

**SISTEMA PARA LA CAPTURA, GEOREFERENCIACIÓN Y PUBLICACIÓN
DE IMÁGENES DIGITALES DEL PAVIMENTO DE VÍAS URBANAS**

**JONATHAN ANDRÉS MEZA SANTOS
CRISTHIAN RICARDO PICO VERA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA
BUCARAMANGA**

2012

**SISTEMA PARA LA CAPTURA, GEOREFERENCIACIÓN Y PUBLICACIÓN DE
IMÁGENES DIGITALES DEL PAVIMENTO DE VÍAS URBANAS**

AUTORES:

JONATHAN ANDRÉS MEZA SANTOS

CRISTHIAN RICARDO PICO VERA

Proyecto de grado presentado como requisito parcial

Para optar al título de Ingeniero de Sistemas

Director:

DUVAN YAHIR SANABRIA ECHEVERRY

CODIRECTOR:

HERNÁN PORRAS DÍAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIA FISICO MECANICAS

ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INFORMATICA

BUCARAMANGA

2012

A Dios, por su amor y su compañía,
A mi mamá, Gloria Inés Vera, por su cariño y su apoyo,
A mi papá, Ricardo Pico Pinilla, por su comprensión y su ejemplo de vida,
A mi hermana, Silvia Nathalia Pico, por su compañía y su contagiosa alegría,
A Jhonatan Andrés Meza, Adonay Mantilla Méndez y Héctor Ríos, por ser los mejores compañeros que alguien podría tener durante su vida universitaria,
A María Camila Rodríguez, porque siempre estuvo ahí,
A mi director de proyecto, Duvan Yahir Sanabria, por su ayuda incondicional y por haber compartido sus conocimientos y experiencia

Cristhian Ricardo Pico Vera

A Dios por permanecer a mi lado en cada momento de mi vida,
A mi madre, María Celina Santos, por compartir su sabiduría,
A mi padre, Juan de Jesús Meza, por ser un ejemplo a seguir,
A mis hermanos, Juan Carlos Meza y Paola Andrea Meza, por su apoyo incondicional,
A Cristhian Ricardo Pico y Adonay Mantilla Méndez, por la increíble amistad que hemos forjado a lo largo de estos años,
A Adriana Gómez Rodríguez y Kelly Yadira Martínez, por acompañarme durante este proceso,
A María Camila Rodríguez, Héctor Fernely Ríos y Zorany Agudelo por su voz de apoyo,

Jonathan Andrés Meza Santos

AGRADECIMIENTOS

A Duvan Yahir Sanabria Echeverry, candidato a magister en informática, profesor de la Escuela de Ingeniería Civil, director del proyecto de grado.

A Hernán Porras, Ingeniero civil, magíster en gestión tecnológica, magíster en informática, doctor en ingeniería telemática, profesor titular de la Escuela de Ingeniería Civil, director del grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas.

A los profesores de la escuela de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander por aportar en nuestro crecimiento profesional y personal durante toda la carrera.

En Especial a nuestras familias y amigos de todo corazón mil y mil gracias por hacer parte de nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	19
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	21
1.1. Descripción del problema.....	21
1.2. Justificación.....	22
1.3. Objetivos del proyecto.....	23
1.4. Alcance.....	24
1.5. Impacto.....	25
1.6. Viabilidad.....	26
1.6.1. Viabilidad técnica.....	26
1.6.2. Viabilidad económica.....	27
1.6.3. Viabilidad operativa.....	27
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	28
2.1. Sistema de posicionamiento global (gps).....	28
2.1.1. Bases y funcionamiento del sistema.....	28
2.1.2. Los navegadores satelitales GPS.....	31
2.1.3. Coordenadas geográficas.....	32
2.1.4. Conversión de coordenadas.....	33
2.2. Servicios web.....	34
2.2.1. Conceptos básicos.....	34
2.2.2. Protocolos utilizados por los servicios web.....	35
2.3. Sistemas de información geográfica.....	36
2.3.1. Bases de datos geográficas.....	38
2.4. Arquitectura del sistema.....	40
2.4.1. Arquitectura cliente-servidor.....	40
2.4.2. Arquitectura de tres capas para la web.....	42

2.5.	Ingeniería del software.....	43
2.5.1.	Modelos de desarrollo software	44
2.6.	Lenguajes de programación utilizados	48
2.6.1.	Adobe Flash Builder	49
2.6.2.	Matlab	50
2.7.	Sistemas automatizados para la detección de fallas en pavimentos ...	53
3.	METODOLOGÍA EMPLEADA DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	55
4.	DESARROLLO.....	57
4.1.	Fase de inicio	57
4.2.	Fase de elaboración	59
4.2.1.	Casos de uso	59
4.2.2.	Diagramas de secuencia	71
4.2.3.	Comportamiento del sistema.....	91
4.2.4.	Arquitectura del sistema.....	94
4.3.	Fase de construcción.....	99
4.3.1.	Elección de las herramientas software a utilizar.....	99
4.3.2.	Desarrollo de los procedimientos de recolección de información ...	100
4.3.3.	Almacenamiento de datos	104
4.3.4.	Publicación y presentación web de la información	105
4.4.	Fase de transición	106
5.	CONCLUSIONES.....	113
6.	RECOMENDACIONES	116
7.	BIBLIOGRAFÍA	117

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: ACTIVIDADES LLEVADAS A CABO PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA.	55
TABLA 2: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE INGRESO CONSULTANDO LA BASE DE DATOS LOCAL	107
TABLA 3: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE INGRESO CONSULTANDO LA BASE DE DATOS DEL SERVIDOR	108
TABLA 4: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DEFINICIÓN DE PARÁMETROS.....	108
TABLA 5: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CREACIÓN DE LEVANTAMIENTOS DE DATOS Y MUESTRAS	109
TABLA 6: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAPTACIÓN DE IMÁGENES.....	110
TABLA 7: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LAS FALLAS	111
TABLA 8: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ENVÍO DE LOS DATOS AL SERVIDOR..	111
TABLA 9: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	112

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: POSICIONAMIENTO CON UN SATÉLITE	29
FIGURA 2: POSICIONAMIENTO CON DOS SATÉLITES	29
FIGURA 3: POSICIONAMIENTO CON TRES SATÉLITES	30
FIGURA 4: POSICIONAMIENTO CON CUATRO SATÉLITES.....	30
FIGURA 5: COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	33
FIGURA 6: EJEMPLO LA VISUALIZACIÓN DE UN SIG. OBSERVATORIO SIG DE BUCARAMANGA FUENTE: PROPIA DE LOS AUTORES.	37
FIGURA 7: EJEMPLO DE ORGANIZACIÓN POR CAPAS EN UN SIG.	38
FIGURA 8: ARQUITECTURA DE TRES CAPAS.	42
FIGURA 9: ARQUITECTURA DE TRES CAPAS PARA LA WEB.....	43
FIGURA 10: TRAZABILIDAD BRINDADA POR LOS CASOS DE USO EN EL RUP.	45
FIGURA 11: FLUJOS FUNDAMENTALES DE TRABAJO EN CADA ITERACIÓN DEL MODELO RUP.....	46
FIGURA 12: ESFUERZO RECOMENDADO EN CADA DISCIPLINA SEGÚN LA FASE ACTUAL POR LA METODOLOGÍA RUP.....	47
FIGURA 13: EJEMPLO DE UN VEHÍCULO PARA LA TOMA AUTOMATIZADA DE DATOS. SISTEMA PROPIO DE ROADEX.	53
FIGURA 14: DIAGRAMA DE CASOS DE USO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA	60
FIGURA 15: DIAGRAMA DE SECUENCIA AUTENTICAR USUARIO (CON CONEXIÓN A INTERNET Y SINCRONIZACIÓN). FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	73
FIGURA 16: DIAGRAMA DE SECUENCIA AUTENTICAR USUARIO (SIN INTERNET). FUENTE: AUTORÍA PROPIA	74
FIGURA 17: DIAGRAMA DE SECUENCIA AUTENTICAR USUARIO (CON INTERNET Y USUARIO YA SINCRONIZADO). FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	75
FIGURA 18: DIAGRAMA DE SECUENCIA DEFINIR PARÁMETROS (CON CONEXIÓN DISPONIBLE) FUENTE: AUTORÍA PROPIA	76
FIGURA 19: DIAGRAMA DE SECUENCIA DEFINIR PARÁMETROS (SIN CONEXIÓN DISPONIBLE) FUENTE: AUTORÍA PROPIA	77
FIGURA 20: DIAGRAMA DE SECUENCIA TOMAR DATOS (PERSONAL DE CAMPO Y SIN INTERNET) FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	78
FIGURA 21: DIAGRAMA DE SECUENCIA TOMAR DATOS (PERSONAL DE CAMPO Y CON INTERNET) FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	79
FIGURA 22: DIAGRAMA DE SECUENCIA TOMAR DATOS (FUNCIONARIO Y CON INTERNET) FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	80
FIGURA 23: DIAGRAMA DE SECUENCIA TOMAR DATOS (FUNCIONARIO Y SIN INTERNET) FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	81

