y otros dispositivos móviles.
<b>Automatizar</b>	Convertir en automáticos determinados procesos.
<b>Base de datos</b>	Se le llama base de datos a los bancos de información que contienen datos relativos a diversas temáticas y categorizados de distinta manera, pero que comparten entre sí algún tipo de vínculo o

relación que busca ordenarlos y clasificarlos en conjunto.

**Carpeta asfáltica**

Es la capa superior de un pavimento.

**Caso de uso**

Es una descripción de los pasos o las actividades que deberán realizarse para llevar a cabo algún proceso.

**Dato**

Es una representación simbólica (numérica, alfabética, algorítmica, espacial, etc.) de un atributo o variable cuantitativa o cualitativa.

**Diagrama UML**

Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema.

**Diagrama de flujo**

Es la representación gráfica del algoritmo o proceso.

**Hardware**

Se refiere a todas las partes físicas de un sistema informático; sus componentes son: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

**Indicador**

Es una característica específica, observable y medible que puede ser usada para mostrar los cambios y progresos que está haciendo un programa hacia el logro de un resultado específico.

**Internet**

Es un conjunto descentralizado de redes de comunicación interconectadas.

<b>iOS</b>	Es un sistema operativo móvil de la multinacional Apple Inc.
<b>Módulo</b>	Es una porción de un programa de ordenador. De muchas tareas que debe realizar un programa para cumplir con su función u objetivos, un módulo realizará, comúnmente, una de dichas tareas (o varias, en algún caso).
<b>Pavimento</b>	Es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos.
<b>Proceso</b>	Una unidad de actividad que se caracteriza por la ejecución de una secuencia de instrucciones, un estado actual, y un conjunto de recursos del sistema asociados.
<b>Programación en capas</b>	Es una arquitectura cliente-servidor en el que el objetivo primordial es la separación de la lógica de negocios de la lógica de diseño.
<b>Red vial</b>	Todas las carreteras y caminos que tiene un país.
<b>Rutina</b>	Se presenta como un sub algoritmo que forma parte del algoritmo principal, el cual permite resolver una tarea específica.

<b>Sistema</b>	Es el conjunto de partes interrelacionadas: hardware, software y personal informático.
<b>Smartphone</b>	Es un tipo de teléfono móvil construido sobre una plataforma informática móvil, con mayor capacidad de almacenar datos y realizar actividades, semejante a la de una minicomputadora, y con una mayor conectividad que un teléfono móvil convencional.
<b>Software</b>	Comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas.
<b>Tecnología</b>	Es el conjunto de conocimientos técnicos, científicamente ordenados, que permiten diseñar, crear bienes, servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de la humanidad.
<b>Tramo vial</b>	Sección de una red vial.
<b>Usuario</b>	En informática es él que usa un sistema o programa.
<b>Web</b>	Sistema de documentos (o páginas web) interconectados por enlaces de hipertexto, disponibles en Internet.

## RESUMEN

En algunos países la ejecución del presupuesto destinado para el mantenimiento de carreteras y caminos no se opera al 100%, y en otros, como es el caso de Guatemala, este es sobregirado, provocando deudas flotantes como lo cita una publicación del diario Nacional Prensa Libre (Calderón Molina, publicación del 14 de julio de 2013). Sin embargo, este sobregiro, no es proporcional, pues no refleja que el mantenimiento de las redes viales sea el óptimo.

Con el fin de brindar una solución a esta problemática se desarrolla el presente trabajo de graduación bajo la línea de investigación: tecnologías de la información como apoyo a la planificación estratégica nacional.

El prototipo desarrollado de nombre SIDVI (Sistema de Inventarios de daños viales con un módulo para el cálculo del índice de condición de pavimento como indicador de apoyo en la toma de decisiones), permite el levantamiento de inventarios viales, actualizables en tiempo real. Indicando que un inventario vial se define como: el registro de las características técnicas y físicas de la vía, ejecutado mediante una metodología determinada” (Pajuelo, 2009). Haciendo uso de los satélites de posicionamiento global obtiene la localización geográfica de cada elemento de la vía: señalización horizontal o vertical, daños, entre otros. Aprovechando la cámara fotográfica integrada al teléfono inteligente permite la captura de fotografías de los eventos encontrados para su posterior análisis o referencia. Por último, los datos obtenidos son enviados a través de internet a un servidor central para su procesamiento y posterior consulta.

Así mismo, como módulo de apoyo a la toma de decisiones, brindará el índice de condición de pavimento PCI, índice constituido por la World Road Association como: “la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial”, y estandarizado por la Sociedad Americana para pruebas y materiales (TASM, por sus siglas en inglés).

Las tecnologías utilizadas para lograr los objetivos de la herramienta son: sistemas operativos móviles, sistema de posicionamiento global (GPS), internet, bases de datos y servicios web.

SIDVI se diferencia de otras herramientas existentes en el mercado al ser la primer herramienta para el levantamiento de inventarios viales diseñada para teléfonos inteligentes, además de tener integrado un módulo de generación del PCI.

Para el desarrollo de este estudio especial de graduación, se contó con el apoyo de la consultora Gisystems, misma que se especializa en el levantamiento de inventarios viales y la generación del índice de condición de pavimento, permitiendo la observación e investigación de campo en los diferentes tramos carreteros del país que monitorea, incluida la realización de una prueba piloto haciendo uso de la herramienta construida.

El resultado final obtenido al utilizar el prototipo desarrollado fue reducir en un 74% el tiempo necesario para obtener el índice de condición de pavimento a partir del levantamiento de un inventario vial.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

A pesar de la necesidad conocida que el mantenimiento periódico de las redes viales repercute en la economía de un país, aún no se ha conseguido que la distribución de recursos con los que se cuentan se realice de manera adecuada (Burningham y Stankevich, 2005, p.1). En algunos países la ejecución del presupuesto destinado para el mantenimiento no se opera al 100%, y en otros, como es el caso de Guatemala, este es sobregirado, provocando deudas flotantes como lo cita una publicación del diario Nacional Prensa Libre (Calderón Molina, publicación del 14 de julio de 2013). Sin embargo, este sobregiro, no es proporcional, pues, no refleja que el mantenimiento de las redes viales sea el óptimo.

El presupuesto para el mantenimiento de redes viales se puede calcular a través de evaluaciones directas o indirectas. La evaluación directa puede basarse en la salida de un sistema estandarizado de gestión de carreteras, como por ejemplo, el modelo de estándares de conservación y diseño de carreteras HDM (*Highway Design and Maintenance Model*, por sus siglas en inglés), el cual es un modelo que combina la evaluación técnica y económica de proyectos, desarrollado por el banco mundial, esta evaluación necesita una fuerte capacidad técnica para operar como un modelo y modificar de manera apropiada el cálculo de costos de las carreteras a nivel interno de cada país. Por otra parte, el modelo de evaluación indirecta utiliza fórmulas relacionadas con la longitud de la carretera, el tráfico, y otras variables que son útiles para comprobar las necesidades de mantenimiento, este enfoque requiere menos inversión económica que el enfoque anterior, y las estimaciones pueden

basarse en la disposición de los costos de mantenimiento promedio por kilómetro para los diferentes tipos de carretera (pavimentada y no pavimentada).

Dado que el enfoque de evaluación directo requiere una mayor inversión y tecnificación, el enfoque sugerido para países en vías de desarrollo, como es el caso de Guatemala, es el indirecto (Burningham y Stankevich, 2005, pp. 2-5). Este enfoque aplicado de manera ideal es muy cercano a la realidad, permitiendo una correcta planificación del presupuesto nacional destinado a la conservación de la red vial.

Para evaluar el enfoque de presupuestos aplicado en Guatemala, se solicitó una entrevista a la Inga. Jilary Stubbs, consultora externa del área de presupuestos de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial – COVIAL, de la República de Guatemala, el día 6 de agosto de 2013, en la que comenta, que: “el proceso de planificación operativa anual del presupuesto de ejecución de obras, se genera con base a proyecciones respecto al año anterior, no contando, con ningún indicador técnico que les permita tener un acercamiento más apegado a la realidad, como apoyo en la toma de decisiones para la generación del mismo”.

Lo anterior nos conduce a la pregunta central de este estudio: ¿Cuáles son los aspectos técnicos y de diseño necesarios para determinar de manera automatizada el índice de condición de pavimento de los inventarios viales?

Así mismo, se formulan las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Qué técnicas y herramientas ofrecidas por las tecnologías de la información pueden aplicarse para automatizar esta tarea?

- ¿Cuáles son los procesos que pueden sistematizarse para optimizar el asentamiento de inventarios viales?
- ¿Qué datos obtenidos en el levantamiento de inventarios viales podrían transformarse en información útil para el apoyo en la toma de decisiones?



## **OBJETIVOS**

### **General:**

Diseñar un producto tecnológico que integre al levantamiento de inventarios viales un módulo automatizado para la generación del índice de condición del pavimento, utilizando tecnología de punta.

### **Específicos**

1. Automatizar el proceso de obtención del PCI en el levantamiento de inventarios viales, aplicando técnicas y herramientas ofrecidas por las tecnologías de la información.
2. Identificar y describir los procesos que pueden optimizarse en el levantamiento de inventarios viales.
3. Proveer información útil para el apoyo en la toma de decisiones, de los presupuestos



## MARCO METODOLÓGICO

Este estudio se puede definir como un estudio de tipo cuantitativo, de alcance descriptivo y de diseño no experimental, ya que a través de indagación bibliográfica (descrita en las secciones de: antecedentes y marco teórico), se evidencia que existen en el mercado sistemas de levantamiento de inventarios viales, así como también la existencia de herramientas que permiten la generación del índice de condición de pavimento, siendo el objeto de este estudio preparar el diseño ideal de un sistema que integre ambas herramientas tecnológicas, no experimentar su impacto en la sociedad o su campo de aplicación. Así mismo se describen los procesos que pueden optimizarse en el levantamiento de inventarios viales para la obtención del PCI.

A continuación se detallan los pasos que permitieron alcanzar los objetivos anteriormente planteados:

- **Primera etapa.** Se investigó y observó el proceso actual del levantamiento de inventarios viales y el proceso de generación del índice de condición del pavimento en las instalaciones de la Consultora de Ingeniería Civil y de Sistemas Gisystems. Además, se realizó una investigación bibliográfica y en sitios de internet de empresas o entidades especializadas en realizar ambos procesos.

Al final de esta etapa se determinaron los requerimientos de información, las necesidades del proceso actual, definiendo con esto, las técnicas y herramientas necesarias ofrecidas por las TICS que utilizó el sistema propuesto para la automatización del proceso de obtención del PCI.

- **Segunda etapa.** Aplicación de métodos no intrusivos de recopilación de información. Análisis de documentos cuantitativos y cualitativos que se generan a partir del levantamiento de inventarios. Así como también, la observación en el asentamiento de inventarios viales, en los equipos brigadistas de la empresa Gisystems (supervisora encargada de la revisión de trabajos realizados por contratistas de COVIAL para el mantenimiento de los tramos viales).

Al final de esta etapa se lograron identificar los procesos que podían optimizarse en el levantamiento de inventarios viales.

- **Tercera etapa.** Con los datos recopilados anteriormente se diseñó el sistema ideal, utilizando como referencia el documento IEEE 1016-2009, también conocido como "Standard for Information Technology - Systems Design - Software Design Descriptions", un estándar del IEEE que especifica la organización estructura de una descripción de diseño de software. Como parte de la línea de estudio de la maestría, se desarrolló también, el modelo de negocios para el sistema recomendado.
  - Al final de esta etapa se detalla la información que el sistema es capaz de generar, además del diseño final que describe las entradas, procesos y salidas del sistema.
- Técnicas de análisis de información
  - Diseño de diagramas de flujos de datos
  - Diseño de diagramas de procesos
  - Diseño de diagramas de subprocesos
  - Diseño de diagramas UML de Casos de Uso
  - Diseño de diagramas UML de Actividades
  - Investigación y observación

## INTRODUCCIÓN

Las redes viales son de vital importancia para el crecimiento y desarrollo de una nación, especialmente para los países del tercer mundo (Levik, 2002, p. 2), ejemplo de esto, es que en países como en Guatemala, la participación comparativa del 2001 al 2008 del sector transporte, almacenamiento y comunicaciones produjo un incremento promedio del 14.35 por ciento al aporte anual (Banco de Guatemala, 2011). Sin embargo, hay un problema que es común en todo el mundo, y éste es, el mantenimiento y conservación de estas redes viales (Levik, 2002, p. 4), ya que, si bien es cierto, construir nuevas carreteras es relativamente costoso, su vida de uso, se reduce grandemente si estas no son tratadas, provocando el disparo de costes por mantenimiento o reparación de los vehículos utilizados por los transportistas, quienes a su vez trasladan estos costos a sus clientes, afectando finalmente la economía de la nación.

Las tecnologías de la información (TIC por sus siglas) al ser definidas en su forma operativa como: “sistemas y recursos para la elaboración, almacenamiento y difusión digitalizada de información” (Adell, 1998, p. 202), son un medio por el cual la recolección de los elementos y daños de una red vial puede realizarse de una manera eficiente, permitiendo recolectar las cualidades de los elementos que la componen, como por ejemplo: atributos de forma (volumen), ubicación geográfica, captura fotográfica digital, además de poder realizar los registros de los datos en tiempo real a través de la utilización de aplicaciones en dispositivos móviles conectados a internet.

Con el fin de brindar un aporte al mantenimiento de las redes viales, se propone el diseño de un sistema que a través de la utilización de las TIC permita el asentamiento de inventarios de redes viales, dando a conocer con mayor detalle, las cualidades, ubicación y el estado de la infraestructura de las mismas brindando un índice de condición.

Al tener las autoridades la información generada por el sistema, tendrán una herramienta como apoyo a la toma de decisiones acerca de las redes viales que requieran trabajos de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción que son necesarios de forma inmediata.

Para lograr el diseño del sistema ideal, este estudio especial de graduación, se compone de tres etapas:

- **Primera etapa.** Se definen los requerimientos de información, las necesidades de mejora del proceso actual, y, se define el problema, los objetivos y las oportunidades encontradas. Aplicando para ello, investigación bibliográfica, observación de la ejecución de los procesos actuales y entrevistas.
- **Segunda etapa.** Se obtienen y definen los metadatos y el diseño del sistema recomendado, se analizan los documentos generados por los sistemas de inventarios actuales (procesos de entrada y salida), y los datos necesarios para la obtención del índice de condición de pavimento PCI. Además, se hará uso de diagramas de flujo, y diagramas UML: casos de uso, escenarios de uso y diagramas de componentes, con el objeto de conocer el flujo de la información, la interactividad de los usuarios con el sistema y la arquitectura del sistema.

- **Tercer etapa.** Se elaboró un prototipo de la aplicación móvil propuesta con el objetivo de validar los resultados esperados en la mejora de los procesos actuales.

Como agregado técnico en la sección de anexos se desarrolla también el documento *IEEE 1016-2009*, estándar del IEEE que especifica la organización y estructura de un diseño de Software.



## 1. ANTECEDENTES

Como primer punto, en el año 2013 fue presentada a la Escuela de Postgrados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la tesis titulada: “Estudio para la implementación de un proceso de seguimiento y control de proyecto vial, en tiempo real”, por el Ing. Efraín Antonio De León, para optar al título de Maestro en Artes en Ingeniería Vial.