FIGURA 24: DIAGRAMA DE SECUENCIA PUBLICAR DATOS (LLAMADO DESDE EL MENÚ PRINCIPAL) FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	82
FIGURA 25: DIAGRAMA DE SECUENCIA PUBLICAR DATOS (LLAMADO DESDE TOMAR DATOS) FUENTE: AUTORÍA PROPIA	83
FIGURA 26: DIAGRAMA DE SECUENCIA PUBLICAR DATOS (LLAMADO DESDE ANALIZAR FALLAS) FUENTE: AUTORÍA PROPIA	84
FIGURA 27: DIAGRAMA DE SECUENCIA ANALIZAR FALLAS (CON CONEXIÓN A INTERNET) FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	85
FIGURA 28: DIAGRAMA DE SECUENCIA ANALIZAR FALLAS (SIN CONEXIÓN A INTERNET) FUENTE: AUTORÍA PROPIA	86
FIGURA 29: DIAGRAMA DE SECUENCIA EVALUAR ESTADO DEL PAVIMENTO (CON CONEXIÓN A INTERNET) FUENTE: AUTORÍA PROPIA	88
FIGURA 30: DIAGRAMA DE SECUENCIA EVALUAR ESTADO DEL PAVIMENTO (SIN CONEXIÓN A INTERNET) FUENTE: AUTORÍA PROPIA	89
FIGURA 31: DIAGRAMA DE SECUENCIA VISUALIZAR INFORMACIÓN FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	90
FIGURA 32: DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DEL SISTEMA COMPLETO PARA EL PERSONAL DE CAMPO FUENTE: AUTORÍA PROPIA	92
FIGURA 33: DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DEL SISTEMA COMPLETO PARA EL FUNCIONARIO FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	93
FIGURA 34: DIAGRAMA DE LA ARQUITECTURA DE LOS COMPONENTES SOFTWARE Y HARDWARE DEL SISTEMA FUENTE: AUTORÍA PROPIA	98
FIGURA 35: INTERFAZ PRINCIPAL SIRPAIPAV FUENTE: AUTORÍA PROPIA	99
FIGURA 36: MODELO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	101
FIGURA 37: INTERFAZ DE ANÁLISIS DE FALLAS. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	103
FIGURA 38: INTERFACES DE CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS Y CREACIÓN DE LEVANTAMIENTO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	103
FIGURA 39: MODELO ENTIDAD-RELACIÓN DE LA BASE DE DATOS LOCAL. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	104
FIGURA 40: INTERFAZ PARA EL INICIO DE SESIÓN. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	105
FIGURA 41: WIDGET SIRPAIPAV. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	106

RESUMEN

TÍTULO

SISTEMA PARA LA CAPTURA, GEORREFERENCIACIÓN Y PUBLICACIÓN DE IMÁGENES DIGITALES DEL PAVIMENTO DE VÍAS URBANAS¹

AUTORES

MEZA SANTOS, Jonathan Andrés

PICO VERA, Cristhian Ricardo²

PALABRAS CLAVE

Sistema, georreferenciación, servicios web, publicación web, captura de imágenes, evaluación del estado del pavimento, módulo web.

DESCRIPCIÓN

Las entidades públicas responsables de la administración del fondo destinado al mantenimiento de los corredores viales, con el fin de planificar sus actividades, realizan evaluaciones sobre el estado del pavimento en diferentes vías mediante la observación en campo por parte de personal especializado y encuestas realizadas a los usuarios de las vías.

Una herramienta que permita una visualización del estado del pavimento desde cualquier lugar mientras se cuente con un dispositivo con acceso a Internet y un explorador adecuado para visualizar el SIG web serviría como soporte para el proceso de planificación del mantenimiento de la malla vial, optimizar el efecto positivo que tiene dicha planificación en el estado de los corredores viales y mantener informados a los diferentes funcionarios de entidades implicadas en el mantenimiento de la malla vial tener una idea más aproximada a la realidad de la situación y la distribución de los corredores según su nivel de deterioro.

La implementación de dicha herramienta implica el desarrollo de un software que permita controlar un dispositivo de captura de imágenes y un navegador GPS desde un computador portátil. Una vez los datos han sido tomados la herramienta permite el envío de éstos al servidor del centro de datos del grupo de investigación Geomática, el cual servirá como fuente de datos para un componente del SIG web del AMB que se basará en las coordenadas obtenidas para ubicar las imágenes tomadas del pavimento, y una vez el usuario visualiza la imagen tiene la opción de visualizar un estimado del índice de condición del pavimento correspondiente a esa muestra, de esa manera podrá contar con una idea más aproximada del estado de la sección del pavimento.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingeniería de sistemas e informática. Director: Duvan Yahir Sanabria Echeverry

ABSTRACT

TITLE

SYSTEM FOR THE CAPTURE, GEOREFERENCING AND PUBLISMENT OF URBAN ROADS' PAVEMENT DIGITAL IMAGES.

AUTHORS

MEZA SANTOS, Jonathan Andrés

PICO VERA, Cristhian Ricardo

KEY WORDS

System, georeferencing, web services, web publishment, image capture, pavement distress evaluation, web module.

DESCRIPTION

The public entities responsible for the management of the funds destined for the road corridors' maintenance, in order to plan its activities, make studies about the pavement condition on different routes through the observation in field by specialized staff and surveys between the roads' users.

A tool that allows the display of the pavement's condition wherever there is a device with Internet and a suitable browser to visualize the web GIS would work as a support for the planning process of the road network's maintenance to optimize its positive effect on the road corridor's state because of its capacity to give an estimate of the real situation and the corridor's distribution according to its damage level to the staff of the different public entities involved on the road network's maintenance.

The implementation of such a tool implies the development of software which allows controlling an external image capture device and a GPS navigation device from a laptop. Once the data has been gathered the tool allows its sending to Geomatica's research group data center server, which will work as the data source for a component on the AMB's web GIS that will place the pavement images based on the obtained coordinates for each register, and once the image is displayed user has the choice of getting an estimate of the sample's pavement condition index, getting this way an accurate idea of the condition of the pavement section.

GLOSARIO

COMPATIBILIDAD: Posibilidad de hacer funcionar un programa informático en un computador o conjuntamente con otros programas sin necesidad de hacer ninguna modificación.

GEORREFERENCIACIÓN: Proceso mediante el cual se define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datum determinado.

FALLA: Accidente visible que afecta negativamente la calidad de la sección del pavimento en la que se encuentra.

HARDWARE: Conjunto de unidades físicas, circuitos y dispositivos que componen un sistema informático.

INTERFAZ: Es el medio que comunica al usuario con una máquina, un equipo o una computadora, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo, normalmente suelen ser fáciles de entender y accionar. También puede referirse al medio que comunica dos componentes software entre sí.

LEVANTAMIENTO DE DATOS: Salida de campo con el objetivo de reunir información sobre los elementos que serán representados en el sistema de información geográfica. También conocido como estudio. Se divide en muestras, las cuales son escogidas estadísticamente para representar la totalidad del tramo a inspeccionar.

LICENCIAS: Contrato entre el licenciante (autor/titular de los derechos de explotación/distribuidor) y el licenciario (usuario consumidor /usuario profesional o empresa) del programa informático, para utilizar el software cumpliendo una serie de términos y condiciones establecidas dentro de las cláusulas.

MÓDULO: Componente software que agrupa un conjunto de subprogramas y estructuras de datos. Posee cierto grado de independencia pero a la vez cuenta con una interfaz bien definida hacia otros componentes.

PCI: Es un indicador numérico de 0 a 100 utilizado para indicar la condición de un tramo de la malla vial basado en una inspección de las fallas presentes en la misma.

PUERTO COM: Es una interfaz asincrónica de comunicaciones de datos digitales, en donde la información es enviada un solo bit a la vez, frecuentemente utilizada como puente entre computadores y dispositivos periféricos.

REQUISITO: Características que se desea que posea un sistema o un software.

SERVICIOS WEB: Aplicaciones que sirven de puente de comunicación entre entornos en los que no existe una correspondencia precisa de las plataformas que requieren comunicarse, razón por la que son usados para intercambiar mensajes entre aplicaciones a través de la Internet.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: Es una integración organizada de hardware y software diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información geográficamente referenciada de elementos presentes en la realidad.

SOFTWARE: Equipamiento intangible de un sistema; comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios para la realización de tareas específicas.

TRILATERACIÓN: Proceso mediante el cual un navegador GPS averigua su posición mediante la interpretación de su distancia hacia tres o más satélites del sistema GPS.

UTM: Siglas que corresponden a '*Universal Transversal Mercator*'. Es una proyección cartográfica en la cual se proyectan cilindros en forma transversal a la Tierra. Sus coordenadas están representadas en metros.

WIDGET: Elemento de una interfaz que muestra información con la cual el usuario puede interactuar. Su objetivo es dar fácil acceso a funciones frecuentemente usadas y proveer de información visual.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del estado de pavimentos actualmente en Bucaramanga es un proceso manual que ha mantenido sus actividades características de recolección, procesamiento e interpretación de datos desde sus orígenes. Este proyecto propone una modificación del procedimiento, de tal manera que permita un enfoque semi-automatizado mediante la implementación de un sistema que sirva de apoyo para hacer este procedimiento más rápido, económico y efectivo hacia la toma de decisiones referentes a la distribución de recursos destinados al mantenimiento de la malla vial.

Los nuevos avances tecnológicos, tales como el aumento de la velocidad de procesamiento computacional, las técnicas de tratamiento de imágenes digitales y la cobertura e integración ofrecidas por los servicios en la red, representan una oportunidad para optimizar mediante su implementación los procesos correspondientes a la evaluación del estado de los pavimentos, entre otras actividades.

Las modificaciones efectuadas sobre el procedimiento actual para realizar un estudio sobre el estado de los pavimentos consisten en la captación de imágenes del pavimento por medio de dispositivos electrónicos manipulados por una herramienta software y su publicación en el sistema de información geográfica (SIG) web desarrollado por el grupo de investigación en Geomática con el fin que los datos obtenidos puedan ser consultados a través de Internet y posteriormente procesados para el diagnóstico de la malla vial.

Además, este proyecto apoya a otros proyectos realizados por el grupo de investigación Geomática, que consisten en la identificación y la clasificación de fallas en el pavimento mediante el uso de técnicas de tratamiento de imágenes digitales, con cuya información se calcula el índice de condición de pavimento que constituye una metodología para la calificación objetiva del estado de la malla vial en una zona determinada dentro de los modelos de gestión vial disponibles en la actualidad. Con el fin que el presente proyecto apoye a los

proyectos recién mencionados y a los procesos para la toma de decisiones sobre el mantenimiento y rehabilitación del estado del pavimento es necesaria la publicación de la información obtenida en el SIG, lo cual implica que al momento de captar las imágenes éstas sean georreferenciadas; es decir que a cada imagen le sea asignado un punto espacial, y que sea insertado junto con la imagen en la base de datos para su posterior ubicación y visualización en el SIG web.

El contenido de este documento está dividido en 4 capítulos: En el primer capítulo se encuentran los objetivos, la justificación y la introducción; el segundo capítulo consiste en el marco teórico necesario para el desarrollo y entendimiento de las actividades llevadas a cabo durante el desarrollo del proyecto; en el tercer capítulo se describe el proceso de análisis, diseño e implementación que definió la creación del sistema; y por último, en el cuarto capítulo se encuentran las conclusiones, recomendaciones y anexos referenciados.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. Descripción del problema

Actualmente en Colombia el estudio del estado de las vías se lleva a cabo mediante inspección visual de personal calificado y por medio de encuestas a usuarios, quienes dan una opinión subjetiva a partir de su experiencia como usuarios cotidianos de alguna porción de la malla vial. Estas dos diferentes formas de recolección de información representan altos costos por la necesidad de contratar personas calificadas para realizar el levantamiento de la información, cerrar parte de los corredores viales para hacer el estudio respectivo y la logística necesaria para llevarlas a cabo, además de estar sujetas a márgenes de error considerables debido a que están definidas por la percepción del personal contratado o entrevistado.

Respecto al proceso de inspección y diagnóstico del estado del pavimento, éste resulta costoso y dispendioso, puesto que es realizado directamente en el sitio que se evalúa, lo que implica el cierre de la vía, el traslado de equipos de medición y de personal calificado para llevar a cabo el proceso. Debido a estas complicaciones, los organismos gubernamentales enfrentan dificultades en el momento de estudiar el estado de los corredores viales y, en caso de realizar un estudio, difícilmente se podrá repetir otro en un corto plazo.

La falta de inventarios o la dificultad de actualización de los existentes son los principales problemas con los que se enfrentan los organismos del Estado en el momento de plantear soluciones que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos y una mejor planeación en tiempos de ejecución de las propuestas.

Por otra parte, el estado del pavimento afecta directamente a los ciudadanos en su día a día, puesto que, cuanto más deteriorado se encuentre un tramo vial, este representa un daño adicional a los vehículos que transitan sobre él y un mayor riesgo para las personas que lo usan para su movilidad.

1.2.Justificación

La implementación de un sistema de recolección y publicación georreferenciada de imágenes del pavimento permite a los diferentes funcionarios y entidades implicadas en el mantenimiento de las vías tener conocimiento de la situación y los lugares con mayor deterioro, que deben ser atendidos con mayor urgencia para evitar accidentes y mayores gastos en el futuro.

A medida que se utilice el sistema en diferentes puntos de la ciudad, y se realice el levantamiento de imágenes, puntos y mediciones se formará un inventario del estado general de la malla vial, que permitirá la consulta de datos sin importar el lugar donde se realice la consulta, el análisis óptimo y oportuno sobre la situación de la malla vial y la visualización de los datos recolectados en un mapa, según la posición del punto geográfica asociado a la foto. El sistema de recolección propuesto también facilita la actualización del levantamiento con el fin de mantener actualizado el estado de los corredores viales.

El sistema propuesto consta de tres componentes lógicos, y cada uno de ellos representa una de las fases que atraviesa la información desde su registro hasta su visualización por la entidad designada para evaluar los datos. Las fases que atraviesa la información en el sistema son:

- 1) Toma de datos. Este componente del sistema se encarga de obtener los parámetros necesarios para configurar la recolección de datos, capturar a través de una cámara digital y un dispositivo GPS las imágenes del pavimento y las coordenadas que permiten ubicar el lugar en donde fue tomada cada imagen, y posteriormente preparar los datos para ser enviados al servidor.
- 2) Almacenamiento de datos. Tiene como funcionalidad enviar la información recolectada hacia una base de datos ubicada en un servidor. Para lograr este objetivo, el módulo debe servir como interfaz

entre el servidor y el módulo de toma de datos, además de administrar la base de datos en que se guardará la información.

- 3) Publicación de datos. Este componente se encarga de consumir la información guardada en la base de datos y presentarla en el SIG, mediante el desarrollo de un nuevo módulo o “widget”.

La combinación de estos tres forma el sistema cuyo objetivo es hacer posible y sencilla la tarea de capturar y consultar información del estado de la malla vial desde cualquier lugar con acceso a Internet.

La implantación de este sistema permitirá la evaluación remota y más rápida del estado de la malla vial, lo que se verá reflejado para los organismos encargados de la distribución de recursos en decisiones más acertadas y oportunas.

1.3.Objetivos del proyecto

1.3.1. Objetivo general

Modelar e implementar un sistema para la captura, georreferenciación y publicación de imágenes digitales del pavimento de vías urbanas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Proponer un procedimiento para la recopilación de las imágenes digitales del pavimento y sus coordenadas geográficas.
- Diseñar el modelo del sistema que permita controlar los dispositivos electrónicos de captura de datos.

- Modificar el modelo entidad relación de la base de datos del Geo-portal web de Bucaramanga, para incluir las entidades y relaciones correspondientes a los datos adquiridos por el sistema.
- Desarrollar un servicio web que permita enviar los datos tomados por el sistema a un servidor remoto.
- Desarrollar el módulo del registro fotográfico adquirido por el sistema para la publicación de los datos en el Geo-portal web de Bucaramanga.
- Realizar pruebas piloto para verificar el correcto funcionamiento del sistema.

1.4. Alcance

- Obtener un sistema que permita controlar el levantamiento del registro fotográfico georreferenciado y su publicación en la web.
- Habilitar a los usuarios designados para realizar el levantamiento y diagnóstico del estado de la malla vial, la consulta de la información gráfica (mediante fotografías) y descriptiva (mediante la descripción de las características de las fallas) desde cualquier lugar con acceso a Internet.
- Apoyar los proyectos que se están desarrollando en el grupo de investigación Geomática enfocados en esta temática, con el objetivo de automatizar el proceso de reconocimiento de fallas y cálculo del índice de condición del pavimento desde el registro fotográfico obtenido mediante el módulo de recolección, como producto de este proyecto hasta su posterior procesamiento.
- Guardar en una base de datos un registro compuesto por fotografías del pavimento y las coordenadas que corresponden a cada fotografía. Dicho registro debe cumplir las siguientes especificaciones:

- 1) Debe permitir su publicación en un SIG web para permitir una consulta fotográfica rápida y sencilla de la condición del sector específico del pavimento donde se realizó la captura fotográfica.
- 2) Los datos almacenados están destinados a servir de fuente de información a un sistema de tratamiento de imágenes que evaluará el estado del pavimento.

1.5. Impacto

Este proyecto brinda a las entidades gubernamentales la oportunidad de obtener un conocimiento sobre el estado de las vías y aprovechar las posibilidades que ofrece un sistema semiautomatizado (entre las que resaltan rapidez, escalabilidad, confiabilidad y portabilidad de la información), lo que permite a estas organizaciones desarrollar una mejor planeación respecto a la distribución de recursos destinados al mantenimiento de la malla vial.

La puesta en marcha de este proyecto tiene un impacto positivo para Bucaramanga y su área metropolitana, en donde se llevará a cabo la inspección vial, como primera parte de un estudio del estado actual y evaluación del pavimento de las vías. Eventualmente el producto final puede llegar a tener un impacto departamental o nacional mediante la evaluación de los diferentes corredores viales presentes en el país.

Adicionalmente, la realización de este proyecto significa un soporte para la realización de proyectos basados en el tratamiento de imágenes digitales orientados a la evaluación del estado de los pavimentos aplicando la metodología del índice de condición de pavimentos; lo que representa un paso importante para la automatización de los procesos relacionados con el mantenimiento y la reparación de la malla vial.