El estudio presentado por el Ing. De León sirvió de apoyo para analizar de fondo el funcionamiento de un proceso de seguimiento y control de proyecto vial en tiempo real. En su estudio sostiene que la implementación del proceso de seguimiento y control de los proyectos viales en tiempo real, presenta ventajas y facilita la toma de decisiones, la programación de obras, ejecución pronta de las correcciones que sean necesarias y detectar cualquier error que se hubiese escapado en el proceso constructivo y ordenar la corrección de inmediato.

Como segundo punto, en el año 2002, el Dr. En Filosofía Eugenio Oñate de la Facultad de Ingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Cataluña, publica el ensayo titulado: “Sistemas de ayuda a la decisión en ingeniería civil. Posibilidades y perspectivas”.

En este ensayo el Dr. Oñate describe que: El reto *en la Ingeniería Civil* a abordar en los próximos años será transformar la ingente cantidad de información que proporciona Internet a través de ordenadores, teléfonos móviles de tercera (y pronto cuarta) generación, etc. en conocimiento a partir del cual poder tomar decisiones para resolver un problema concreto. Para ello, será indispensable apoyarse en herramientas que procesen la información, de

manera que se pueda predecir escenarios que simulen el comportamiento previsible de la realidad, de acuerdo con hipótesis preestablecidas, como una etapa esencial para poder tomar las decisiones más adecuadas en cada caso.

Como tercer punto, en el año 2003, nuevamente el Dr. En Filosofía Eugenio Oñate de la Facultad de Ingeniería de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Cataluña, publica el ensayo titulado: “Posibilidades de las nuevas tecnologías de información y comunicaciones en el sector de la construcción”.

En este ensayo el Dr. Oñate describe las posibilidades que existen de aplicar las tecnologías de la información y comunicación al sector de la construcción, dicta también que con la ayuda de los instrumentos de control se puede disponer de información en red sobre el estado de las deformaciones, esfuerzos, temperatura, humedad, etc. de una obra y tomar las decisiones correspondientes. Este artículo aporta el conocimiento de cómo aplicar las TICS al levantamiento de inventarios viales y generación del PCI.

Como cuarto punto, en el año 2013, fue presentada al departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Londres, la tesis titulada: “*Adapting Mobile Systems Using Logical Mobility Primitives*”, por el alumno Stefanos Zachariadis, para optar al grado de Dr. En Filosofía.

La disertación doctoral de Zachariadis fue de ayuda para el diseño de la arquitectura de software de este estudio, porque describe cómo los sistemas móviles deben de ser adaptados a acomodar los cambios en su entorno, a través de una capa denominada *middleware* que es la que asiste a una aplicación para que interactúe o se comunique con otras aplicaciones, o paquetes de programas, redes, hardware y/o sistemas operativos. El prototipo

construido en este estudio integra la comunicación entre dos sistemas diferentes uno que es para dispositivos móviles y el otro diseñado para servidores.

### **1.1. Estado actual de los Inventarios Viales en Guatemala**

En una entrevista realizada al Ing. Isaías España, experto en ingeniería vial, de la Consultora Gisystems, la cual presta servicios de supervisión y consultoría a los trabajos de mantenimiento de la Unidad Ejecutora de Conservación Vial – COVIAL, el día 8 de agosto de 2013, comenta que: “Como parte de su contratación, Gisystems realiza el monitoreo periódico del estado de los diferentes tramos carreteros del país, realizando inventarios viales sobre cada uno de ellos, por lo que esto evidencia que sí se cuenta con los datos para construir indicadores técnicos tales como el Índice de Condición de Pavimento – PCI; sin embargo, aún falta una herramienta tecnológica que facilite la generación de éste, para que pueda ser utilizado en la planificación anual del presupuesto, destinado al mantenimiento de la red vial del país”.

### **1.2. Herramientas que brindan el levantamiento de inventarios viales**

En esta sección se dan a conocer herramientas, productos o servicios que existen en el mercado y que ofrecen el levantamiento de inventarios viales. Se dan a conocer sus ventajas y desventajas respecto al prototipo propuesto en este estudio.

### 1.2.1. Geovial

Figura 1. Interfaz del software Geovial



Fuente: INGERTOOLS. Sitio Web Corporativo.

[http://www.ingertools.com/colector\\_inventario\\_vial.html](http://www.ingertools.com/colector_inventario_vial.html). Consulta: Agosto de 2014.

Como puede observarse en la figura 1, esta herramienta permite registrar la información geo-referenciada del estado de la carretera, para tomar datos y gestionarlos desde oficina sin necesidad de retornar al centro de trabajo. Todo el sistema consta de componentes de hardware y software montados en un vehículo.

La desventaja de esta herramienta es que solo entrega al usuario final los datos recolectados en el levantamiento del inventario vial, como hechos en bruto, necesitará el usuario final que utilizar herramientas de terceros para poder procesar esos datos y al final obtener información útil.

### 1.2.2. Oriman Survey

Empresa hindú que realiza el levantamiento de inventarios viales, utilizando herramientas como GPS y odómetros, los registros los realiza sobre

formularios en papel, a diferencia del ejemplo anterior si entrega informes de apoyo a la toma de decisiones al usuario final.

Figura 2. **Equipo de trabajo utilizado por ORIMAN SURVEY**



Fuente: ORIMAN SURVEY. Sitio Web Corporativo.

<http://www.orimansurvey.com/Road%20Surveys.html>. Consulta: Agosto de 2014.

El equipo utilizado por Oriman Survey recolecta los datos en sitio, para luego trasladarlos a oficina y procesar para generar información útil.

Su desventaja radica en el tiempo demorado en el traslado de los datos recolectados a oficina.

### **1.2.3. Gisystems**

Otra empresa dedicada a prestar servicios de inventarios viales es Gisystems. Empresa guatemalteca, que con su herramienta nombrada Inventario Vial, recolecta datos de los tramos viales.

Figura 3. **Equipo de trabajo utilizado por la herramienta Gisystems**



Fuente: GISYSTEMS. Sitio Web Corporativo. <http://gisystemsint.com/servicios/monitoreo-de-proyectos-y-programas/> . Consulta: Agosto de 2014.

Como puede observarse en la figura 3, para realizar el levantamiento del inventario vial esta herramienta hace uso de una cámara de video, un GPS, un teclado programable y una computadora portátil.

Su proceso consiste en rescatar la información a través del teclado programable que conjuntamente con una cámara filmica, un GPS y una laptop permiten visualizar la información al final del día de trabajo en campo, podrían las autoridades ordenar los trabajos de mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción que son necesarios de forma inmediata.

Sin embargo, esta herramienta posee la desventaja de no tener integrado a su módulo de inventarios viales la generación de indicadores que apoyen a la toma de decisiones.

#### 1.2.4. Insegvial

Al igual que los anteriores la herramienta Insegvial para el levantamiento de inventarios viales ofrece: posicionamiento global, video, animación interactiva, características físicas, base de datos y mapas de línea.

Figura 4. Pantallas generadas por Insegvial



Fuente: INSEGVIAL. Sitio Web Corporativo. <http://insegvial.com/servicios/geovial-2/>. Consulta: Agosto de 2014.

La figura 4 muestra la interfaz atractiva que posee esta herramienta, sin embargo posee la desventaja de no contar con un sistema en línea que le permita poder enviar los datos en tiempo real.

#### 1.2.5. Imajbox

Esta herramienta no está diseñada específicamente para la realización de inventarios viales, sino que es generalizada para el inventario de activos georeferenciados y permite la generación de capas de datos GIS estructurados, categorizados y cuantificados de la infraestructura.

Entre sus implementaciones se encuentra:

- Señalización – vertical, horizontal, señales luminosas
- Equipamiento – Semáforos, alcantarillas, desagües, vallados, barreras de seguridad
- Construcciones – Edificios, obras, puentes, túneles
- Vegetación – arbolado, zonas de vegetación, setos

La desventaja que posee esta herramienta es que al no estar diseñada específicamente para el levantamiento de inventarios viales es necesario realizar un post proceso de los datos que recolecta.

Las herramientas mencionadas anteriormente, al igual que otras existentes en el mercado, tienen módulos eficientes para el levantamiento de inventarios viales, sin embargo, carecen de un módulo que ofrezca indicadores, que apoyen a las instituciones en la distribución eficiente de los recursos, quedándose los datos recolectados solamente como una gran pila de hechos en bruto, sin poder obtener de ellos el beneficio de la inversión. Es en esta laguna, donde este estudio especial de graduación pretende apoyar.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de graduación se desarrolló en la línea de investigación: apoyo a la planificación estratégica nacional.

En la secciones de la definición del problema y la de antecedentes se describió la problemática a la que se enfrentan los países que aplican la metodología de evaluación indirecta para el cálculo de la distribución de recursos para el mantenimiento de tramos viales, al apoyarse únicamente en proyecciones basadas en la distribución de recursos de años anteriores.

Más aún, el problema se agudiza, al destinar recursos en el levantamiento de inventarios viales sin poder extraer de ellos indicadores técnicos, tales como el índice de condición de pavimento, por no contar con una herramienta que les permita de forma fácil la obtención de este.

Las herramientas que se encuentran actualmente en el mercado solucionan parcialmente esta problemática, ya que como quedó demostrado en la sección de antecedentes, algunas de ellas permiten realizar los levantamientos de inventarios viales de manera desconectada, es decir, que para entregar los registros obtenidos deben de regresar a oficinas.

Como segunda opción se encuentran las herramientas que si realizan el trabajo en línea, es decir, que no deben de regresar a oficinas para hacer entrega de la información recolectada, sin embargo, solo entregan al usuario final los hechos en bruto, sin ningún indicador o informe que facilite su interpretación.

En tercera y última opción, están las herramientas que sí incluyen la generación de informes sobre los datos recolectados, sin embargo, los procesos de recolección y generación de información los realizan por separado, lo que ocasiona un mayor tiempo de espera en la obtención de información para la toma de decisiones.

Por lo que la solución dada a esta problemática consistió en: brindar una herramienta tecnológica actualizable en tiempo real, que integrara al levantamiento de inventarios viales la generación del índice de condición de pavimento.

Los beneficiados son principalmente todos los usuarios de las redes viales, reflejándose paralelamente en la economía nacional.

## 3. ALCANCES

### 3.1. Resultados

Para lograr los objetivos específicos planteados al inicio de este estudio se desarrolló el prototipo de SIDVI, realizando lo siguiente:

- Para la automatización del proceso que genera el PCI (índice de condición del pavimento), se creó un API (*Application programming interface*, por sus siglas en inglés) para que recibiera en el servidor los datos recolectados por la aplicación móvil en formato JSON (*JavaScript Object Notation*, por sus siglas en inglés), los almacenara, procesara y generará el PCI de manera automática.
- Se identificó que los procesos que involucraban el traslado de los datos recolectados en campo al servidor ubicado en otra localidad debían optimizarse, para ello se diseñó una arquitectura que permitiera la transferencia de datos entre el servidor y otros dispositivos a través de internet haciendo uso del protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*, por sus siglas en inglés).
- Se integró el esquema de base de datos del PCI al esquema de inventarios viales, con ello el tomador de decisiones puede acceder de manera inmediata a la información y al índice obtenido.

### 3.2. Alcances técnicos

El desarrollo del prototipo de SIDVI involucró la aplicación de diversas tecnologías para alcanzar los objetivos de esta investigación, entre estas se detallan las siguientes:

- En la automatización del PCI se hace uso del GPS (*Global Positioning Systems*, por sus siglas en inglés) que trae integrado el teléfono inteligente en el que se instala la aplicación móvil, ya que de otra manera los datos de ubicación y distancia de cada daño hubieran tenido que enviarse al servidor desde otro dispositivo.
- Se programó y agrego un servicio de Android en la aplicación móvil. En otras palabras, se tuvo que programar una tarea para que estuviera ejecutándose en segundo plano. Esta tarea solicita a cada minuto a los satélites de posicionamiento global las coordenadas de ubicación del dispositivo, las válida y luego las almacena. Las coordenadas registradas son utilizadas después para la generación del PCI.
- En la aplicación móvil se programó la cámara fotográfica del teléfono inteligente para que permitiera la captura de imágenes de los elementos y daños encontrados durante el levantamiento del inventario vial.
- Para la sincronización de la aplicación móvil con el servidor se desarrolló una arquitectura de 5 capas: UIL (Capa de Interfaz de usuario), WSL (Capa de Servicios Web), MML (Capa de administración de Métodos), BLL (Capa de reglas) y DAL (Capa de Acceso a Datos). Esta arquitectura permite que una computadora de escritorio o portátil, un teléfono inteligente o cualquier otro dispositivo que estuviera autorizado y pudiera

enviar/recibir datos con formato JSON a través del protocolo HTTP pudiera comunicarse al servidor desde cualquier ubicación haciendo uso de Internet.

- Se diseñó en el gestor de base de datos SQLite la base de datos relacional que almacenaría los registros recolectados durante la realización del inventario a través de la aplicación móvil.
- Para proveer el PCI al tomador de decisiones, se diseñó en el gestor de base de datos Microsoft SQL la base de datos que almacenaría los registros de los daños del inventario y el PCI generado. Esta base de datos se implementó en el servidor.

### **3.3. Alcances investigativos**

Para lograr el desarrollo del prototipo de SIDVI, y con ello alcanzar los objetivos planteados en este estudio se abarcaron varios temas de investigación, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- La investigación no realiza un análisis sobre el algoritmo del PCI, lo que pretende es lograr la generación automática de este índice inmediatamente después de realizado un inventario vial haciendo uso de herramientas tecnológicas.
- La investigación incluye una arquitectura propuesta de 5 capas como solución a la comunicación entre el dispositivo que recoge los daños en campo y el servidor de base de datos, sin embargo no es objeto de este estudio realizar una descripción sobre arquitecturas de software.

- La investigación incluye el esquema de tablas necesario para la generación y almacenamiento del PCI, para su posterior consulta. No significando necesariamente que este índice cubra todos los aspectos requeridos por un tomador de decisiones.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. Arquitectura de sistemas**

#### **4.1.1. Arquitectura de sistemas móviles**

Un sistema operativo móvil al igual que un sistema operativo destinado para una computadora tradicional de escritorio es “un sistema operativo que controla un dispositivo móvil al igual que las computadoras utilizan Windows o Linux entre otros” (Chacón y Ricra, 2013, p. 17).

En la misma tesis Chacón y Ricra describen que la arquitectura de un sistema operativo móvil debe de tener las siguientes características básicas:

- Kernel, es el que proporciona el acceso a distintos elementos del hardware.
- Middleware, es el conjunto de módulos que ofrece servicios claves como el motor de mensajería y comunicaciones.
- Entorno de ejecución de aplicaciones, consiste en un gestor de aplicaciones y un conjunto de interfaces programables.
- Interfaz de usuario, es el diseño de la presentación visual de una aplicación.

Para el estudio son relevantes las características del kernel y el middleware porque a través de ellas accederemos a la cámara y el GPS del dispositivo móvil.

#### **4.1.2. Arquitectura de sistemas distribuidos**

En el libro *“Distributed Systems Architecture: a middleware approach”* (Puder, Römer y Pilhoffer, 2006, pp. 7-11) se define un sistema distribuido como: “Un sistema de procesamiento de información que contiene un número de equipos independientes que cooperan uno con el otro a través de una red de comunicaciones con el fin de alcanzar un objetivo específico”.

Esta definición es aplicada a la arquitectura de SIDVI ya que esta debe de dar soporte a dispositivos móviles independientes entre sí, ubicados en diferentes lugares con sus bases de datos locales, pero enlazados a través de internet y alimentando la base de datos del servidor para generar el índice de condición del pavimento de cada uno de los tramos que han sido inventariados.