1.6. Viabilidad

Antes de desarrollar el sistema propuesto, se realizó un estudio sobre la viabilidad del proyecto con el fin de garantizar su sostenimiento, de acuerdo con las condiciones adversas que puedan presentarse y los recursos técnicos, económicos y operativos disponibles. Este estudio ha sido realizado con base en tres aspectos de viabilidad:

1.6.1. Viabilidad técnica

Gracias a la funcionalidad para el control de dispositivos electrónicos que ofrecen las herramientas software que serán utilizadas en el desarrollo de este proyecto es posible modelar el comportamiento de los componentes del sistema y de esa manera definir el procedimiento indicado para la recolección de la información que será publicada en el SIG web, con el objetivo de apoyar el diagnóstico del estado de pavimentos y la toma de decisiones para el mantenimiento y rehabilitación vial.

El uso del entorno de programación de 'Matlab' y sus complementos (toolboxes) proporciona la funcionalidad requerida por el proyecto, en cuanto a control de dispositivos de adquisición de datos, envío de datos a un servidor remoto, confiabilidad y rendimiento.

Contar con las licencias que posee el grupo de Investigación Geomática para el uso de 'Adobe Flex Builder' y la 'API' de 'ArcGIS', para publicar los datos en un SIG ofrece la oportunidad de usar un entorno altamente robusto, configurable y portable; todas estas características necesarias para el funcionamiento óptimo del sistema y su proceso en el desarrollo de la herramienta.

1.6.2. Viabilidad económica

Según un estudio realizado en el año 2000 por el USA ERDC Construction Engineering Research Laboratory, el costo de usar un sistema automatizado es aproximadamente el mismo o menor que el que se incurre al usar la técnica manual cuando el área evaluada es igual o mayor a 84.000 m²; y además, se consiguieron resultados consistentes con ambos métodos³. Gran parte de los costos que representa la realización de este proyecto, tales como la adquisición de dispositivos electrónicos y el montaje para la toma de datos fueron asumidos por el grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de procesos.

1.6.3. Viabilidad operativa

En el año 2009 se realizó en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana un inventario vial manual sobre el estado de los pavimentos; donde se presentaron complicaciones tales como el cierre de vías y el procesamiento de datos en formato físico, concluyendo que si un estudio manual pudo llevarse a cabo con éxito, un estudio semi-automatizado podrá superar las complicaciones que se presenten para su realización.

Para el desarrollo y la implantación del sistema, se cuenta con la participación de diferentes personas involucradas en los proyectos que realiza el grupo de investigación sobre la evaluación del estado del pavimento. Este grupo de personas trabajando juntas en pro del proyecto propuesto proporciona un ambiente adecuado para la superación de los inconvenientes que puedan presentarse en su transcurso, la adecuada evolución del proyecto (teórica y práctica) y la documentación de avances y bitácoras.

³ Cline, Gregory D., Shanin Mohamed, Burkhalter Jeffrey. *Automated Collection for pavement condition index survey*. USA ERDC Construction Engineering Research Laboratory, 2001, página 4.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.Sistema de posicionamiento global (gps)

2.1.1. Bases y funcionamiento del sistema

El GPS es un sistema de navegación apoyado por un conjunto de satélites que giran alrededor de la Tierra en órbitas predefinidas a una altura aproximada de 20.200 kilómetros puestos en funcionamiento por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, en comunicación constante con una serie de estaciones en tierra firme para compartir datos sobre su estado y posición actual. Mediante el uso de este sistema, el cual es libre de cargos y funciona en cualquier lugar del mundo, puede conocerse la posición geográfica (en longitud, latitud y altura) del lugar en donde se encuentra actualmente el receptor.

Un elemento básico para el funcionamiento de este sistema es el uso de dispositivos precisos para medir el tiempo, puesto que para determinar una posición el GPS mide el tiempo que le toma a las señales de los satélites llegar a los receptores en la Tierra, y estos tiempos son extremadamente cortos; por lo tanto, los satélites que forman parte del sistema de posicionamiento global cuentan con relojes atómicos, y los receptores con otras clases de relojes de alta precisión⁴.

El sistema de posicionamiento global depende de que cada satélite transmita su posición exacta y una muy precisa señal de tiempo a los receptores en la Tierra, con esta información los receptores GPS pueden calcular su distancia al satélite. Combinando la distancia respecto a cuatro satélites un receptor puede calcular su posición exacta usando un proceso llamado trilateración⁵.

⁴ <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN65700.pdf>

⁵ <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/lnova/Archivos/FORMATO-PDF/CAPITULO-10.pdf>

Cuando un receptor en la Tierra capta la señal de un primer satélite y determina la distancia entre ambos significa que el receptor puede estar ubicado en un punto cualquiera dentro de la superficie de la tierra de radio R_1 (Fig. 1).

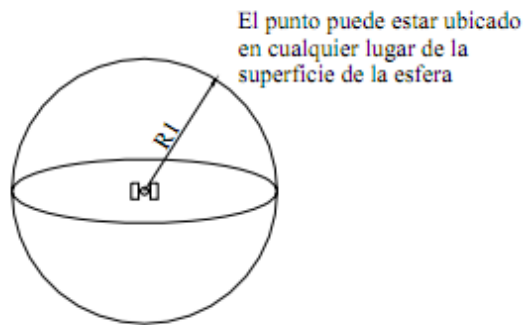


Figura 1: Posicionamiento con un satélite⁶

Si medimos la distancia de un segundo satélite al mismo receptor se generará otra superficie esférica de radio R_2 , la cual al intersectarse con la primera esfera formará un círculo en cuyo perímetro se encuentra el punto que ha de medirse (Fig. 2).

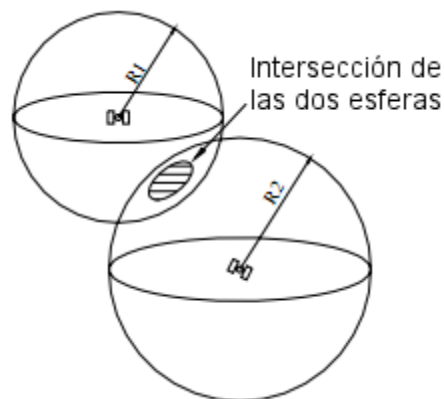


Figura 2: Posicionamiento con dos satélites

⁶ Fuente: Sistema de Posicionamiento global, Leonardo Casanova

Si agregamos una tercera medición, la intersección de la nueva esfera con las dos anteriores se reduce a dos puntos sobre el perímetro del anterior círculo (Fig. 3).

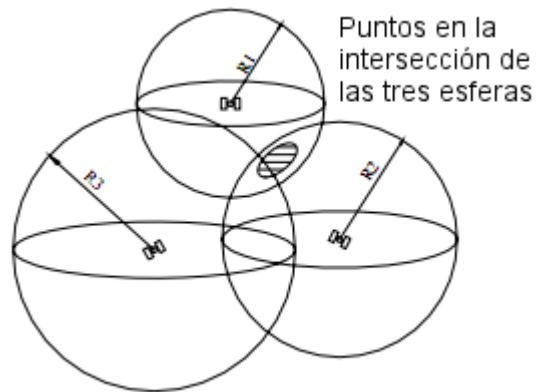


Figura 3: Posicionamiento con tres satélites

Uno de estos dos puntos puede ser descartado por ser una respuesta incoherente, bien sea por estar fuera de espacio o por moverse a una velocidad muy elevada; pero matemáticamente es necesario determinar una cuarta medición respecto a otro satélite a fin de calcular las incógnitas x, y, z y tiempo (Fig. 4).

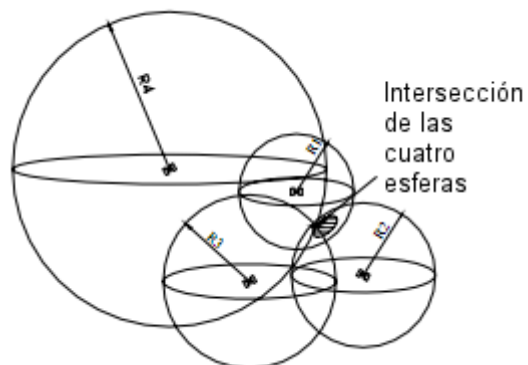


Figura 4: Posicionamiento con cuatro satélites

La distancia de un satélite al receptor se calcula mediante la ecuación de movimiento con velocidad uniforme:

$$D = v * t; \text{ en donde:}$$

D es la distancia en kilómetros entre el satélite y el receptor,

v es la velocidad de la señal de radio, es constante y se aproxima a la velocidad de la luz (300.00 km/s), y

t es el tiempo de viaje de la señal en segundos.

2.1.2. Los navegadores satelitales GPS

Son instrumentos portátiles y del tamaño aproximado de un teléfono celular, cuya función básica consiste en captar señales satelitales y determinar automáticamente las coordenadas del lugar donde se encuentre. Para este fin, el navegador GPS calcula la distancia relativa a cada satélite alcanzable y mediante la triangulación (intersección de tres circunferencias espaciales) determina las coordenadas x , y , z de su posición geográfica y la muestra por medio de un ícono en la interfaz del equipo. Si el dispositivo tiene incorporadas cartas geográficas, el usuario verá su posición en el mapa, a tiempo real. Una característica muy importante de estos dispositivos es que pueden dar información sobre su posición sin que se vea afectada por la visibilidad o las condiciones meteorológicas.

Las funciones más relevantes de un GPS son:

- Obtener las coordenadas de la posición geográfica del operador, en tiempos cortos, a través de la interpretación de señales satelitales captadas por el equipo.
- Almacenar en un sistema de información geográfica distintas regiones geográficas.
- Mostrar en pantalla el mapa del lugar en distintas escalas de acercamiento, refrescando la interfaz a medida que cambia la ubicación geográfica
- Interactuar con un sistema de información geográfica para obtener información de la base de datos, búsqueda de puntos de interés,

localizaciones, navegación, determinación de distancias y áreas, velocidades, etc.