En el mismo libro Puder, Römer y Pilhoffer, para la arquitectura de un sistema distribuido proponen el concepto de “Middleware” definiéndolo como “una aplicación que expone servicios generales que dan soporte a la ejecución de aplicaciones distribuidas”. (Puder, Römer y Pilhoffer, 2006, p. 21)

Entre las tareas que un middleware debe de cumplir se encuentran: soporte a conceptos del paradigma orientado a objetos, interacciones operacionales, interacciones remotas, transparencia en la distribución e independencia tecnológica.

Para SIDVI se programó un servicio web (más adelante se tratará a detalle su definición), que expone sus métodos para actuar como middleware entre el servidor y los dispositivos distribuidos que alimentaran su base de datos.

#### **4.1.3. Arquitectura de sistemas en tiempo real**

En la cuarta edición del libro *Real-Time Systems Design And Analysis* (Laplante, 2004, p. 4) se define a un sistema en tiempo real como: “Un sistema informático que deberá satisfacer las restricciones de tiempo de respuesta como errores o fallo total del sistema”.

Para el prototipo de SIDVI esta definición es importante, porque debe programarse la aplicación móvil de manera tal que pueda responder a errores en tiempo de ejecución durante el envío/recepción de datos.

Por otro lado, en el ensayo titulado: “*Software Architectures for real-time Systems*”, se describe que toda arquitectura de sistemas en tiempo real debe de responder a las siguientes propiedades funcionales: rendimiento, fiabilidad, seguridad, disponibilidad y restricciones temporales. (Anders Wall, 2000, p. 26).

El prototipo para cumplir con lo indicado anteriormente debe poseer rendimiento en la manipulación de datos o eventos. Debe también ser fiable en sus entradas, procesos y salidas. Debe asegurar la recepción, envío y procesamiento de los datos. Y debe de tener disponibilidad, claro siempre y cuando sea posible, ya que existe la restricción en la obtención de las coordenadas con los satélites de GPS así como en los datos para la conexión a internet, incluyéndolos por lo tanto como requerimientos funcionales del sistema. Por último, debe de estar preparado para restricciones temporales, entrarían acá las consideraciones mencionadas anteriormente, y se incluirían

como restricción temporal el tiempo de vida de la carga de la batería del dispositivo móvil, entre otros.

## **4.2. Sistemas de posicionamiento global**

El GPS es el sistema actual de navegación por radio que permite en tierra, mar y aire determinar el tiempo, velocidad y ubicación exacta, en cualquier momento y en cualquier lugar en el mundo (GPS.gov, 2012).

Para la construcción de la aplicación móvil de SIDVI es primordial que el teléfono inteligente tenga integrado un GPS, ya que la información que provee es útil para realizar los cálculos en la generación del PCI.

## **4.3. Teléfonos inteligentes**

En el libro *“SMARTPHONES Research Report”* se define a un Smartphone (teléfono inteligente, en inglés) como: “Un dispositivo móvil que permite a los usuarios almacenar y recuperar información, gestionar correos electrónicos, administrar contactos e información de calendario, navegar por internet, enviar y recibir mensajes de texto, tener acceso a aplicaciones de juego, y archivos multimedia... El software desarrollado para estos teléfonos puede convertirlos rápidamente en herramientas productivas. Por ejemplo un teléfono inteligente podría permitirle al usuario conectarse a través de un GPS, redes inalámbricas (Wi-Fi), dispositivos periféricos como un lector de código de barras o una impresora”. (Ilyas y Ahson, 2006, p. 2).

La aplicación móvil de SIDVI programada para teléfonos inteligentes con sistema operativo Android (en la siguiente sección se detalla este sistema operativo), aprovecha las características que definen a un Smartphone,

haciendo uso del GPS, la cámara fotográfica y la antena inalámbrica, además de la capacidad de procesamiento de datos que proveen estos dispositivos.

#### **4.4. Sistema Operativo Android**

En el libro “Programación en Android” definen a Android como un sistema operativo, inicialmente diseñado para teléfonos móviles como los sistemas operativos iOS (Apple), Symbian (Nokia) y Blackberry OS. (Robledo y Robledo, 2012, p. 3).

En la actualidad este sistema operativo se instala no sólo en móviles, sino también en dispositivos, como tabletas, GPS, televisiones, discos duros multimedia, mini ordenadores, entre otros.

Según el sitio oficial de Android en el 2013 se activaron 900 millones de dispositivos móviles con Android (Google Inc. 2013).

##### **4.4.1. Tareas en segundo plano en Android**

Las tareas en segundo plano en Android son tareas que se ejecutan para realizar operaciones de larga duración y que no necesitan de la intervención del usuario.

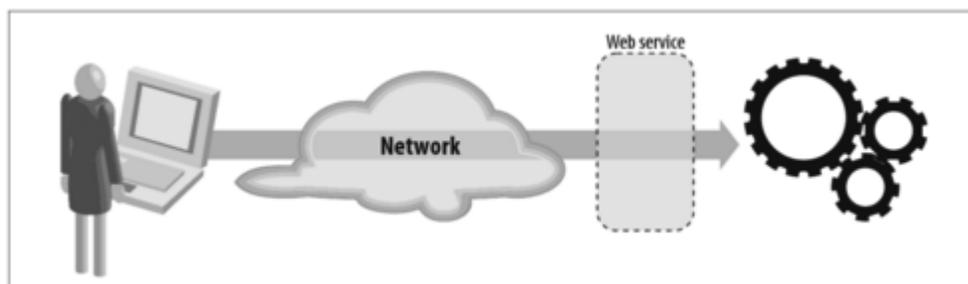
Las etapas de una tarea en segundo plano en Android son: crear la instancia de la tarea, iniciar la tarea, ejecutar la tarea en segundo plano, reportar su progreso, repetir hasta que se ejecute la instrucción de salida.

En la aplicación móvil de SIDVI se inicia una tarea en segundo plano para que obtenga y almacene desde el GPS la ubicación del dispositivo a cada

segundo. La instrucción de salida ocurre cuando se finaliza el levantamiento del inventario.

#### 4.5. Servicios Web SOAP

Figura 5. **Interacción de un Servicio Web (Web Service, en inglés) usando estándares tecnológicos de internet.**



Fuente: SNELL, TIDWELL Y KULCHENKO. *Programming Web Services with SOAP*. p. 6.

Como puede apreciarse en la figura 5 tomada del libro *“Programming Web Services With SOAP”* (Snell, Tidwell y Kulchenko, 2002), un servicio web es una interfaz accesible a través de la red, construida usando estándares tecnológicos establecidos en internet.

En otras palabras, un servicio web es un componente de software que expone sus funcionalidades para que un dispositivo servidor y varios dispositivos clientes de diferentes tecnologías puedan interactuar, actuando como una capa intermedia entre ambos.

Para que el servidor pueda entender a un dispositivo y viceversa aunque estos sean de diferente tecnología necesitan *“escribirse”* en un mismo idioma, es aquí donde es necesario definir qué es SOAP: *“Es un paquete estandarizado*

de protocolos para aplicaciones que necesitan compartir mensajes” (Snell, Tidwell y Kulchenko, 2002, p. 1).

Los paquetes de protocolos que utiliza SOAP pueden ser diversos, inicialmente el paquete más utilizado por SOAP era el lenguaje de marcas extensible XML (*Xtensible Markup Language*, por sus siglas en inglés), sin embargo con el paso del tiempo se desarrollaron alternativas a este protocolo, y en la actualidad es mayormente utilizado el formato de texto ligero JSON (*JavaScript Object Notation*, por sus siglas en inglés), ya que es un formato menos pesado y más versátil que XML. La definición y descripción del estándar de JSON se encuentra registrado bajo ECMA-404 y puede ser descargado de internet desde este enlace: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>.

En SIDVI los servicios web son fundamentales ya que permiten que varios dispositivos móviles de diversas tecnologías puedan enviar o recibir datos del servidor. Así mismo, el servicio web diseñado utiliza el formato de texto ligero JSON para servir como capa intermedia entre el servidor y los teléfonos inteligentes utilizados en campo.

#### **4.6. Sistemas de apoyo a la toma de decisiones**

“Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones estratégicas DSS (*Decision Support Systems*) son sistemas que permiten obtener la información y aplicar las herramientas de tratamiento adecuadas para tomar decisiones” (Pablos y otros. Informática y comunicaciones en la empresa. p. 284).

Estos sistemas pretenden crear un filtro de una cantidad relativamente alta de datos para la alta gerencia, y con ello ofrecerle solo la información útil para la toma de decisiones.

Por otro lado, en el libro *Decision Support Systems, Concepts and Resources for Managers* de Daniel J. Power (2002), se describen las características que debe poseer un DSS:

- Son diseñados específicamente para facilitar los procesos de toma de decisiones.
- Deben dar soporte automático a la toma de decisiones.
- Deben de ser capaces de responder rápidamente a los cambios y necesidades de los tomadores de decisión.

#### **4.7. Inventarios Viales**

Uno de los módulos principales de este estudio es la aplicación de herramientas tecnológicas como apoyo al levantamiento de inventarios viales con el fin de automatizar este proceso.

Los inventarios viales se emplean para conocer las condiciones de operatividad y funcionalidad de una vía a partir de una descripción detallada de sus condiciones físicas, geométricas y de diseño; la forma más usual de elaborar este inventario es a través de una inspección visual, que consiste en hacer un reconocimiento a lo largo del sector o tramo objeto de estudio, para cuantificar y calificar sus condiciones (Fonseca y Quintero, 2007, p. 66).

Según el documento “Guía para el inventario de elementos para la conservación vial” de la secretaría de obras públicas de transporte y vivienda del gobierno de la República de Honduras, en el recorrido del inventario los elementos físicos de la vía que deben ser registrados son:

- **Superficie que conforma la vía:** clasificación del tipo de terreno que atraviesa el tramo, ondulado, plano, montañoso o escarpado a lo largo del tramo.
- **Hombros:** corresponden a la superficie de vía entre la calzada y las cunetas.
- **Derecho de vía:** lo constituye la zona de terreno que se encuentra a ambos lados de la carretera.
- **Cunetas y canales:** se refiere a las zanjas laterales paralelas al eje de la vía cuya función principal es servir de encauzamiento para evacuar el agua de la lluvia proveniente de la calzada.
- **Contra cunetas:** son zanjas excavadas en el terreno natural, con el fin de interceptar y encauzar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas.
- **Alcantarillas:** son obras de drenaje transversales a la vía que permiten y facilitan el paso del agua proveniente de cauces, canales o cunetas.
- **Puentes y cajas puente:** los puentes son estructuras viales que se utilizan para salvar obstáculos como ríos y quebradas, son construidos generalmente en concreto u hormigón, acero, mixtos o en madera.
- **Muros:** son estructuras de retención que se utilizan para estabilizar taludes de cortes o terraplenes.

- **Señalización vertical:** son elementos muy importantes para la seguridad vial.
- **Otros elementos:** barreras o sistemas de contención vehicular.

Es importante recalcar que no todos los elementos deben incluirse en el levantamiento del inventario, sino que su selección varía en base al objetivo o necesidad de la institución que lo solicita.

En este mismo documento (Guía para el inventario de elementos para la conservación vial) se indica que debe de identificarse la vía con su nomenclatura o código oficial, el tramo correspondiente con sus estacionamientos (kilómetros) de inicio y fin, dirección definida por aldea o caserío, municipio y el departamento donde está ubicado, comunidades que se encuentran dentro del tramo, si es posible el aforo vehicular, es decir la información del tráfico medio diario y los antecedentes en cuanto a intervenciones de mantenimiento de rutina en el último año. Además, se indicará la fecha del levantamiento del inventario y el nombre de quien lo elaboró.

El inventario de la calzada se hará midiendo su ancho en metros, y clasificando su superficie de acuerdo con el material de rodadura en la siguiente forma:

- Concreto asfáltico
- Tratamiento superficial

- Concreto hidráulico
- Empedrado
- Adoquines
- Material selecto
- Tierra
- Otros materiales

Si existieran daños en la calzada, tales como baches, grietas, hundimientos y otros deterioros similares, se indicará su ubicación y su extensión en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

Como puede notarse son varios los elementos que deben de registrarse en el levantamiento de un inventario esto sumado a la información que proveen sus atributos, fotografías tomadas y coordenadas capturadas.

#### **4.8. Índice de condición de Pavimento**

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su siglas en inglés) es constituido por World Road Association en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad, estandarizado por la Sociedad Americana Para Pruebas y Materiales (TASM, por sus siglas en inglés). Sus valores pueden variar desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

En la tabla I se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento:

Tabla I. **Rangos de calificación del PCI**

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy malo
10 – 0	Fallado

Fuente: VASQUEZ, Luis. Índice de Condición de Pavimento, para concreto y asfalto. p. 2.

Como se puede apreciar en la tabla I, el PCI es un índice numérico que varía desde cero, para un pavimento fallado o en mal estado hasta cien para un pavimento en perfecto estado.

## 5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

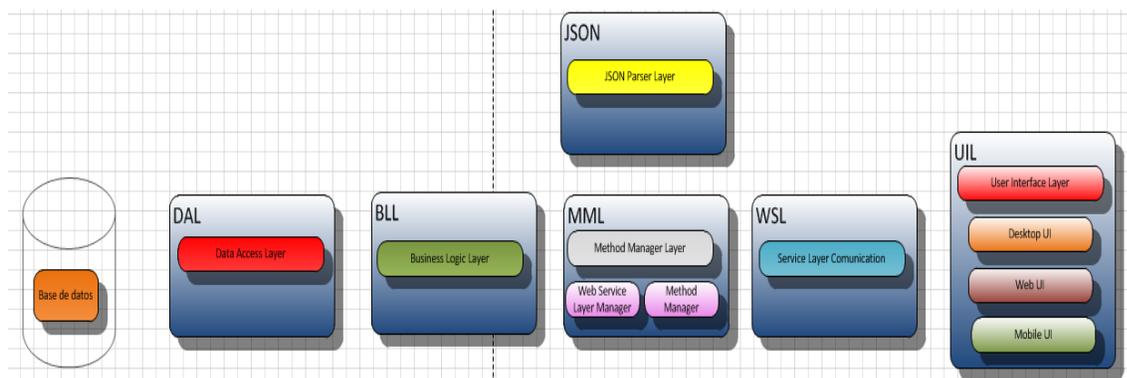
### 5.1. Diseño y análisis de la Arquitectura de Software

La arquitectura de software obtenida para el correcto funcionamiento de SIDVI y que permite la generación automática del PCI, es una arquitectura compuesta por 5 capas. A continuación se describe el funcionamiento de cada una de ellas.

- **User Interface Layer (UIL).** Capa de interfaz de usuario, es la capa que interactúa directamente con el usuario, puede ser una página web o una pantalla de la aplicación en un dispositivo móvil.
- **Web Service Layer (WSL).** Capa de servicios web, esta es la capa que permite la conexión para envío y recepción de datos entre dispositivos de diferentes tecnologías y el servidor.
- **Method Manager Layer (MML).** Capa de administración de métodos, es la capa de la arquitectura, que se encarga de la gestión de los métodos que se exponen en los servicios web.
- **Business Logic Layer (BLL).** Capa de lógica de negocios, es la capa encargada de validar las reglas del negocio, es decir la encargada de verificar que tanto los datos enviados como recibidos sean correctos.

- **Data Access Object Layer (DAL).** Capa de acceso a datos, es la capa encargada de realizar las consultas y transacciones desde la aplicación a la base de datos.