- Al hacer un recorrido, grabar la planimetría⁷, la distancia recorrida, la velocidad máxima y promedio, el tiempo estimado de arribo, etc.

El uso del GPS es gratuito y libre; no requiere ningún trámite ni permiso de uso y no tiene abono ni costo fijo.

2.1.3. Coordenadas geográficas

Cualquier punto sobre la superficie de la Tierra se localiza mediante su latitud y longitud. Las distancias se expresan en unidades de medida angular (grados, minutos y segundos, sexagesimales o en grados decimales).

La latitud representa la posición de un lugar, en dirección norte (positiva) o sur (negativa) con respecto al paralelo del Ecuador. Va desde los 0 hasta los 90 grados, del ecuador hacia los polos.

La longitud representa la posición de un lugar, en dirección este (positiva) u oeste (negativa) con respecto al meridiano de Greenwich. Va desde los 0 hasta los 180 grados, desde Greenwich hacia el este y el oeste. La longitud también puede ir de 0 a 360 grados si se parte desde Greenwich siempre al este.

⁷ *Relación entre las dimensiones reales del terreno representado y las del mapa que lo representa.*
<http://www.senalcamino.es/Conceptos%20basicos%20sobre%20planimetria.pdf>

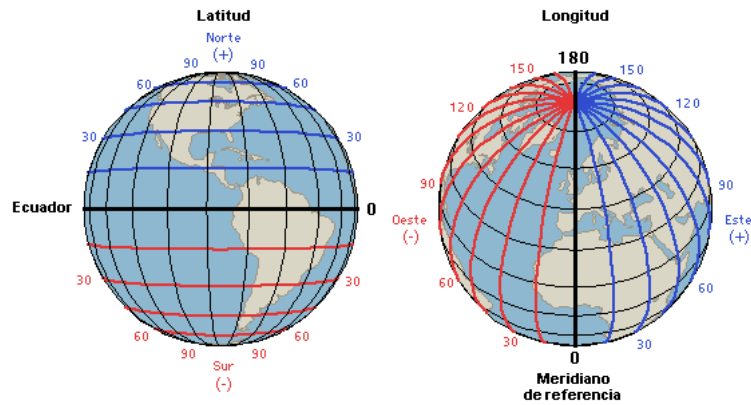


Figura 5: Coordenadas geográficas⁸

2.1.4. Conversión de coordenadas

Debido a que existen diferentes sistemas de coordenadas geográficas cuyo uso varía en las diferentes partes del mundo, es necesario definir claramente los parámetros que definen cada uno de estos sistemas (tales como el semieje menor, semieje mayor, y la constante de achatamiento) con el fin de desarrollar un modelo matemático que pueda transformar las coordenadas de un sistema a otro para de esa manera lograr una integración que permita la interpretación de datos sin importar las diferencias entre los sistemas de referencia usados para ubicar un punto en la Tierra, ya sea en la toma o en la publicación de dicha información.

Una conversión frecuentemente utilizada es la que se hace entre la proyección esférica y la proyección plana, cuya diferencia es su manera de representar la Tierra. En el caso de la proyección esférica, la representación es una esfera dividida en líneas que la cruzan verticalmente con origen y fin en los polos, y líneas paralelas que la cruzan horizontalmente con longitud variable, de acuerdo con su ubicación. En el caso de la proyección plana, la Tierra se

⁸ Fuente: http://almez.pntic.mec.es/~jmac0005/ESO_Geo/TIERRA/Html/Movimientos_b.htm

representa como un mapa dividido en cuadrantes por líneas paralelas horizontales y verticales.

2.2. Servicios web

2.2.1. Conceptos básicos

Los servicios web son aplicaciones que permiten el intercambio de mensajes entre entornos en los que no existe una correspondencia precisa de las plataformas que requieren comunicarse; por ejemplo una aplicación de recolección de datos y una base de datos espacial. Como su nombre lo indica, son utilizados por aplicaciones que de alguna manera tienen que conectarse a Internet para cumplir con su funcionalidad; aunque carecen de alguna manera de la facultad para hacer que los mensajes que sean transmitidos por la web puedan ser entendidos por los entornos destino. Debido a la cantidad de entornos de programación actuales, la creación de un software que pueda manejar mensajes entendibles por cualquier receptor es una tarea compleja, pero a su vez valiosa, por lo que el uso de los servicios web como respuesta a estos desafíos se ha vuelto muy popular en los últimos años.

El término 'servicio web' describe una forma estandarizada de integrar aplicaciones web mediante el uso de protocolos preestablecidos que, en lugar de proveer al usuario con una interfaz gráfica (GUI), comparten la lógica del negocio, los datos y los procesos, por medio de una interfaz de programas a través de la red; es decir, que en lugar de conectar usuarios, conectan programas.⁹

⁹ *Web services. Introducción y escenarios para su uso*
<http://www.moisesdaniel.com/es/wri/wsepsu.pdf>

Entre las ventajas que ofrece el uso de servicios web, están:

- Aportan interoperabilidad entre aplicaciones de software independientemente de sus propiedades o de las plataformas sobre las que se instalen.
- Permiten que servicios y software de diferentes compañías ubicadas en distintos lugares geográficos puedan ser combinados fácilmente para proveer servicios integrales.
- Aportan independencia entre la aplicación que usa el servicio web y el propio servicio, lo que implica que las modificaciones que se hagan en uno no afectan al otro.

2.2.2. Protocolos utilizados por los servicios web

Dentro del funcionamiento de los servicios web, se encuentran cuatro protocolos principales

- XML (Extensible Markup Language): Es un lenguaje de marcas que permite la estructuración de los datos empleados en una o más aplicaciones. Una de sus mayores ventajas es que es un lenguaje que permite al usuario definir todas las estructuras que definen el orden de sus datos.
- SOAP (Simple Object Access Protocol): Protocolo de mensajería basado en XML, que permite la interacción entre diferentes entornos. Este protocolo especifica el formato en que se enviarán datos, que pueden ser transmitidos a través de protocolos como HTTP o SMTP.

- WSDL (Web Services Description Language): Lenguaje especificado en XML que se encarga de definir los servicios web como colecciones de puntos de comunicación capaces de intercambiar mensajes, describir los servicios disponibles y establecer un acuerdo en que se especifica la sintaxis y los protocolos que se usarán para la comunicación entre un cliente y un servidor.
- WS-Security: Es el encargado de la seguridad entre las partes que se comunican y la confidencialidad de los mensajes transmitidos.

2.3.Sistemas de información geográfica

Un sistema de información es un conjunto de componentes interrelacionados que recolectan, procesan, almacenan y distribuyen información para apoyar la toma de decisiones y el análisis de problemas, visualización de asuntos complejos y creación de nuevos productos o procesos.

Un sistema de información geográfica es un conjunto de elementos cuyo objetivo es llevar a cabo tareas de recolección, almacenamiento, manipulación, análisis, medición, transformación y representación de información que tiene una referencia espacial o geográfica.

Los sistemas de información geográfica (SIG) cuentan con una base de datos gráfica con información georreferenciada o de tipo espacial, ligada a una base de datos no gráfica que guarda otros tipos de datos (llamada base de datos descriptiva). Un SIG es un conjunto de procedimientos usados para almacenar y manipular datos geográficamente referenciados, es decir objetos con una ubicación definida bajo un sistema convencional de coordenadas. A dicho objeto se le pueden asignar datos gráficos y datos alfanuméricos. Los datos gráficos describen objetos basados en sus ubicaciones específicas en el mundo real; la representación de un objeto puede ser un punto, una línea o un

polígono. Los datos alfanuméricos corresponden a las descripciones, las calificaciones o las características que determinan los objetos.

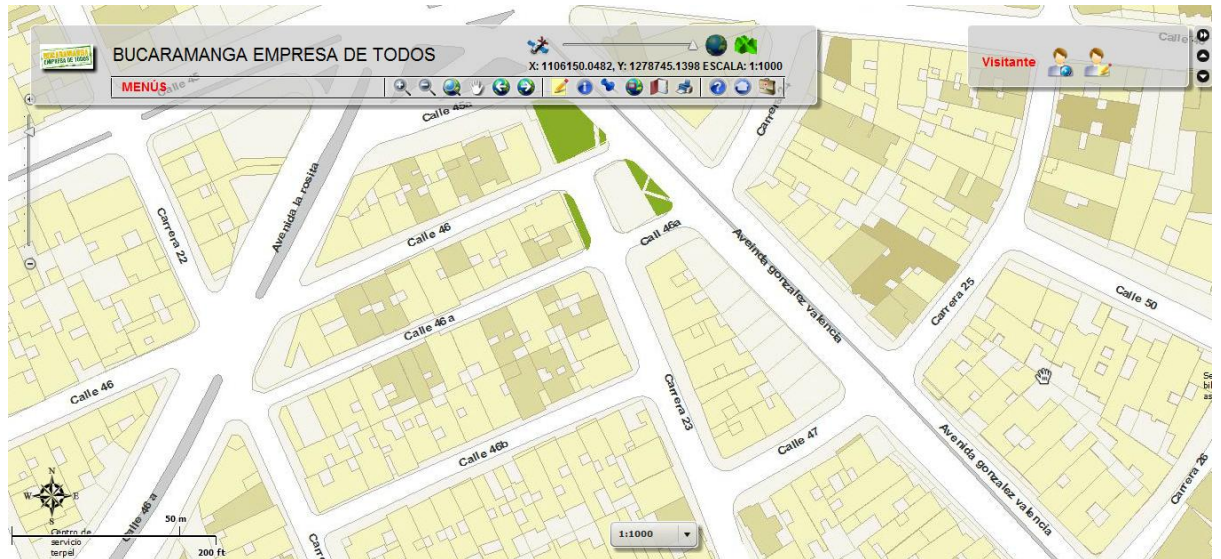


Figura 6: Ejemplo la visualización de un SIG. Observatorio SIG de Bucaramanga Fuente: Propia de los autores.