Figura 6. **Ilustración del funcionamiento obtenido con SIDVI**



Fuente: elaboración propia.

Como se ilustra en la figura 6, el flujo de los datos inicia desde la capa UI que es la capa que representa los dispositivos de captura de datos, que en el caso de SIDVI serían los teléfonos inteligentes.

La aplicación móvil primero serializa los datos en formato de texto JSON para luego enviarlos a la capa de servicios web.

La capa de servicios web recibe los datos y se apoya en una librería para el manejo de cadenas JSON para de-serializar los datos y puedan ser procesados.

La capa MML valida los datos de-serializados. Luego la capa BLL aplica los algoritmos y reglas de negocio para la generación de información, aquí se incluye el proceso que permite la generación automática del PCI.

Por último, la capa DAL almacena los datos procesados y generados en la base de datos de SIDVI, para su posterior consulta.

## **5.2. Diseño, análisis y desarrollo de la aplicación móvil**

El segundo objetivo específico de este estudio era identificar los procesos en levantamiento de inventarios viales que podían ser optimizados.

En la fase de observación de esta investigación se identificó que los procesos que debían ser optimizados eran los que implicaban el traslado manual de los datos capturados en campo al lugar donde se encontraba el servidor central.

La optimización de estos procesos se logró a través de la aplicación móvil porque esta permite el envío en línea de los datos capturados, evitando el traslado y migración de los datos.

El resultado obtenido utilizando la aplicación móvil para la captura y envío de los datos fue reducir en un 74.5% el tiempo necesario para la realización del levantamiento del inventario vial hasta la generación del PCI.

### **5.2.1. Tecnologías implementadas en la aplicación móvil**

Para lograr el objetivo deseado al construir la aplicación móvil fue necesaria la implementación de varias herramientas tecnológicas.

La figura 7 ilustra las herramientas tecnológicas que son utilizadas para el funcionamiento de la aplicación móvil

Figura 7. **Tecnologías implementadas en la aplicación móvil**



Fuente: elaboración propia.

Primero el usuario ingresa los datos de un elemento o daño encontrado en la vía, a través de una interfaz gráfica de preguntas y respuestas; luego toma una o varias fotografías y captura su ubicación geográfica. Mientras esto ocurre se ejecuta una tarea en segundo plano que a cada segundo va capturando, a través del GPS la ubicación del teléfono inteligente formando con esto la línea de recorrido.

Al finalizar el recorrido, se almacenan los datos en la base de datos local, utilizando el motor de base de datos SQLITE.

Figura 8. **Datos serializados en notación JSON por la aplicación móvil**

```
String parse
{
  "credentials": "usuario:*****",
  "params": {
    "coordenadaInicial": {
      "latitud": 13.896751175634563,
      "altitud": 7,
      "fecha_captura": "Nov 10, 2015 9:38:04 AM",
      "longitud": -90.48850754275918
    },
    "indicadorSeleccionado": false,
    "codigo_configuracion": 47,
    "questionSuperSetIndicador": [1],
    "indicadorCompleta": false,
    "questionSetGeometria": {...},
    "trackGeometria": [35],
    "evento": {...},
    "proyecto": {
      "id_proyecto": 201,
      "id_cliente": 0
    },
    "geometriaCompleta": false
  },
  "imsi": "704020116648008",
  "imei": "864875021735949",
  "function": "saveInventory"
}
```

Fuente: elaboración propia, a través de [json.parser.online.fr](http://json.parser.online.fr).

Para el envío de los datos al servidor central serializa los datos estructurados en notación de texto ligero JSON como se ilustra en la figura 8. Por último, envía los datos serializados al servidor a través de internet.

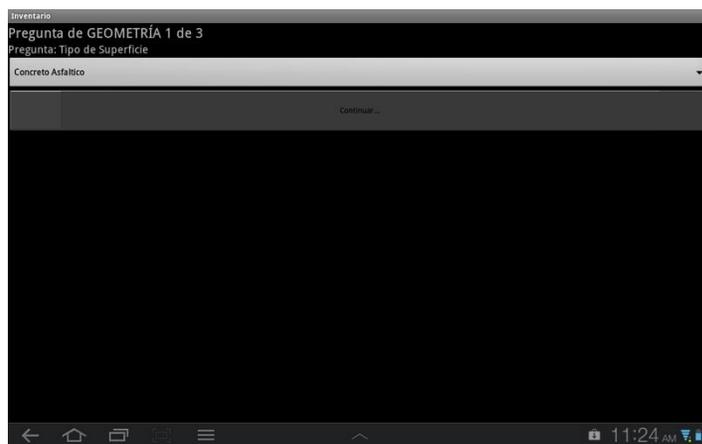
### 5.2.2. Interfaz de usuario de la aplicación móvil

Los atributos que componen los elementos y daños encontrados en la vía son ingresados a la aplicación a través de una serie de preguntas y respuestas.

La interfaz diseñada para la aplicación móvil consiste en una pantalla dinámica que interpreta el tipo de dato de entrada esperado para construir los controles de usuario que deben mostrarse.

Existen tres tipos de datos de entrada que la aplicación interpreta. El primer tipo de dato es el dato de tipo texto, y es utilizado para las preguntas abiertas que requieren caracteres alfanuméricos. El segundo tipo de dato es el numérico y al igual que el anterior es utilizado para preguntas abiertas pero que requieren caracteres numéricos.

Figura 9. **Interfaz mostrada al usuario en la aplicación móvil para las preguntas de tipo lista**



Fuente: elaboración propia.

Por último, se tiene el tipo de dato para las respuestas cerradas o previamente definidas que son mostradas al usuario como una lista, tal y como se muestra en la figura 9.

### 5.3. Sitio Web para el análisis del PCI

Con el objeto de brindar información útil para la toma de decisiones se desarrolló el sitio web de SIDVI.

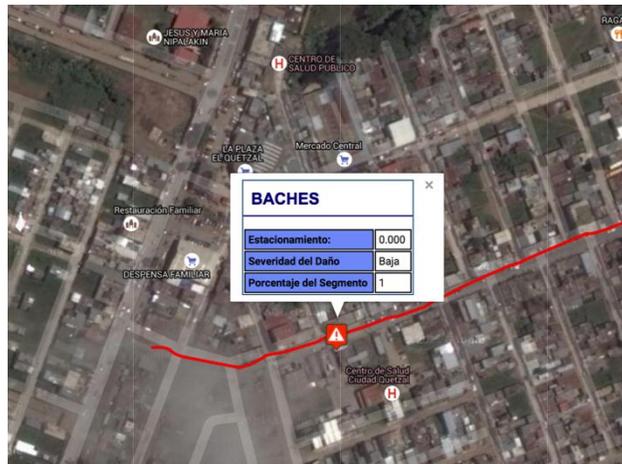
Figura 10. **Elementos y daños de un inventario vial, mostrados en el sitio web de SIDVI**



Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la figura 10, el sitio web permite al tomador de decisiones ver la ubicación de cada uno de los elementos y daños encontrados en la vía durante el levantamiento del inventario vial.

Figura 11. Elementos y daños de un inventario vial, mostrados en el sitio web de SIDVI



Fuente: elaboración propia.

Al mismo tiempo el tomador de decisiones puede ver las características de un daño específico, como por ejemplo: el estacionamiento, la severidad del daño y el porcentaje de segmento pertenecientes a un bache, tal y como se muestra en la figura 11.

Figura 12. Elementos y daños de un inventario vial, mostrados en el sitio web de SIDVI

Indice de Condición Del TramoRD-GUA-05-02

Proyecto: B-001  
 Tramo: CIUDAD QUETZAL - SAN RAYMUNDO  
 Fecha de Visita: 15/06/2015 12:00:00 a.m.  
 PCI Visita: 38.856435 - Malo

Cálculo de PCI Por Sección						
No. de Sección	Km. Inicial	Km. Final	No. de Carriles	Ancho De Carril	Tipo de Superficie	PCI
1	0.00000	0.05000	2	3.20000	Pavimento	54.00000
2	0.05000	0.10000	2	3.20000	Pavimento	1.00000
3	0.10000	0.15000	2	3.20000	Pavimento	1.00000
4	0.15000	0.20000	2	3.20000	Pavimento	53.00000

Mostrando 1 - 6 de 202

Detalle de Daños por sección						
No. de Sección	Daño	Km. de inicio D...	Km. fin de Daño	Porcentaje Daño	Severidad	Valor Deducido
1	Piel de Lagarto	0.01631	0.19308	10.00000	2	43.59304
1	Parches	0.04412	0.14212	10.00000	2	10.16792

Mostrando 1 - 2 de 2

Fuente: elaboración propia.

Por último, el sitio web permite al tomador de decisiones analizar el estado del tramo evaluado a través de un formulario que muestra el PCI obtenido y los valores deducidos generados por secciones de 50 metros, como puede verse en la figura 12.

### **5.3.1. Tecnología utilizada en la implementación del Sitio Web**

Para la visualización de los datos geo-referenciados se utilizó el API de los mapas en línea de Google más conocidos como Google Maps, los cuales permiten gratuitamente interactuar con sus mapas y la incrustación personalizada de objetos sobre ellos.

Otro de los retos al mostrar los datos recolectados en el inventario vial a través de una página web era la enorme cantidad de información que estos generan por lo que fue necesario aquí el uso de la técnica AJAX (Asynchronous JavaScript and XML, por sus siglas en inglés). Esta es una técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas, la bondad de esta técnica es que permite mantener una comunicación asíncrona entre las consultas realizadas desde el navegador web del usuario al servidor.

## **5.4. Determinación de los requerimientos de información**

### **5.4.1. Aplicación de métodos intrusivos de análisis de información: entrevistas a expertos sobre el levantamiento de inventarios viales y generación del PCI**

Para obtener los requerimientos de información de los potenciales usuarios del sistema se hizo uso del método interactivo de la entrevista,

buscando dar respuesta a las preguntas dadas en el planteamiento del problema: ¿Qué técnicas y herramientas ofrecidas por las tecnologías de la información pueden aplicarse para automatizar la obtención del PCI?, ¿Cuáles son los procesos que pueden sistematizarse para optimizar el asentamiento de inventarios viales?, y por último, ¿Qué datos obtenidos en el levantamiento de inventarios viales podrían transformarse en información útil para el apoyo en la toma de decisiones?.

El perfil de los entrevistados debería de ser el de expertos en el levantamiento de inventarios viales y en la obtención del índice del condición del pavimento, por lo que se buscó a los profesionales que cumplieran con este perfil, logrando entrevistar al maestro en artes en Ingeniería Vial Ing. Efraín De León, quien trabajó su tesis de maestría en el levantamiento de inventarios viales; por otro lado, se entrevistó también al Ing. Isaías España, consultor de la empresa Gisystems y además experto en la generación y obtención del PCI.

Las estructuras de las entrevistas fueron de embudo, iniciando con preguntas generales y terminando con preguntas específicas, logrando obtener un resumen que daría respuesta a las preguntas planteadas en este estudio.

Para la pregunta: ¿Qué técnicas y herramientas ofrecidas por las tecnologías de la información pueden aplicarse para automatizar la obtención del PCI?, ambos coinciden que para la recolección de datos en campo deben de aprovecharse herramientas inalámbricas como los dispositivos móviles conectados a un servidor central a través de internet, ya que esto agilizaría la recepción de los datos para su análisis.

Para la pregunta: ¿Cuáles son los procesos que pueden sistematizarse para optimizar el asentamiento de inventarios viales?, el Ing. España comenta

que definitivamente debe existir un módulo que integre a la base de datos de los elementos recabados en carretera la generación automática del índice de condición del pavimento.

Para la tercera y última pregunta: ¿Qué datos obtenidos en el levantamiento de inventarios viales podrían transformarse en información útil para el apoyo en la toma de decisiones?, coinciden los dos expertos que para la toma correcta de decisiones sobre qué hacer para la conservación o el mantenimiento del tramo de carretera evaluado, es necesario un índice como el del PCI que les permita saber el estado real del tramo, y con ello saber qué hacer y qué inversión implicaría ejecutar la solución.

#### **5.4.2. Aplicación de métodos no intrusivos de análisis de información**

Con la finalidad de obtener métricas del tiempo que tardan las brigadas para la recolección de los datos y también del tiempo que tardan los procesos actuales para generar el PCI, se utilizaron los métodos no intrusivos de la observación y la investigación, para ello se contó con el apoyo de la consultora Gisystems, especializada en el levantamiento de inventarios viales y en la generación del PCI.

Se acompañó al personal que conforman los equipos de brigada de campo, para obtener una idea clara de cómo se realiza en la práctica el proceso del levantamiento de inventarios viales, pudiendo observar que las brigadas utilizan equipo sin conectividad a internet para la recopilación de los datos en campo, y que tardan aproximadamente 2.5 horas en recabar la información de los elementos de la vía, en un tramo con una longitud aproximada de 25 km.

Así mismo, se observó que las brigadas tienen recorridos de 4 días, para la recolección de los datos, retornando a las oficinas centrales el quinto día, día en el cual envían la información recolectada, por lo que se deduce que la información recolectada de los tramos visitados el primer día, tarda alrededor de 3 días para que inicie a ser procesada y revisada.

Para la generación del PCI, se pudo observar que se realiza un proceso manual de transformación y migración de los datos recolectados en campo a otra base de datos con el esquema y las tablas necesarias para la generación del índice de condición, este proceso tiene una duración de alrededor de 4 horas.

También se hizo una investigación de la certeza del índice generado, a través del análisis de los formularios de captura de datos, del algoritmo actualmente utilizado.

Para el análisis de los formularios de captura de datos, se realizó una prueba manual de llenado de los datos siguiendo las instrucciones de ingreso y distribución, en este caso, se constató que la distribución de los campos no es la idónea, ya que a los equipos brigadistas demoran demasiado tiempo al llenarlo, por lo que estos deben de organizarse de una mejor manera, apoyándose también en la búsqueda de una herramienta tecnológica que permita tener una mayor movilidad al brigadista.

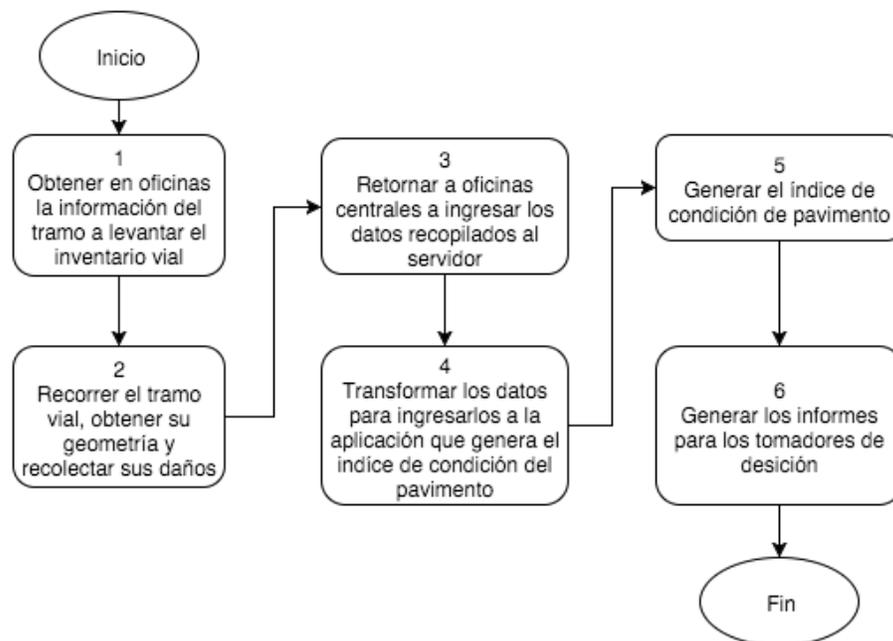
En la verificación del algoritmo utilizado actualmente para la generación del PCI se buscaron errores en cifras y sumas totales; oportunidades para mejorar el diseño del formulario de registro y se buscaron puntos donde la computadora pueda simplificar el trabajo como cálculos y otras manipulaciones

de datos, en este punto sobresale la necesidad de integrar al sistema el módulo de generación del PCI para reducir el tiempo en su obtención.