Generalmente, un solo SIG manipula la información de varios tipos de objetos (carreteras, edificios, semáforos, etc.), así la información debe estar organizada para que la visualización de los datos sea fácil e intuitiva. La solución a esta necesidad de una organización predefinida es agrupar los objetos en “capas” que se superponen unas con otras. Cada capa contiene solo un tipo de objetos y puede ser seleccionada para ser superpuesta sobre las demás con el objetivo de que el usuario se concentre en los datos que agrupa.

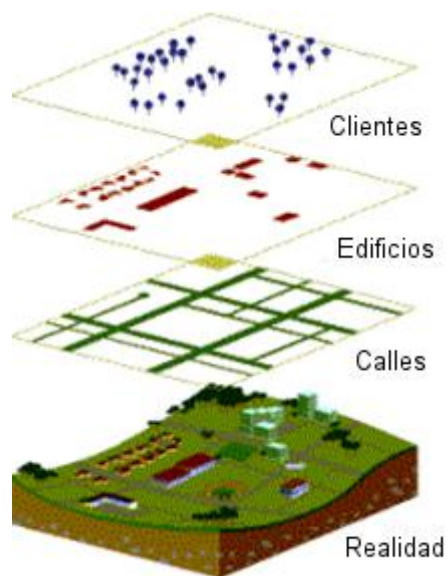


Figura 7: Ejemplo de organización por capas en un SIG.¹⁰

2.3.1. Bases de datos geográficas

Una base de datos geográfica es una entidad de datos organizados de tal manera que sirvan efectivamente para una aplicación de un sistema de información geográfica. Esta base de datos está formada por datos espaciales y datos no espaciales.

Datos espaciales: Son las características geográficas de los objetos descritos (tales como ubicación, dimensión y forma); por ejemplo, los puntos que conforman el perímetro de una población están almacenados en cierto tipo de archivos que interpretan las aplicaciones geográficas.

Datos no espaciales: Son las características cuantitativas asociadas al objeto que se desea describir. Generalmente se almacenan en tablas y se administran

¹⁰ Fuente: <http://www.geoinfo.cl/pdf/sig.pdf>

por algún manejador de bases de datos. También son llamados datos descriptivos.¹¹

La información que compone las bases de datos geográficas forma capas geográficas, que contienen las características geográficas del evento o área que desea modelarse, organizadas en temas para facilitar su acceso. Por ejemplo un SIG puede dividirse en capas de puntos de interés, hidrología y malla vial. Cada capa se almacena en tablas separadas que almacenan un tipo de elemento (punto, línea o polígono).

Una entidad es la representación digital del componente descriptivo de un rasgo geográfico. Se le asigna un nombre para distinguirla de otras entidades. La representación geométrica constituye la representación digital del componente espacial de un rasgo geográfico. Una base de datos geográfica soporta tres tipos de representación geométrica: punto, línea y área. Cada entidad puede estar asociada con distintos tipos de representación geométrica.

Las ventajas que implica usar una base de datos geográfica son:

- Reducción en la redundancia de los datos
- Mantenimiento de la calidad y la integridad de los datos
- Los datos son consistentes.
- Se reduce el costo de desarrollo del software
- Se cuenta con restricciones de seguridad

La principal desventaja del uso de una base de datos geográfica es la dificultad que supone el mantenimiento de los datos espaciales y otros componentes geográficos. Combinada con la facilidad y la rapidez con la que cambian en la vida real los objetos representados implica que en ocasiones sea mejor adquirir una nueva cartografía que actualizar los datos.

¹¹ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/morales_x_a/capitulo2.pdf

2.4. Arquitectura del sistema

Un paso clave en el proceso de construcción de un sistema de información geográfica (y cualquier sistema de información) es la definición de una arquitectura del sistema que defina los componentes que conforman el sistema que ha de desarrollarse y las relaciones entre ellos, con el fin de establecer un proceso adecuado para el desarrollo de los componentes y documentar de la manera adecuada las tareas llevadas a cabo en las fases de diseño, análisis, desarrollo, implementación y actualización del sistema. En conclusión, la arquitectura del sistema forma la columna vertebral para construir un SIG.

La arquitectura de un sistema informático se define como la disposición conjunta y ordenada de elementos de software y hardware para cumplir una determinada función.

Establecer una arquitectura de software consiste en:

- Definir los módulos que conforman el sistema y sus responsabilidades.
- Definir la interacción que habrá entre dichos módulos.
- Controlar el flujo de datos.
- Establecer protocolos de interacción y comunicación.

Elegir la arquitectura de software adecuada para el proyecto que será llevado a cabo es el primer paso para construir una arquitectura de software. Los principales estilos de arquitectura actualmente son:

2.4.1. Arquitectura cliente-servidor

Se concentra en la escalabilidad, es decir, en permitir que la adición de nuevos componentes o funcionalidades al sistema sea una tarea sencilla y que no afecte a gran escala el funcionamiento del sistema. Cada elemento que se

añade al flujo de datos es cliente o servidor. Un cliente envía peticiones; por tanto es el que decide el flujo de los eventos, y espera una respuesta. Un servidor actúa de manera pasiva, es decir, que solo espera peticiones, que procesa cuando son recibidas con el fin de enviar una respuesta, y puede conservar o no el estado de la comunicación. En este modelo de arquitectura las aplicaciones se dividen de forma que el servidor contiene la parte que debe ser compartida por varios usuarios, y en el cliente permanece solo lo particular de cada usuario.

Entre las principales características de este estilo de arquitectura se encuentran:

- El cliente interactúa con el usuario (manejo de interfaces y presentación de la información), y el servidor con los recursos compartidos (motor de software que maneja recursos tales como bases de datos).
- Las tareas del cliente y del servidor tienen diferentes requerimientos en cuanto a recursos de cómputo, lo que proporciona libertad para elegir un ambiente de procesamiento heterogéneo entre clientes y servidores.
- Existe una clara definición de funciones basada en el concepto de “servicio” establecida entre clientes y servidores.
- La única relación entre clientes y servidores es la establecida a través del intercambio de mensajes entre ambos.

Una variación es la “arquitectura de tres capas”, que ingresa un nuevo elemento, la base de datos (capa de datos), que guarda la información y es accedida por el servidor (capa de negociación) una vez el cliente (capa de presentación) realiza una petición sobre dicha información.

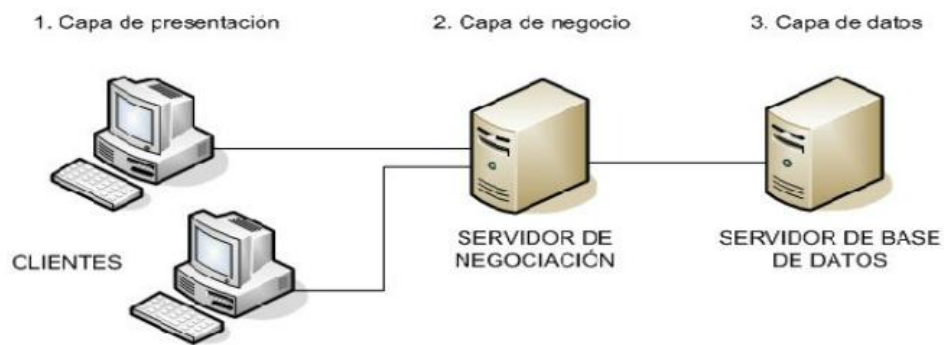


Figura 8: Arquitectura de tres capas.¹²

- La capa de presentación muestra la información y acopia las decisiones del usuario mediante la interfaz. Se comunica únicamente con la capa de negocio.
- La capa de negocio recibe las solicitudes del usuario y envía las respuestas tras el proceso. Cuenta con la funcionalidad necesaria para implementar las reglas del negocio.
- La capa de datos consta de uno o más gestores de bases de datos que realizan todo el almacenamiento y el acceso a la información. Recibe solicitudes de almacenamiento o recuperación de la información desde la capa de negocios.

2.4.2. Arquitectura de tres capas para la web

Consiste en un modelo de arquitectura del software, basado en el modelo de tres capas y adaptado para las aplicaciones web. Cuenta con ciertas características que lo diferencian de otros modelos de arquitectura, tales como:

- Separación entre los datos y los servicios
- Es fácil separar los datos de la lógica del negocio
- El cliente recibe la información de forma indirecta a través del servidor

¹² Fuente: <http://www.slideshare.net/Decimo/arquitectura-3-capas>

- En la capa de presentación se encuentra el navegador que permite visualizar la página web y se comunica con el servidor web y a su vez con el servidor de aplicaciones para conformar la lógica de negocios, y posteriormente se accede a la base de datos
- Los servidores de aplicaciones actúan como enlaces lógicos entre los servidores web y los servidores de bases de datos que liberan a los segundos de la lógica de las reglas del negocio.
- Se fomenta la escalabilidad del sistema, la seguridad y la reutilización de código

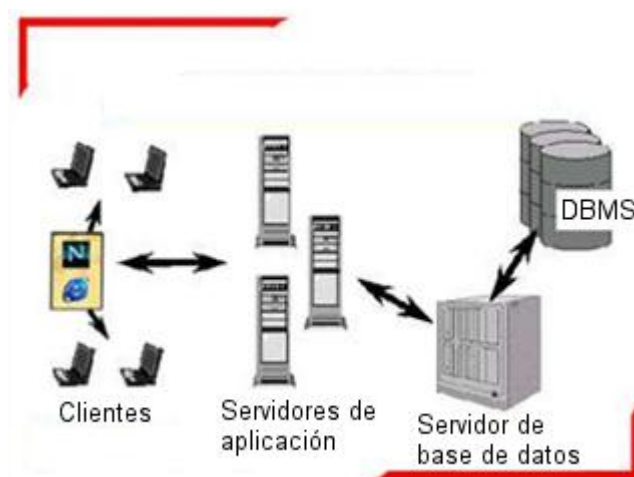


Figura 9: Arquitectura de tres capas para la web. ¹³

2.5. Ingeniería del software

Es la aplicación de un enfoque ordenado, sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento de software mediante el uso de herramientas y técnicas necesarias para resolver el problema planteado, de acuerdo con las restricciones de desarrollo, los recursos disponibles y las especificaciones de las partes interesadas en el proyecto.

¹³ Fuente: <http://www.managininf.com/arquitectura.pdf>

La ingeniería del software tiene varios campos de acción en común con áreas ajenas a la computación; por ejemplo, con la gestión de proyectos comparte líneas de acción tales como evaluación de costos, delegación de responsabilidades, elaboración de cronogramas y revisión de su cumplimiento, etc.

2.5.1. Modelos de desarrollo software

Los modelos de desarrollo software definen criterios específicos para la realización de cada una de las fases del desarrollo de un proyecto software que permiten detectar y corregir los errores en el momento de desarrollar o ejecutar el sistema.

Hay diferentes modelos para definir el proceso de desarrollo de un proyecto software, y de acuerdo con el modelo y la metodología escogidos para elaborar un sistema, se adaptan los parámetros con base en los requisitos del proyecto. La utilización de modelos actúa como una guía de ayuda para planificar cada una de las fases y estimar los recursos, los costos y los alcances del sistema.

2.5.1.1. Modelo del proceso unificado de Rational

Denominado como RUP por sus siglas en inglés (Rational Unified Process) y por su historia¹⁴. Es un modelo de desarrollo de software que permite trabajo a gran escala, mediante un proceso continuo de pruebas y retroalimentación con el fin de cumplir los estándares de calidad definidos. Este proceso construye un marco metodológico que define cada fase de desarrollo en términos de metas estratégicas, objetivos, actividades y documentación. Tiene tres características esenciales:

¹⁴ Fue concebido en la empresa "Rational Software" por Grady Booch, Ivar Jacobson y James Rumbaugh en 1998

- Es un proceso dirigido por casos de uso:

Los casos de uso dejan de ser solo una herramienta para especificar los requisitos del sistema y pasan a guiar su diseño, su implementación y su prueba, constituyendo de esta manera un elemento integrador y una guía del trabajo.

Los casos de uso proporcionan un hilo conductor que permite establecer trazabilidad entre los artefactos¹⁵ generados en las actividades de diferentes fases del proceso de desarrollo.

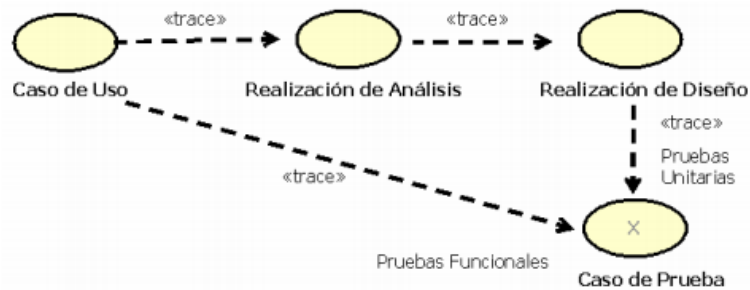


Figura 10: Trazabilidad brindada por los casos de uso en el RUP.¹⁶

- Es un proceso centrado en la arquitectura:

La arquitectura involucra los aspectos estáticos y dinámicos más significativos del sistema; está relacionada con la toma de decisiones que indican cómo tiene que ser construido el sistema. El modelo RUP presta especial atención al establecimiento temprano de una buena arquitectura que no se vea afectada ante cambios posteriores durante la construcción y el mantenimiento del sistema. Existe una interacción entre los casos de uso y la arquitectura; los casos de uso deben encajar en la arquitectura cuando se llevan a cabo y la arquitectura debe permitir el desarrollo de todos los casos de uso que han sido y serán requeridos; lo que implica que ambos deben evolucionar en paralelo durante todo el proceso de desarrollo del software. La arquitectura empieza con una

¹⁵ Son los productos resultados de las actividades, pueden ser documentos o herramientas software

¹⁶ <http://www.utim.edu.mx/~mgarcia/DOCUMENTO/ADSI2/RUP.pdf>

“baseline” (piedra angular) que se va consolidando en las primeras fases del proyecto y se va modificando hasta convertirse en una arquitectura robusta.

- Es un proceso iterativo e incremental:

El trabajo se divide en partes más pequeñas que permiten el equilibrio entre casos de uso y arquitectura, cada una de los cuales puede verse como una iteración (un recorrido a lo largo de los flujos de trabajo fundamentales) de que se obtiene un incremento que produce un crecimiento del producto. Una iteración consta de su propia planificación, análisis, actividades específicas a la fase y una integración con los resultados de las iteraciones anteriores.

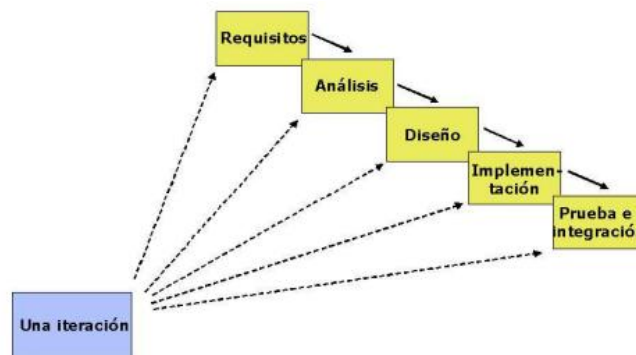


Figura 11: Flujos fundamentales de trabajo en cada iteración del modelo RUP. ¹⁷

Este modelo divide el proceso de desarrollo en cuatro fases, cada una de las cuales se divide en iteraciones:

- Inicio: Definir el alcance del proyecto.
- Elaboración: Planificar el proyecto, elaborar una arquitectura base.
- Construcción: Construir el sistema.
- Transición: Entregar el sistema a los usuarios.

¹⁷ Fuente: <http://www.utim.edu.mx/~mgarcia/DOCUMENTO/ADS12/RUP.pdf>

El siguiente gráfico indica las diferentes disciplinas de la metodología RUP y el esfuerzo recomendado que debe aplicarse a cada una de ellas en cada fase:

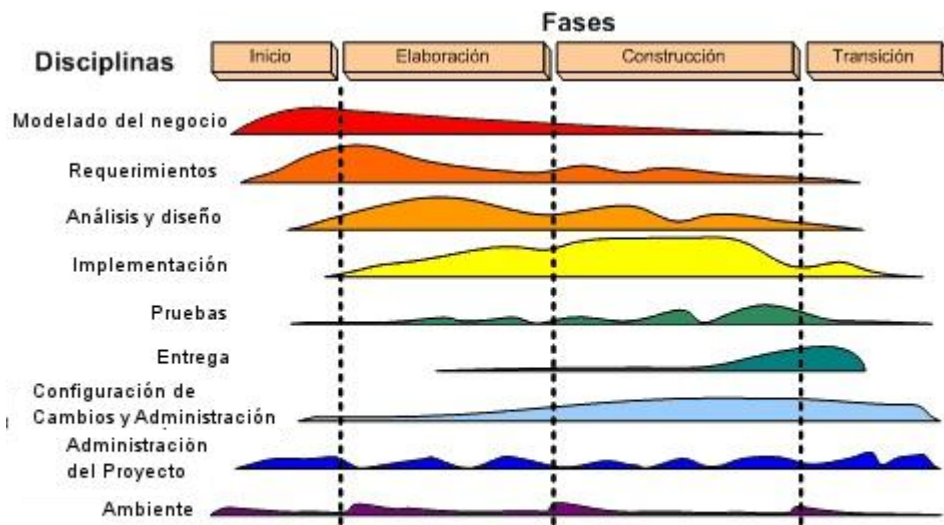


Figura 12: Esfuerzo recomendado en cada disciplina según la fase actual por la metodología RUP. ¹⁸

- En la fase de inicio, el modelo recomienda poner mayor énfasis en las actividades de modelado del negocio y de requisitos.
- Durante la fase de elaboración, el esfuerzo de cada iteración se orienta al desarrollo de la “baseline” de la arquitectura, requerimientos, refinamiento del modelo de negocios, análisis, diseño.
- Durante de construcción, se lleva a cabo la construcción del producto mediante el refinamiento de los requerimientos, se seleccionan algunos casos de uso para cada iteración y se refinan su análisis y diseño; posteriormente, se procede a su implementación y sus pruebas.
- En la fase de transición los esfuerzos se concentran en realizar al producto los cambios necesarios una vez ha sido probado por los usuarios.