### 5.4.3. Diseño de diagramas de los flujos de datos como una representación gráfica del movimiento de los datos desde su captura hasta la generación del Índice de Condición del Pavimento.

Basados en la información obtenida en las entrevistas y observaciones realizadas se diseñó el diagrama de flujo general de los procesos utilizados actualmente para la generación del PCI.

Figura 13. Diagrama de flujo sobre el proceso actual para el levantamiento de inventarios viales



Fuente: elaboración propia, a través de draw.io.

Como se puede ver en la figura 13, el diagrama de flujo sobre el proceso actual para el levantamiento de inventarios viales, primero ocurre que los

brigadistas obtienen en oficina la información del tramo a evaluar, para luego dirigirse al inicio del tramo e iniciar con la recopilación de la geometría y los daños encontrados en todo el recorrido, al finalizar regresan a oficinas centrales e ingresan la información recabada a la base de datos de inventarios alojada en el servidor, luego mediante el uso de una herramienta de terceros transforman los datos recabados para ingresarlos a la aplicación que generará el índice de condición del pavimento, y por último, se obtienen los informes que serán utilizados por los tomadores de decisión.

A manera de obtener el tiempo que ocupa cada proceso se hizo la evaluación en el levantamiento de inventario de un tramo de 10 kilómetros de longitud. Se encuentra ubicado a 30 km de la oficina central de Gisystems, mostrando los resultados en la tabla II.

**Tabla II. Duración estimada utilizando las herramientas y procedimientos actuales para un tramo de 10 km de longitud**

<b>No.</b>	<b>Proceso</b>	<b>Duración (Horas)</b>
1	Obtener la información del tramo vial a evaluar y llegar al inicio del tramo	0.5*
2	Recorrer toda la longitud del tramo y capturar su geometría y daños existentes	0.5
3	Retornar a oficinas centrales, tomando en cuenta que se encuentran en el extremo final del tramo inventariado	1*
4	Ingresar la información capturada a la base de datos de inventarios	4
5	Transformar los datos para su ingreso a la aplicación de generación del PCI, utilizando una aplicación de terceros	4
6	Generar el índice de condición de pavimentos	0.5
7	Generar los informes para los tomadores de decisión	4
<b>TOTAL</b>		<b>14.5</b>

\*Duración estimada, ya que depende de las condiciones de tráfico del día.

Fuente: elaboración propia.

Como lo muestra la tabla II, el tiempo necesario para el levantamiento de inventario y generación del PCI de un tramo de aproximadamente 10 kilómetros de longitud, y que se encuentra ubicado a 30 km de la oficina central, es de aproximadamente 14.5 horas, tomado días laborales de 7 horas ininterrumpidas de trabajo, generar los informes que serán utilizados por los tomadores de decisión tomaría un poco más de dos días.

Realizando un análisis para encontrar los procesos en los que pueden existir mejoras al aplicar tecnologías de la información y basados en las premisas obtenidas en la aplicación de la sección de los métodos no intrusivos se identificaron las posibles mejoras al procedimiento actual, mostrados en la tabla III.

**Tabla III. Porcentaje esperado de reducción de tiempo en la ejecución del proceso aplicando las mejoras propuestas**

No.	Proceso	Mejora propuesta	Tiempo y Porcentaje esperado aplicando la mejora propuesta	
1	Obtener la información del tramo vial a evaluar y llegar al inicio del tramo	Mediante el uso de la aplicación en el dispositivo móvil este paso ya no será necesario, ya que el brigadista podrá sincronizar su dispositivo móvil con los datos del servidor desde cualquier punto donde se encuentre.	0	100%
2	Recorrer toda la longitud del tramo y capturar su geometría y daños existentes	En la aplicación móvil los daños aparecerán distribuidos en forma, de lista, y las preguntas se realizarán de forma secuencial, lo que facilitara el ingreso de información	0.4	20%
3	Retornar a oficinas centrales, tomando en	Igual que el proceso No. 1, al estar la aplicación móvil conectada al servidor a	0	100%

	cuenta que se encuentran en el extremo final del tramo inventariado	través de internet este paso ya no será necesaria la realización de este proceso		
4	Ingresar la información capturada a la base de datos de inventarios	La aplicación móvil estará sincronizada con el servidor y utilizará la base de datos de inventario, por lo que únicamente será necesario el envío de los datos desde la aplicación.	0	100%
5	Transformar los datos para su ingreso a la aplicación de generación del PCI, utilizando una aplicación de terceros	Se integrará a la base de datos de inventarios el esquema de tablas que soporte el almacenamiento de los datos que serán útiles para la generación del PCI	0	100%
6	Generar el índice de condición de pavimentos	Aunque este proceso será integrado al sistema de inventarios viales, siempre será necesario ejecutarlo	0.5	0%
7	Generar los informes para los tomadores de decisión	En las entrevistas realizadas a los expertos en la obtención del PCI, se logró identificar las salidas generales que todo tomador de decisiones utiliza regularmente, por lo que el sistema propuesto tendrá informes personalizados con estas salidas, quedando únicamente la generación manual de los informes requeridos a la medida.	2.8	30%
TOTAL			3.7 horas	

Fuente: elaboración propia.

Como puede notarse en la tabla III aplicando el sistema propuesto, se esperaría reducir a 10.8 horas el levantamiento de inventario y generación del PCI en un tramo de 10 kilómetros de longitud, y que se encuentra ubicado a 30

km de la oficina central, esto indica una reducción aproximada del 74.5% en el levantamiento de inventario y generación del PCI bajo estos parámetros.

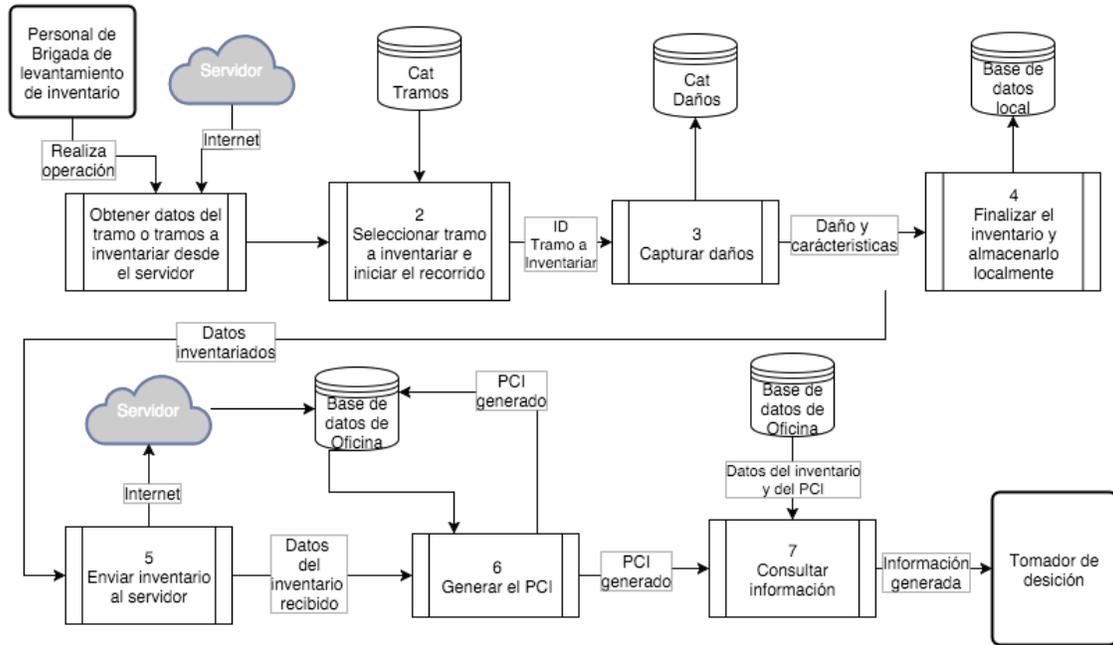
## **5.5. 5.5 Análisis de las necesidades del sistema**

### **5.5.1. Descripción de las especificaciones de los procesos físicos y lógicos para el asentamiento de inventarios viales.**

En esta sección se describen las especificaciones de los procesos físicos y lógicos propuestos de nivel primario.

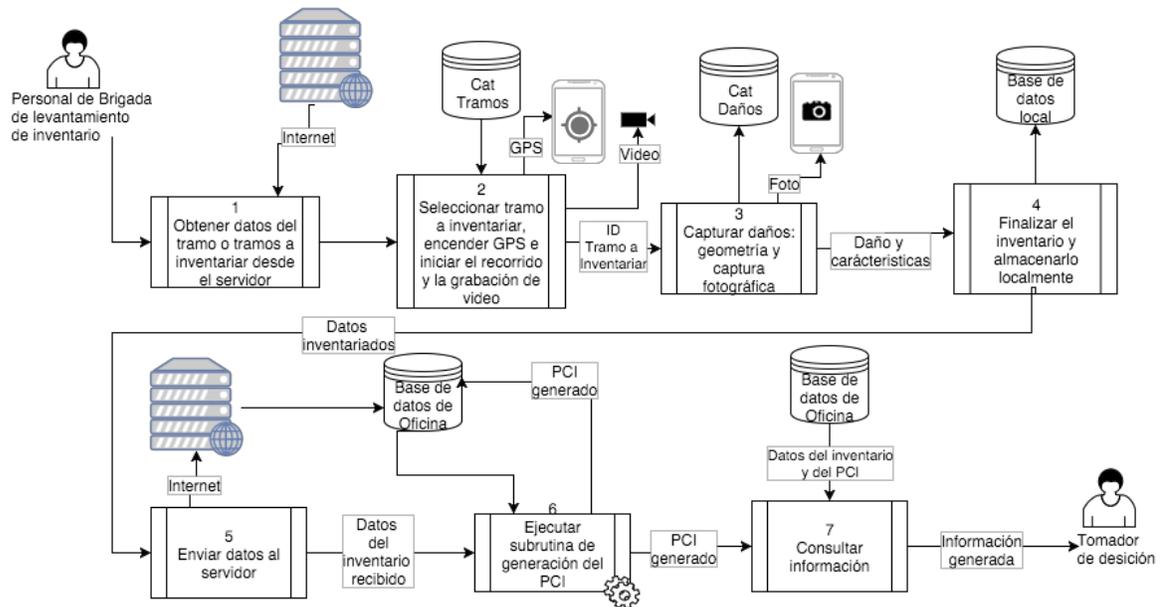
Partiendo de los datos obtenidos en la sección de la determinación de requerimientos de información se muestran los diagramas en las figuras 14 y 15, que describen los flujos de los procesos lógicos y físicos respectivamente, del sistema propuesto.

Figura 14. **Diagrama de flujo de procesos lógicos del sistema propuesto**



Fuente: elaboración propia, a través de draw.io

Figura 15. **Diagrama de flujo sobre el procesos físicos del sistema propuesto**



Fuente: elaboración propia, a través de draw.io

El proceso No. 1, indica que el personal de brigada debe obtener en la aplicación instalada en su teléfono inteligente los datos del o los tramos a evaluar del servidor a través de internet, una vez sincronizados estos datos no es necesario volver a realizar esta operación, aun cuando no se tenga conectividad a internet, ya que la aplicación integrará una base de datos local, donde se almacenarán temporalmente los datos descargados desde el servidor.

El proceso No. 2, describe la selección del tramo a evaluar e inicio del recorrido, en este proceso inicia la captura de coordenadas a través del GPS integrado en el teléfono inteligente, esto en segundo plano, generando con esto la línea del recorrido realizado por la brigada, debe también iniciar la grabación de video.

El proceso No. 3, ocurre iniciado el recorrido del tramo a evaluar. Durante este recorrido se irán capturando los daños encontrados, el operador de brigada deberá de registrar su geometría, y haciendo uso de la cámara fotográfica integrada en el teléfono inteligente tomará fotografías del mismo, luego de esto, los datos y la fotografía se almacenarán en la base de datos local.

El proceso No. 4, indica que se ha llegado al final del recorrido de evaluación, o se ha cubierto la longitud del tramo examinado, en este proceso el operador de brigada finaliza el inventario deteniendo la captura de coordenadas geográficas.

El proceso No. 5, indica que el operador de brigada deberá de enviar los datos recolectados durante el inventario al servidor ubicado en la oficina, esto a través de internet, al mismo tiempo el servidor recibirá estos datos y los almacenará en la base de datos de inventarios.

El proceso No. 6, describe la ejecución automática de la rutina que generará el Índice de Condición de Pavimento.

El proceso No. 7, que es el último proceso en el diseño, es el proceso que permite a los tomadores de decisión hacer uso de los datos recabados y del índice generado por el sistema.

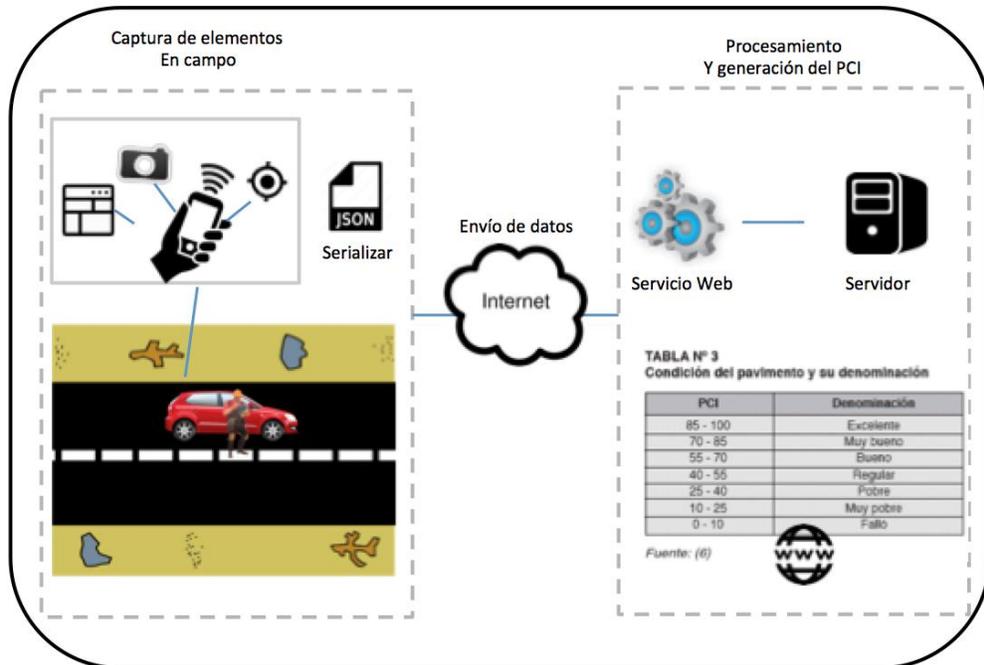
## **5.6. Funcionamiento final obtenido con SIDVI**

El funcionamiento del producto tecnológico obtenido con SIDVI se ilustra en la figura 16, como puede verse el personal de brigada se moviliza en un vehículo utilizando la aplicación móvil. En el transcurso del recorrido registra datos, fotografías y ubicación geográfica (GPS) de los elementos y daños encontrados en la vía.

Terminado el registro desde la aplicación móvil se envían los datos al servidor central a través de internet, para que sean almacenados y procesados automáticamente a través de los métodos expuestos por un servicio web.

Por último se genera el índice de condición del pavimento mostrándose en una página web para brindarlo al tomador de decisiones.

Figura 16. Ilustración del funcionamiento obtenido con SIDVI



Fuente: elaboración propia.

### 5.6.1. Prueba piloto realizada con SIDVI

Para verificar los resultados esperados con la implementación de SIDVI se realizó una prueba piloto con la herramienta obtenida.

Para su desarrollo se capacitó y acompañó al personal de brigada de Gisystems, realizando el inventario en el mismo tramo donde se hizo el levantamiento usando el sistema actual de Gisystems.

Solo como recordatorio, este tramo tiene una longitud de 10 km y está ubicado a 30 km de la oficina donde se encuentra el servidor central. Levantar el inventario y obtener el PCI en este tramo utilizando el sistema actual tomó alrededor de 14.5 horas.

### 5.6.2. Resultados obtenidos en la prueba piloto

Luego de mostrar los resultados tecnológicos que se obtiene en este estudio, se pasa a mostrar en la tabla IV, los resultados obtenidos en la prueba piloto utilizando SIDVI.

Tabla IV. Resultados obtenidos en la prueba piloto

No.	Proceso	Tiempo obtenido usando SIDVI (horas)	Porcentaje de reducción usando SIDVI
1	Obtener la información del tramo vial a evaluar y llegar al inicio del tramo	0	100%
2	Recorrer toda la longitud del tramo y capturar su geometría y daños existentes	0.5	0%
3	Retornar a oficinas centrales, tomando en cuenta que se encuentran en el extremo final del tramo inventariado	0	100%
4	Ingresar la información capturada a la base de datos de inventarios	0	100%
5	Transformar los datos para su ingreso a la aplicación de generación del PCI, utilizando una aplicación de terceros	0	100%
6	Generar el índice de condición de pavimentos	0.5	0%
7	Generar los informes para los tomadores de decisión	2.8	30%
	Total	3.8	

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla IV, utilizando SIDVI, se obtuvo aproximadamente un 74.5% de rendimiento respecto al sistema actual utilizado por la empresa Gisystems. Además, los resultados demuestran que los procesos que SIDVI logra mejorar aplicando herramientas tecnológicas son los que implican traslado de información y generación de informes para los tomadores de decisión.

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Primero, el reto en la automatización del índice de condición del pavimento era crear una arquitectura que permitiera la integración entre los datos obtenidos en el levantamiento del inventario vial y la ejecución automática del algoritmo que permite la generación del PCI.

Esto se logró a través de la arquitectura de software implementada, porque con los servicios web expuestos en la capa WSL recibe en el servidor central los datos recolectados por la aplicación móvil y al mismo tiempo en su capa de lógica de negocios (BLL) permite ejecutar el algoritmo que genera el PCI.

Segundo, los procesos identificados fueron los siguientes:

- A. Obtener la información del tramo vial a evaluar y llegar al inicio del tramo
- B. Recorrer toda la longitud del tramo y capturar su geometría y daños existentes
- C. Retornar a oficinas centrales, tomando en cuenta que se encuentran en el extremo final del tramo inventariado
- D. Ingresar la información capturada en campo a la base de datos de inventarios

- E. Transformar los datos para su ingreso a la aplicación de generación del PCI, utilizando una aplicación de terceros
  
- F. Generar el índice de condición de pavimentos
  
- G. Generar los informes para los tomadores de decisión

De estos procesos, se identificó que los procesos: A, C, D, E y G, debían ser optimizados. A continuación se discute la manera en que se logró esa optimización.

Procesos A y C, estos procesos implicaban el traslado de información desde el lugar donde se realizaba el inventario hasta el lugar donde se encontraba ubicado el servidor central. La optimización lograda en estos procesos fue a través de la aplicación móvil, ya que esta permite: capturar los datos, almacenarlos localmente y luego con una conexión a internet enviarlos al servidor central, evitando con esto el tiempo perdido en el traslado.

Proceso D, este proceso implicaba el ingreso de los datos recolectados desde los dispositivos en campo a la base de datos del servidor central. La optimización de estos procesos se logró a través de la aplicación móvil y la arquitectura de software, esto debido a que la aplicación móvil envía los datos en formato de texto liviano JSON a la arquitectura, esta los procesa y por último los almacena automáticamente en la base de datos del servidor central, no requiriendo para ello intervención alguna.

Proceso E, este proceso implicaba tener que hacer uso de una aplicación de terceros para generar el PCI, además de tener que adecuar o transformar los datos para que esa aplicación los pudiera utilizar como registros entrada. La

optimización de este proceso se logró nuevamente a través de la arquitectura de software, ya que está en su capa de lógica de negocios (BLL) permite la ejecución automática del algoritmo que genera el PCI, evitando con esto tener que recurrir a otras herramientas.

Por último, en la mejora construida para la optimización del proceso G, se discutirá un poco más, ya que con esta mejora se logró también alcanzar el objetivo específico de proveer al tomador de decisiones un módulo de apoyo a la toma de decisiones.

Apoyados en las entrevistas realizadas en este estudio y en la evaluación de las herramientas analizadas, se identificó que, obtener información de los inventarios viales y analizar el PCI generado implicaba al tomador de decisiones tener que recurrir a informes impresos o a herramientas de escritorio, lo que lo limitaba en movilidad y lo conducía a tener que analizar grandes legajos de papel.

Para optimizar este proceso se diseñó y construyó el sitio web como un módulo de apoyo a la toma de decisiones, con esto el tomador de decisiones puede apoyarse en herramientas digitales y puede acceder desde cualquier lugar donde se encuentre a la información que necesita.

### **6.1. Comparación de los resultados obtenidos con el prototipo de SIDVI con las herramientas actuales**

Al no encontrarse estudios previos sobre la implementación de herramientas tecnológicas para el levantamiento de inventarios viales con un módulo de generación del PCI, se discutirán los resultados obtenidos en este

estudio comparándolos con las funcionalidades ofrecidas por las herramientas mostradas en la sección de antecedentes.

Primero, ninguna de las herramientas analizadas genera de manera automática el índice de condición del pavimento inmediatamente después de haber realizado el inventario vial. En el caso de SIDVI la arquitectura diseñada permitió integrar en la capa de lógica de negocios (BLL) los procesos de levantamiento de inventarios viales y el de generación del PCI.

Segundo, las herramientas OrimanSurvey, Insegvial y Gisystems no envían los datos en línea, por lo que se encontró la oportunidad de optimizar el proceso del traslado de los datos recolectados. Para dar solución a la mejora evidente en este proceso se construyó la aplicación móvil de SIDVI, que permite capturar, almacenar localmente los datos en el teléfono inteligente donde se encuentra instalada y enviarlos al servidor central a través de internet. Logrando con esto una optimización del 74.5% respecto al tiempo.

Por otro lado, las herramientas Geovial e Imajbox si realizan el envío de los datos al servidor central en tiempo real, sin embargo ninguna de estas 2 herramientas ofrece un módulo como apoyo a la toma de decisiones, SIDVI si lo realiza, esto nos conduce a nuestro tercer y último punto de comparación.

De las 5 herramientas analizadas, 2 de ellas ofrecen información para la toma de decisiones.

Una de ellas es OrimanSurvey, que entrega al tomador de decisiones informes impresos sobre los datos recolectados. La desventaja de estos informes es que implica al tomador de decisiones realizar sus cálculos y análisis sobre hojas impresas. Tomando en consideración la cantidad de los datos que

genera un inventario vial. Analizar los datos sobre estos informes implica un gran trabajo al tomador de decisiones.

La otra empresa es Insegvial que tiene una herramienta de escritorio bastante atractiva y funcional, donde permite visualizar los datos sobre mapas y también posee animación interactiva sobre las características de los daños. La desventaja encontrada en esta herramienta es que para poder usarla es necesario acceder desde la computadora donde este instalada y por ende estén almacenados los datos que se van analizar.

Entonces, ¿cuál es el aporte de SIDVI para los tomadores de decisión?, nuevamente se hizo uso de la característica principal de internet, la movilidad. En otras palabras se construyó un sitio web que permitiera al tomador de decisiones poder analizar los datos capturados y la información generada, incluyendo el índice de condición del pavimento, desde el lugar donde se encontrará.

## **6.2. Impacto social**

Según el informe oficial titulado: “Red Vial de Guatemala Año 2013”, publicado en el portal web de la Unidad de Caminos del Ministerio de Infraestructura y Vivienda del Gobierno de Guatemala, la extensión de la red vial pavimentada y no pavimentada del país hasta el año 2013 era de 16,293.80 kilómetros. Esta red vial es usada a diario por los ciudadanos y visitantes del país para la realización de diferentes actividades, entre las que encontramos: actividades sociales, laborales, comerciales, de turismo, entre otras.

El estado de esta red vial afecta directamente en la movilización e interacción de la sociedad, no solo guatemalteca sino también de los visitantes extranjeros que las utilizan.

Debido a lo anterior SIDVI tendrá un impacto positivo para la sociedad, al ofrecer a los responsables del mantenimiento preventivo y correctivo de la red vial una herramienta tecnológica que les permita obtener el estado actual de las carreteras en un menor tiempo. Además de ofrecer el índice de condición del pavimento para que puedan tomar acciones más efectivas que redunden en mejores caminos para el día a día de la sociedad.

### **6.3. Impacto económico**

Una de las consecuencias económicas que provocaría la implementación de SIDVI esta relacionada con el presupuesto destinado al mantenimiento de los tramos carreteros del país, ya que a través del levantamiento de inventarios viales y la generación del PCI el tomador de decisiones podrá cuantificar e identificar la ubicación de los daños y en base a esto realizar una mejor distribución de los recursos.

Por otro lado, en el año 2009 fue presentada a la Escuela de Postgrados de la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la tesis titulada “La Infraestructura vial y el transporte, caso ruta del Atlántico”, por el Ing. Jorge Mario Coronado Brolo, para optar al título de Maestro en Artes en Ingeniería Vial.

En este estudio el Ing. Coronado defiende la importancia de contar con una buena infraestructura vial para las relaciones comerciales, dentro y fuera

del país. Indicando también que el comercio es vital para el progreso humano, beneficiando a productores y consumidores de distintos países.

Partiendo de la tesis del Ing. Coronado, SIDVI puede ser categorizada como una herramienta que permitirá mejorar las relaciones comerciales entre naciones generando un impacto económico positivo para el país, ya que dará a los encargados de las redes viales información en línea para la toma de decisiones en el mantenimiento y conservación de los tramos carreteros.

#### **6.4. Impacto tecnológico**

Como se mostro en la sección de antecedentes actualmente ninguna herramienta tecnológica integra la generación automática del índice de condición del pavimento al proceso de levantamiento de inventarios viales, por lo que SIDVI se constituye como una herramienta tecnológica que integra estos dos procesos.

Para obtener el prototipo de SIDVI fueron utilizadas varias tecnologías: Teléfonos inteligentes, GPS, Servicios Web, Internet, entre otros. El uso de estas tecnologías SIDVI disminuye el tiempo que lleva realizar el proceso actual de levantamiento de inventarios viales.

Por último, la implementación de SIDIVI elimina la necesidad de utilizar dos sistemas informáticos para el levantamiento de inventarios viales y la generación del PCI. Abriendo este estudio a futuras investigaciones que gasten sus esfuerzos en sustituir o mejorar a través de nuevas tecnologías la herramienta propuesta en este estudio.

## **6.5. SIDVI como herramienta tecnológica de apoyo en la Ingeniería Civil**

Para el desarrollo de SIDVI fue necesario el aporte de conocimientos no solo del área de ciencias de la computación o tecnología, sino también del área de la ingeniería vial, por lo que se puede decir que este estudio es un estudio interdisciplinario porque utiliza herramientas tecnológicas para optimizar e integrar los procesos de inventarios viales y la generación del índice de condición del pavimentos, propios de la ingeniería vial.

En la sección de antecedentes, se evidenció que las limitantes que afrontaba un ingeniero vial antes del desarrollo de SIDVI, podían ser las siguientes:

- Levantamiento de inventarios viales manualmente, teniendo al final que procesar grandes legajos de papel.
- Levantamiento de inventarios viales fuera de línea (sin conectividad a internet), demorando en el procesamiento de los datos para la cuantificación de los daños.
- Maniobrar varios dispositivos para la realización de un inventario vial, p. ej.: cámara fotográfica y GPS.
- Utilizar herramientas separadas para el proceso de levantamiento de inventarios viales y otra para la generación del PCI.
- Pobre visualización de los datos recolectados.
- Demora en la generación del PCI, entre otros.

SIDVI como herramienta de apoyo en la Ingeniería Vial, trata de resolver las limitantes anteriormente descritas al proveer al ingeniero vial una solución tecnológica que entre otras funcionalidades ofrece las siguientes:

- Una arquitectura de software que integra los esquemas de inventarios viales y el de PCI, permitiendo con esto la generación automática de este índice.
- Una aplicación móvil Android que permite la realización de inventarios viales en línea, e integra en un mismo dispositivo (teléfono inteligente) las herramientas de: base de datos, cámara fotográfica, GPS y conectividad a internet para el envío de los datos recolectados al servidor.
- Un sitio web interactivo que permite al ingeniero vial poder visualizar la información y ubicación de los daños encontrados a través de un mapa de Google, además de las fotografías de los mismos y del PCI generado a partir del inventario vial realizado.

## **6.6. Plan de negocios**

La estrategia para la creación, distribución y captura de valor de SIDVI, es la siguiente:

- Los clientes serán las empresas que ofrecen servicios relacionados al mantenimiento o conservación de redes viales.

- SIDVI se diferenciará de sus competidores al ofrecer la implementación de inventarios de daños viales en tiempo real además de incluir como valor agregado el índice de condición de pavimento.
- La utilidad creada para los clientes será tener información en tiempo real y cuantificar la cantidad de daños en los tramos viales.
- La captación de clientes se creará ofreciendo versiones demos de SIDVI, incluyendo todos los recursos necesarios, menos los usuarios, para el levantamiento de un inventario de daños de un tramo vial.
- La fidelidad de los clientes se creará al ofrecer las correcciones a fallas o actualizaciones de los módulos adquiridos por el cliente de forma gratuita, además de ofrecer los nuevos módulos a un precio más bajo que a los clientes que aún no han adquirido SIDVI.
- SIDVI se mostrará al mercado como un Sistema Integrado que a través de la utilización de herramientas tecnológicas de punta, permite el levantamiento de inventarios viales en tiempo real, proveyendo además el índice de condición de pavimento por cada inventario, y que puede ser obtenido a un bajo precio.
- Finalmente, los beneficios percibidos por SIDVI además de obtener las ganancias de un producto intangible (alto costo de producción y bajo en distribución), centrará la mayor parte de la captación de sus ingresos en programas de formación de usuarios, creando con ello un modelo de cebo y anzuelo y generando un efecto *lock in*.

## CONCLUSIONES

1. La arquitectura de software propuesta en este estudio de Graduación permitirá materializar el primer objetivo específico de la investigación, ya que automatiza el proceso de obtención del PCI en el levantamiento de inventarios viales, al interconectar la capa de usuario (UIL), que en el modelo propuesto fue la aplicación móvil Android a la base de datos que contiene los esquemas de inventarios viales y el índice de condición de pavimento, a través de la capa de servicios (WSL), la capa de métodos (MML), la capa de lógica de negocios (BLL) y la capa de acceso a datos (DAL).
  
2. En la fase de observación de esta investigación, se identificó que los procesos que debían ser optimizados eran los que implicaban el traslado manual de los datos capturados en campo al lugar donde se encontraba el servidor central, siendo estos:
  - Captura de la información del tramo vial a evaluar y llegar al inicio del tramo.
  
  - Retornar a oficinas centrales, tomando en cuenta que se encuentran en el extremo final del tramo inventariado.
  
  - Ingresar la información capturada a la base de datos de inventarios.

- Transformar los datos para su ingreso a la aplicación de generación del PCI, utilizando una aplicación de terceros.

Para lograr la optimización de estos procesos, se diseñó y desarrolló un prototipo de Aplicación Móvil para teléfonos inteligentes Android que permitiera la realización de inventarios viales, y al mismo tiempo se podrá convivir con los requerimientos técnicos solicitados por la arquitectura de software propuesta en este mismo estudio, utilizando para su programación y funcionamiento las tecnologías de SQLite, GPS, cámara fotográfica, librerías JSON e internet. Esto permitió alcanzar el segundo objetivo específico de la investigación, que era: identificar los procesos que podían optimizarse en la realización de un inventario vial.

3. Los tomadores de decisión pueden apoyarse en indicadores como el índice de condición del pavimento y la cuantificación de los daños recolectados en un inventario vial, para la elaboración de presupuestos de mantenimiento y reparación vial. Como herramienta de apoyo en la toma de estas decisiones se diseñó, desarrolló e implementó un sitio web interactivo, el cual permite la visualización geo-referenciada de cada daño encontrado; además de proveer sus características físicas, tales como: altura, profundidad, severidad, entre otras. Por último, y como característica más importante: permite la visualización automática del PCI obtenido a partir de la cuantificación de los daños registrados del tramo.
4. SIDVI en su conjunto forma un producto tecnológico que integra al levantamiento de inventarios viales un módulo automatizado para la generación del índice de condición del pavimento utilizando tecnología de punta.

## RECOMENDACIONES

1. La arquitectura de software diseñada en este estudio especial de graduación es bastante dinámica. Si bien, en este estudio los dispositivos que se conectan a ella fueron teléfonos inteligentes, esta es capaz de interactuar con aplicaciones de escritorio, web y todas aquellas que cumplan con la estructura de texto liviano JSON y el envío de datos utilizando el protocolo HTTP. Por lo que se sugiere como referencia en estudios relacionados a arquitecturas de software y otros que así lo requieran.
2. Este objeto de estudio no implicaba evaluar la precisión del GPS que viene integrado a un teléfono inteligente ANDROID, por lo que se recomienda hacer las averiguaciones respectivas.
3. Se observó que la velocidad promedio recomendada que debe mantener el vehículo para que el personal de brigada pueda registrar los daños utilizando la aplicación móvil debe ser de 15 a 20 km/h.
4. Para este estudio especial de graduación el teléfono inteligente Android que se utilizó tenía las siguientes características: 1 Gb memoria RAM, 100 Mb de espacio libre para el almacenamiento de datos de los daños y sus fotografías, cámara de 5 Megapíxeles, versión Android 3.2 y plan de datos activo, por lo que se recomienda utilizar un dispositivo con estas características mínimas o superiores.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADDELL, J. Tendencias en educación en la sociedad de las tecnologías de la información [en línea], EDUTEC, 1998 [fecha de consulta: 3 de marzo de 2012]. Disponible en: [http://nti.uji.es/docs/nti/Jordi\\_Adell\\_EDUTEC.html](http://nti.uji.es/docs/nti/Jordi_Adell_EDUTEC.html).
2. CHACÓN, A. RICRA S. Diseño de una aplicación móvil para la consulta académica de la FIIS-UTP. Universidad Tecnológica del Perú, 2013. p. 17.
3. ELGIN, Ben. Google Buys Android for Its Mobile Arsenal (en inglés). Bloomberg Businessweek. Bloomberg, 2005 [fecha de consulta: 20 de febrero de 2012]. Disponible en: [http://www.bloomberg.com/bw/technology/content/aug2005/tc20050817\\_0949\\_tc024.htm](http://www.bloomberg.com/bw/technology/content/aug2005/tc20050817_0949_tc024.htm).
4. PRENSA LIBRE [en línea]. Hundimientos afectan a vecinos. [fecha de consulta: 20 de agosto de 2014]. Disponible en: [http://www.prensalibre.com/departamental/Hundimientos-afectan-vecinos\\_0\\_953904645.html](http://www.prensalibre.com/departamental/Hundimientos-afectan-vecinos_0_953904645.html).
5. FINLAY, P. N. Introducing decision support systems. Oxford, UK Cambridge, Mass., NCC Blackwell; Blackwell Publishers. 1994. pp. 7-10
6. GARLAN, Shaw. An Introduction to Software Architecture. School of Computer Science Carnegie Mellon University Pittsburgh, 1994 [fecha

de consulta: 28 de mayo de 2014]. Disponible en:  
[http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/vit/ftp/pdf/intro\\_softarch.pdf](http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/vit/ftp/pdf/intro_softarch.pdf).

7. IEEE. Standard for Information Technology *1016-2009*. Systems Design Software Design Descriptions, 2009 [fecha de consulta: 12 de agosto de 2015]. Disponible en:  
<http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=5167253>  
ISSN: 978-0-7381-5925-6
8. ILYAS, M. Smartphones Research Report. Motorola Inc. & Professional Education International, Inc. 2006. p. 2
9. JIMENEZ, Q. Manual de estudios de ingeniería de tránsito y transporte. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 2007. pp. 66-67
10. KENDALL, E. K. y KENDALL, E. J. Análisis y diseño de sistemas, 6a. Ed. México: Pearson Educación. 2005. pp. 90-96, 203, 303-305
11. KERALY, H. Manual de HDM4 – Visión General. Versión 1. Asociación Mundial de la Ruta. 2004. pp. 22-23
12. KJELL, Levik. How to sell the message “Road maintenance is necessary” to decision makers. Administración de Caminos Públicos de Noruega, 2012 [fecha de consulta: 23 de abril de 2013]. Disponible en:  
[http://www.piarc.org/ressources/documents/actes-seminaires0102/c3c20-cambodge02/9135,4.2\\_TC3-20\\_2002\\_Levik.pdf](http://www.piarc.org/ressources/documents/actes-seminaires0102/c3c20-cambodge02/9135,4.2_TC3-20_2002_Levik.pdf)

13. KORTH, A. SILBERSCHATZ, M. Database System Concepts. 6a. Ed. México: McGraw-Hill. 2010 p. 85. ISBN 0-07-352332-1.
14. KRUCHTEN, Philippe. Architectural Blueprints the “4+1” View Model of Software Architecture. Rational Software Corp. IEEE, 1995 [fecha de consulta: 15 de junio de 2014]. Disponible en: <https://www.cs.ubc.ca/~gregor/teaching/papers/4+1view-architecture.pdf>
15. LAPLANTE, Phillippe. SEPO, Ovaska Real-Time Systems Design and Analysis. 3a. Ed. Estados Unidos: Wiley Interscience. 2004. pp. 2-7 y 88. ISBN: 978-0-470-76864-8.
16. ROKACH, Lior. MAIMON, Oded. Series in Machine Perception and Artificial Intelligence Vol. 69. [en línea]. Estados Unidos : World Cientific Publishing Co, 2008 [fecha de consulta: 15 de junio de 2014]. Data mining with decision trees: theory and applications. Disponible en: [https://books.google.com.gt/books?id=GIKIIR78OxkC&pg=PR4&lpg=PR4&dq=978-981-277-171-1+isbn&source=bl&ots=0-2JIP1bYR&sig=ib64yeDoJ8n99VQ1HP\\_x\\_iffY7c&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiQ8qjD\\_PvNAhWHIR4KHWjHBrSQ6AEILDA B#v=onepage&q=978-981-277-171-1%20isbn&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=GIKIIR78OxkC&pg=PR4&lpg=PR4&dq=978-981-277-171-1+isbn&source=bl&ots=0-2JIP1bYR&sig=ib64yeDoJ8n99VQ1HP_x_iffY7c&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiQ8qjD_PvNAhWHIR4KHWjHBrSQ6AEILDA B#v=onepage&q=978-981-277-171-1%20isbn&f=false) p. 590. ISBN 978-981-277-171-1.
17. MARCIZA, Oñate. Sistemas de Ayuda a la Decisión en Ingeniería Civil Posibilidades y Perspectivas, 2009 [fecha de consulta 15 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.cimne.com/eo/publicaciones/files/PI238.pdf> .

18. PRENSA LIBRE [En línea]. Deuda flotante por Q.3, 500 millones. [fecha de consulta: 20 de agosto de 2013]. Disponible en: <http://www.prensalibre.com>.
19. NACIONES UNIDAS. Reporte del Transporte y Desarrollo Transgeneracional en Guatemala. Plataforma de conocimiento en el desarrollo sostenible. 2010, [Consultado el: 20 de agosto 2013]. Disponible en: [http://www.un.org/esa/dsd/dsd\\_aofw\\_ni/ni\\_pdfs/NationalReports/guatemala/transport.pdf](http://www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_ni/ni_pdfs/NationalReports/guatemala/transport.pdf).
20. HEREDEROS, Pablo. Informática y Comunicaciones en la Empresa. 1a. Ed. España: Editorial ESIC. 2004. pp. 277-280. ISBN: 8473563751
21. PUDER, A. ROMER, K. PILHOFER, F. Distributed Systems Architecture. 1a. Ed. Estados Unidos: Elseiver. 2006. pp. 7, 21-22. ISBN: 1-55860-648-3.
22. QUINTERO, J. Inventarios viales y categorización de la red vial en estudios de Ingeniería de Tránsito y Transporte. Revista Facultad de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC. vol. 20, No. 30. pp. 5-6. Semestre de 2011.
23. RALPH, W. A Proposal for a Formal Definition of the Design Concept. Universidad Britanica de Columbia, 2009 [Consultado el: 30 de mayo de 2014]. Disponible en: <http://www.kathrynpieplow.pwrfaculty.org/wp-content/uploads/2010/01/Ralph-Wand-definition-design.pdf>

24. ROBLEDO, David. Programación en Android. 1a. Ed. España: Aula Mentor. 2015. p. 2. ISBN: 9788436954319
25. SNELL, J. TIDWELL, D. KULCHENKO, P. Programming Web Services With SOAP. 1a. Ed. Estados Unidos: O Reilly & Associates, Inc . 2002. p. 2 ISBN: 978-0-596-00095-0
26. EL PÉRIODICO DE GUATEMALA. [En línea]. Carretera en pésimo estado, [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2014]. Disponible en: <http://www.elperiodico.com.gt/es/20130710/cartas/230838>
27. Vásquez R. (2002). Índice de Condición de Pavimento. Universidad Nacional de Colombia. Manizales Colombia. pp. 2-8
28. Wall A. Software Architectures for Real-time Systems. Department of Computer Engineering Malardalen University, 2000 [Fecha de consulta: 20 de abril de 2014]. Disponible en: <http://www.mrtc.mdh.se/publications/0439.pdf>



## **ANEXOS**

### **ANEXO 1: Desarrollo del documento *IEEE 1016-2009*, estándar del IEEE que especifica la organización y estructura de un diseño de Software**

En esta sección se expone los capítulos del documento IEEE 1016-2009 que aplican para el análisis del sistema propuesto en este estudio especial de graduación, abarca cada una de las características a implementar, así mismo brinda una visión preliminar del software e Interfaz de Usuario (UI). También cubre temas de hardware, software utilizado para el desarrollo y otras dependencias técnicas.

Como observación las siguientes secciones del documento IEEE 1016-2009 no se incluyen en este inciso porque ya fueron descritas anteriormente: la descripción del sistema, el objetivo, alcances y la arquitectura propuesta del sistema.

#### **Diagrama de despliegue del sistema**

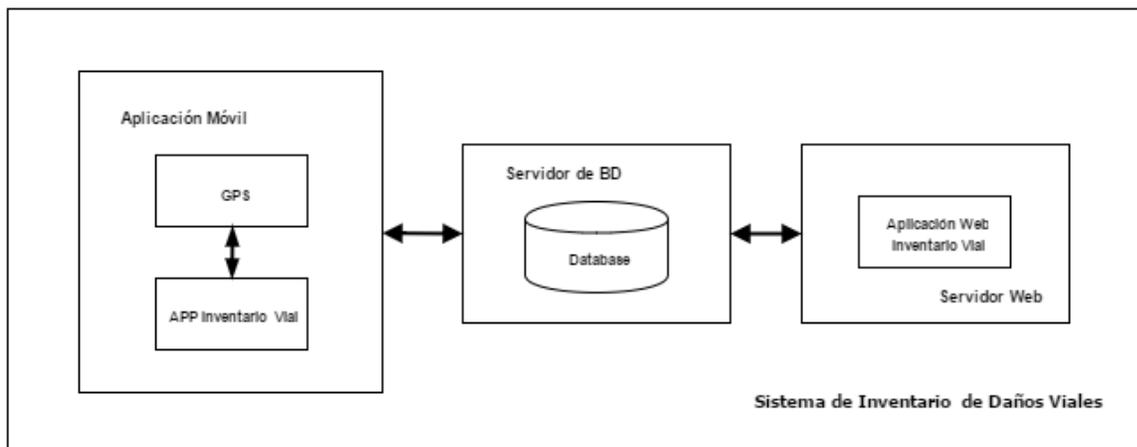
El Sistema de Inventarios de Daños Viales consta de una Aplicación Móvil y una Aplicación Web para la recepción y control del estado de carreteras.

Esta herramienta pretende calcular y documentar los índices de control de daños, así como información relevante del daño, los cuales son georreferenciados aprovechando el recurso del GPS del dispositivo móvil que se utilice.

El Sistema de Inventarios de Daños Viales es independiente ya que no forma parte de ningún otro que lo englobe.

La funcionalidad proporcionada por el GPS se integra en la aplicación móvil con el fin de registrar la ubicación geográfica de cada daño encontrado. Tanto la aplicación web como la aplicación móvil se enlazan y comunican a la base de datos para la actualización y visualización de la información.

**Figura:** Integración de la funcionalidad del GPS con la aplicación Móvil



Fuente: elaboración propia.

## Casos de uso

- Actores:
  - Personal de brigada
  - Administrador del sistema
  - Tomadores de decisión

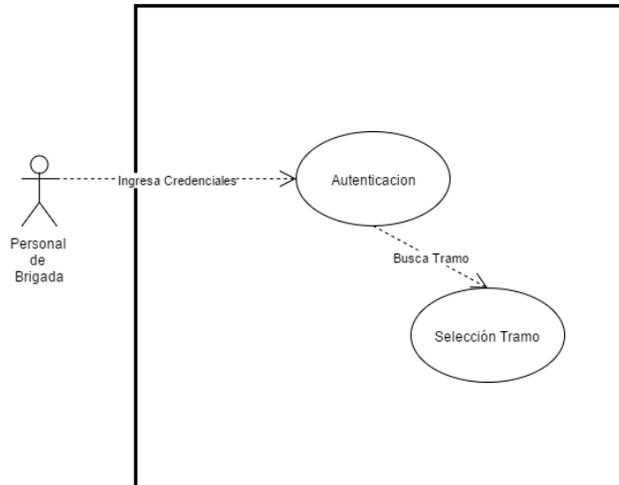
**Tabla:** Descripción de actividades y actores del sistema

	<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Actor</b>
1	Inicio de inventario (selección del tramo)	Obtener la información del tramo vial a evaluar y llegar al inicio del tramo	Personal de Brigada
2	Captura de geometría de daños existentes	Recorrer toda la longitud del tramo y capturar su geometría y daños existentes	Personal de Brigada
3	Fin de Inventario, (almacenamiento del inventario)	Retornar a oficinas centrales, tomando en cuenta que se encuentran en el extremo final del tramo inventariado	Personal de Brigada
4	Sincronización de datos	Ingresa la información capturada a la base de datos de inventarios	Personal de Brigada
6	Generación de Informes	Generar los informes para los tomadores de decisión	Tomadores de Decisión

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se describen las actividades y los actores del sistema. Los actores son solamente 2, el personal de brigada y los tomadores de decisión. Los primeros son los encargados de ejecutar las actividades de inicio de inventario, captura de los daños y la sincronización al servidor central. Por otro lado, los tomadores de decisión intervienen en el sistema únicamente para la generación de informes.

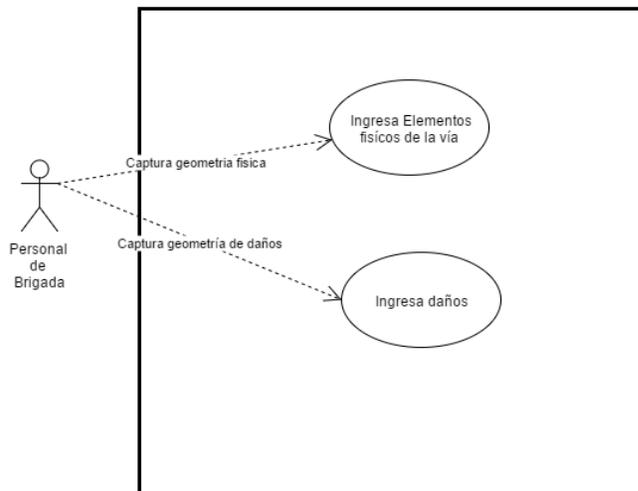
**Figura:** Caso de uso de autenticación y selección de tramo



Fuente: elaboración propia.

El caso de uso que aparece en la figura anterior describe la interacción del personal de brigada en el inicio del inventario, haciendo énfasis que debe autenticarse antes de utilizar la aplicación.

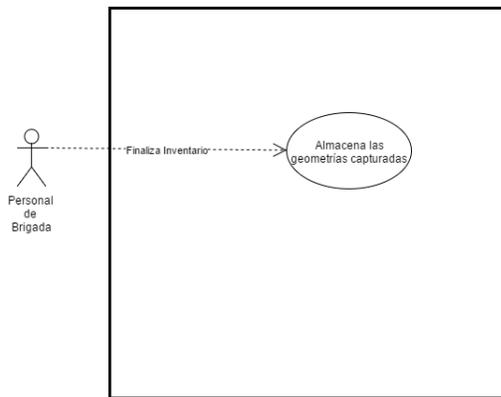
**Figura:** Caso de uso del ingreso de daños



Fuente: elaboración propia.

La siguiente figura describe el caso de uso del personal de brigada respecto al ingreso de los daños.

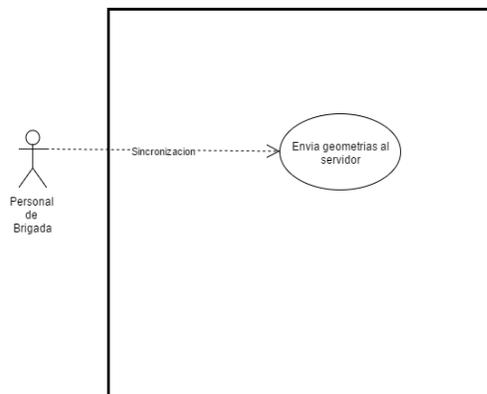
**Figura:** Caso de uso de almacenamiento de los datos capturados



Fuente: elaboración propia.

La siguiente figura describe el caso de uso del personal de brigada respecto al almacenamiento de los datos capturados durante el recorrido del inventario.

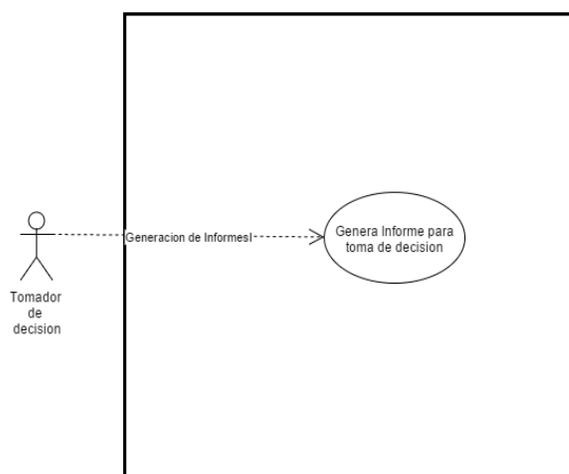
**Figura:** Caso de uso del envío de datos al servidor



Fuente: elaboración propia.

La siguiente figura describe el caso de uso del personal de brigada respecto al envío de los datos capturados durante el recorrido del inventario al servidor.

**Figura:** Caso de uso de la generación de las salidas del sistema



Fuente: elaboración propia.

## Entorno del funcionamiento

A continuación se describe el entorno propuesto de la Aplicación Web y de la Aplicación Móvil.

## Aplicación Web

Se podrá ingresar desde cualquier sistema operativo y/o plataforma, únicamente deberá contar con una conexión a Internet y un navegador web, los navegadores sugeridos son: Google Chrome, Mozilla Firefox y Safari.

## **Aplicación Móvil**

Para llevar a cabo el registro de daños viales se requiere un dispositivo móvil ya sea Tablet, Smartphone o similar. El diseño flexible de la aplicación permitirá trabajar en dos ambientes (modo conectado y desconectado) pudiendo de esta manera recopilar daños y fotografías para enviarlos (como paquete de datos) en el momento en el que se detecte una conexión a internet segura. Esto es importante al tomar en consideración que no siempre se contara con una conexión a internet y sin embargo esto no será limitante para la recopilación del registro en campo.

Versión del sistema operativo requerido: Android 4.0.3 o superior

La versatilidad de Android permite desarrollar la aplicación apoyado de diversas herramientas, dentro de las cuales se eligieron las siguientes:

- Java Runtime Environment 5.0 o superior.
- Eclipse (IDE for Java Developers).
- Android SDK (Google).
- Android Development Tools – ADT
- SQLite

## **Dependencia de funcionalidades**

El receptor GPS de los dispositivos móviles tiene un margen de error normal entre los 60 y los 100 metros de diferencia con la posición registrada. Además en algunas ubicaciones no se tendrá el mismo alcance por lo tanto, la respuesta del GPS podrá ser más lenta.

## **ANEXO 2: Listado de preguntas realizadas durante las entrevistas a los expertos en el levantamiento de inventarios viales y generación del PCI**

1. Por favor describa brevemente cómo se realiza actualmente el proceso del levantamiento de inventarios viales.
2. Piensa usted que la metodología utilizada actualmente es óptima, sí o no, ¿por qué?
3. ¿Qué debilidades ve en la metodología actual?
4. ¿Qué fortalezas ve en la metodología actual?
5. ¿Qué procesos cree que se pueden mejorar en la metodología actual?
6. ¿Cuántos kilómetros de carretera pueden recolectar actualmente durante 1 día de trabajo, entiéndase por 1 día de trabajo 7 horas ininterrumpidas?
7. ¿Ha pensado alguna vez en aplicar herramientas tecnológicas en el levantamiento de inventarios viales, si es así, en cuáles?
8. ¿Piensa usted que el uso de dispositivos móviles que incorporan: odómetro, GPS, cámara fotográfica y que permitan la captura de los atributos de los daños, ayudarían a optimizar el proceso del levantamiento del inventario vial, sí o no, por qué?
9. Si la respuesta anterior fue positiva, pedirle al entrevistado que describa brevemente un proceso propuesto de cómo podría implementarse la utilización de herramientas tecnológicas en el levantamiento de inventarios viales.
10. ¿Cree que utilizar internet como medio de envío en línea de los datos recopilados en carretera ayudaría a los altos mandos a tomar decisiones más rápidamente, sí o no, por qué?
11. ¿Qué información cree usted necesaria para la toma correcta de decisiones en el mantenimiento vial?
12. Podría describir brevemente, ¿qué es el PCI?
13. ¿Piensa que los datos capturados en campo con la metodología actual ofrecen cantidades precisas o exactas de entrada para el cálculo del PCI, sí o no, por qué?
14. Por favor mencione los aspectos técnicos en la obtención del PCI que según sus conocimientos podrían sistematizarse
15. ¿Piensa que con la metodología actual se logra obtener el PCI en un tiempo óptimo, sí o no?

16. ¿Utilizaría usted tecnologías de la información en el proceso del levantamiento de inventarios viales, sí o no?
17. ¿Utilizaría usted tecnologías de la información en el proceso de obtención del PCI, sí o no?

**ANEXO 3: Explicación de la lógica de la toma decisiones y las fórmulas que transformarán en salida los datos de entrada, para el cálculo del Índice de condición del Pavimento.**

En la sección de la descripción de las especificaciones de los procesos físicos y lógicos para el asentamiento de inventarios viales, se detalló que la generación del índice de condición de pavimento será integrado al proceso de levantamiento de inventarios viales a través de una subrutina, esto con el objetivo de disminuir el tiempo en la obtención del índice, en esta sección se muestran la metodología y las ecuaciones utilizadas para la obtención de este índice a partir de los datos recopilados en el inventario de daños.

Primeramente se divide la vía en secciones, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y tipos de carpeta, en la siguiente tabla se muestran algunas relaciones de longitud:

**Tabla:** Longitudes de unidades de muestreo de vías

<b>Ancho de calzada (m)</b>	<b>Longitud de la unidad de muestreo (m)</b>
5.0	46
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Fuente: Ingeniería de pavimento, Ing. Esp. Luis Ricardo Vásquez Varela

A partir de la tabla anterior de las relaciones de longitud se definen las unidades de muestreo aplicando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \text{ Ecuación 1.}$$

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

$\sigma$ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

La aplicación de la fórmula produce un estimado de PCI  $\pm 5$  con una confiabilidad del 95%

Es recomendable que las unidades seleccionadas estén simétricamente espaciadas a lo largo de la sección del tramo a evaluar, y que la primera de ellas se elija de manera aleatoria (aleatoriedad sistemática).

El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$i = N/n$$

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible

n: Número mínimo de unidades a evaluar

i: intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

El inicio aleatorio se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestro i.

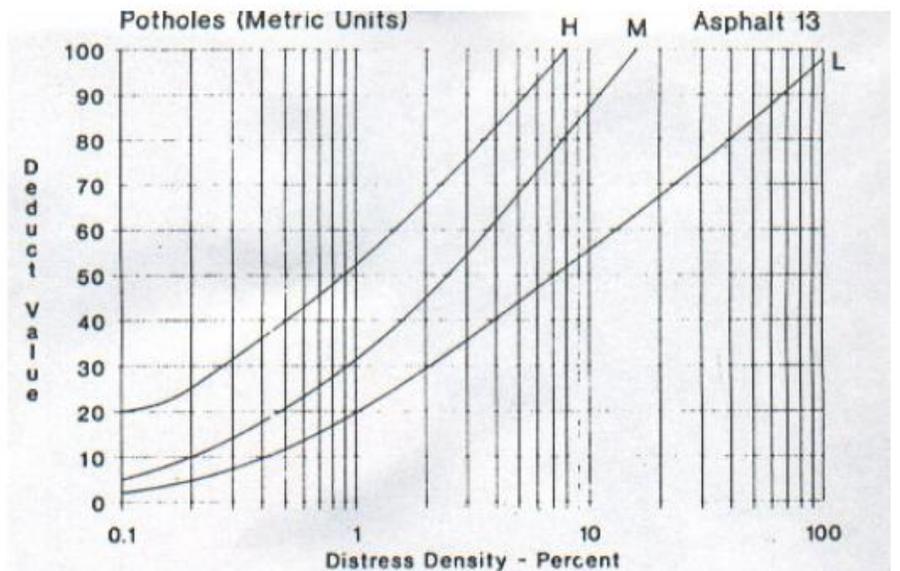
Por lo que, si  $i=3$  la primera sección de muestreo a evaluar puede estar entre 1 y 3. Las secciones de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S+1), (S+2), etc.

Como punto importante, si la evaluación es requerida para cantidades de daño exactas, todas las secciones de muestra deberán ser evaluadas.

Seleccionadas las muestras a evaluar por los expertos en el levantamiento de inventarios viales, se procede a realizar el inventario, y con ello se obtienen los daños que servirán como datos de entrada para la generación del PCI, siguiendo las etapas descritas a continuación:

En la etapa 1 se calculan los valores deducidos, se totalizan cada tipo y nivel de severidad de daño, este puede medirse en área, longitud o por número según su tipo, utilizando las curvas denominadas valor deducido del daño, que pueden ubicarse, dirigiéndose al enlace colocado en la sección de anexos, se obtiene el valor deducido final, a manera de ejemplo la figura 23 muestra la curva correspondiente al daño de baches.

**Figura:** Curva de cálculo de valor deducido para el daño de baches



Fuente: VASQUEZ VARELA, Luis. Manual para la generación del PCI. p.10.

En la etapa 2, se verifica que si ninguno o tan solo uno de los valores deducidos encontrados es mayor que 2, se usa el valor deducido total, en lugar del mayor valor deducido obtenido en la etapa 4.

En la etapa 3, se calcula el Máximo Valor Deducido Corregido, determinando el número de valores deducidos que sean mayores que 2, y se calcula el Valor Deducido Total sumando todos los valores deducidos individuales.

En la etapa 4, etapa final en la que se calcula el PCI de la muestra restando de 100 el máximo valor deducido obtenido en la etapa 3.

**ANEXO: 4. Ficha del formato utilizado actualmente para la recopilación de daños en campo para un inventario vial**

**Imagen:** Ficha de recopilación de daños en un inventario vial

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO				ESQUEMA		
ZONA	ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
CÓDIGO VÍA	ABSCISA FINAL	ÁREA MUESTREO (m <sup>2</sup> )				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
INSPECCIONADA POR			FECHA	<input type="text"/>		
<input type="text"/>			<input type="text"/>			
No.	Daño	No.	Daño			
1	Piel de cocodrilo.	11	Parcheo.			
2	Exudación.	12	Pulimento de agregados.			
3	Agrietamiento en bloque.	13	Huecos.			
4	Abultamientos y hundimientos.	14	Cruce de vía férrea.			
5	Corrugación.	15	Ahuellamiento.			
6	Depresión.	16	Desplazamiento.			
7	Grieta de borde.	17	Grieta parabólica (slippage)			
8	Grieta de reflexión de junta.	18	Hinchamiento.			
9	Desnivel carril / berma.	19	Desprendimiento de agregados.			
10	Grietas long y transversal.					
Daño	Severidad	Cantidades parciales		Total	Densidad (%)	Valor deducido

Fuente: VASQUEZ VARELA, Luis. Manual para la generación del PCI. p.5