¹⁸ Fuente: <http://consolida-it.com/marco.htm>

2.6.Lenguajes de programación utilizados

Los lenguajes de programación son idiomas artificiales que traducen las intenciones de los seres humanos con el fin de que los procesadores realicen las operaciones necesarias para llevar a cabo las tareas encomendadas por los usuarios.

Un lenguaje de programación permite especificar sobre qué datos debe operar una computadora, cómo almacenar o transmitir estos datos y qué acciones debe tomar bajo una variada gama de circunstancias.

Un lenguaje de programación consta de:

- Un conjunto finito de símbolos, denominado 'léxico' o vocabulario del lenguaje.
- Un conjunto finito de reglas, la gramática del lenguaje, para la construcción de las sentencias 'correctas' del lenguaje, denominado 'sintaxis'.
- Un significado (la acción que debe llevarse a cabo) a cada posible construcción del lenguaje, denominado 'semántica'.

Existen muchas alternativas de lenguajes de programación cuyas características parecen adecuadas para ser la base de un componente software en proceso de desarrollo, pero todos los lenguajes de programación se diferencian en varios aspectos y ofrecen diferentes ventajas de confiabilidad, compatibilidad, funcionalidad, eficiencia, costos y otros factores que pueden ser determinantes en el éxito del proyecto, por lo que la decisión del lenguaje de programación es un momento clave en el desarrollo del proyecto. En el siguiente ítem se expone los lenguajes y entornos de desarrollo utilizados.

2.6.1. Adobe Flash Builder

Es un entorno de desarrollo integrado, escrito destinado a la codificación de aplicaciones de Internet enriquecidas (RIA por sus siglas en inglés) y aplicaciones de escritorio multiplataforma ejecutadas mediante AIR (Adobe Integrated Runtime).

Está construido con base en eclipse, un ambiente de desarrollo integrado de código libre, y provee las herramientas necesarias para desarrollar aplicaciones basadas en la web con un alto nivel de interacción con el usuario.

Las aplicaciones ricas de Internet son la nueva generación de aplicaciones web cuyo principal centro de atención es la interacción con el usuario. Estas aplicaciones son capaces de acortar la brecha entre las aplicaciones web y las de escritorio mediante los resultados positivos en interacción, velocidad y flexibilidad. Solo se produce comunicación con el servidor cuando los datos son requeridos o cuando se necesitan datos externos. Las principales ventajas que brindan las aplicaciones ricas de Internet son:

- Interfaces más intuitivas
- Aplicaciones más cercanas a las de escritorio
- Flujos de trabajo más dinámicos
- El nivel de interacción con el usuario aumenta considerablemente
- Mayor rapidez en cada operación del usuario
- Se eliminan parcialmente las recargas de página
- Las aplicaciones pueden correr en una variada gama de plataformas

2.6.1.1. ArcGISViewer

Es una aplicación diseñada para la visualización de mapas lista para su uso con servicios precargados, además de ofrecer una interfaz sencilla, dinámica y agradable. Es altamente configurable, así que agregarle datos y herramientas

propias es una tarea viable y sencilla. Su funcionalidad puede ser extendida con módulos personalizados creados con la API (Application programming interface) de ArcGIS para cumplir con los requerimientos y las necesidades del sistema de información geográfica. Todo lo anterior convierte al ArcGISViewer en un candidato potencial en el momento de decidir la interfaz mediante la cual un sistema de información geográfica se comunica con el usuario final.

2.6.2. Matlab

Su nombre viene de la abreviatura de “matriz laboratory”. Es al mismo tiempo un entorno y un lenguaje de programación de alto rendimiento para cálculos técnicos. Permite crear programas complejos y funciones personalizadas cuenta a través de un editor, que guarda las funciones y programas creados por el usuario como M-archivos con el fin de permitir su reutilización.

Matlab cuenta con un número considerable de componentes desarrollados por ‘Mathworks’ organizados de acuerdo con su funcionalidad en paquetes llamados ‘toolbox’, de los cuales algunos son distribuidos a los usuarios de Matlab, precargándolos en la instalación por defecto. Algunos ejemplos de ‘toolbox’ son:

- Bioinformatics
- Image processing
- Neuronal networks
- Image acquisition
- Data acquisition

Para el desarrollo de este proyecto, es de especial interés el ‘toolbox’ de ‘Image acquisition’, debido a que ofrece la funcionalidad para controlar un dispositivo de registro de imágenes desde una interfaz de usuario.

2.6.2.1. *Toolbox de adquisición de imágenes*

Es un conjunto de herramientas software que permite que una aplicación desarrollada en Matlab obtenga imágenes y video desde los dispositivos de registro correspondientes. Posibilita detectar automáticamente estos dispositivos, configurar sus propiedades y controlar su comportamiento.

Este 'toolbox' simplifica el proceso de adquisición de imágenes gracias a que provee una interfaz consistente a través de múltiples sistemas operativos, dispositivos hardware y fabricantes, lo que permite el uso de una variada gama de dispositivos, desde económicas cámaras web hasta dispositivos industriales que cumplen exigentes requerimientos en cuanto a desempeño y resolución.

Características clave:

- Soporte para estándares industriales, incluyendo *DCAM*, *Camera Link* y *GigE Vision*.
- Soporte para interfaces para cámaras web comunes, incluyendo *Direct Show*, *QuickTime* y *video4linux2*¹⁹.
- Soporte para una gama de fabricantes de hardware industrial y científico.
- Múltiples modos de adquisición y opciones de administración de *buffer*.
- Sincronización de dispositivos de adquisición multimodales con disparador hardware.
- Herramienta interactiva para rápida configuración del hardware, adquisición de imágenes y vista previa del video.

A continuación se mencionan los estándares industriales o fabricantes que soporta el toolbox en cuestión y el cual ofrece soporte para la comunicación con los dispositivos electrónicos.²⁰

¹⁹ Estos son los estándares de video por defecto para Microsoft, Apple y Linux respectivamente

²⁰ Información obtenida de <http://www.mathworks.com/products/imaq/supportedio.html>

ESTÁNDARES:

- ✓ Análogo
- ✓ Camera Link
- ✓ DCAM compatible con cámaras Fireware (IIDC 1394)
- ✓ GigE Vision
- ✓ Interfaces genéricas (cámaras web)

FABRICANTES:

- ✓ Adimec
- ✓ Allied Vision Technologies
- ✓ Basler
- ✓ Baumer
- ✓ Cohu
- ✓ DALSA
- ✓ FLIR
- ✓ GEViCAM
- ✓ Hamamatsu
- ✓ Hitachi
- ✓ Imperx
- ✓ JAI
- ✓ Leutron
- ✓ Lumenera
- ✓ Matrix Vision
- ✓ PixeLINK
- ✓ Point Grey
- ✓ QImaging
- ✓ Sony
- ✓ Toshiba Teli
- ✓ VRmagic

2.7. Sistemas automatizados para la detección de fallas en pavimentos

El vehículo de toma de datos usualmente cuenta con una o más cámaras boca abajo y en ocasiones una cámara apuntando hacia adelante para cubrir esta perspectiva. Las cámaras pueden usar iluminación especial para reducir las sombras que cubran las características de las fallas. Para evitar los efectos negativos sobre el estudio que causan las sombras en el pavimento suelen usarse tomas de datos nocturnas con iluminación infrarroja o tomas de datos diurnas apoyadas por poderosos faros alógenos de emisión continua. En ocasiones, el algoritmo de detección también puede ser el encargado de minimizar los errores a los que conducen las sombras en la imagen obtenida.

Las imágenes tomadas son digitales debido a las ventajas que presentan al ser comparadas con sus contrapartes análogas; tales como la posibilidad de obtener información sobre las fallas con métodos automatizados y la disponibilidad de acceso aleatorio a los datos, además su representación en blanco y negro permite analizar variaciones en la escala de grises, relacionadas con algunas características de las fallas en pavimentos.



Figura 13: Ejemplo de un vehículo para la toma automatizada de datos. Sistema propio de ROADEX.²¹

²¹ Fuente: <http://www.roadex.org/index.php/permanent4>

Actualmente, hay dos métodos utilizados para tomar datos de la superficie del pavimento a través de cámaras digitales. Estos dos métodos son conocidos como “escaneo por área” y “escaneo por línea”

El método “escaneo por área” es aquel en que una imagen de miles de pixeles corresponde a un área definida del pavimento, usualmente de un ancho de uno o dos carriles y una longitud de tres a cinco metros, de acuerdo con las características de la cámara (lentes, ángulo, posicionamiento y resolución) y la velocidad del vehículo. El ángulo de la cámara es de suma importancia, debido a que algunos pixeles se distorsionarán si la cámara no es perpendicular a la superficie del pavimento. Este método usa un vector bidimensional de pixeles en una secuencia convencional de disparos de lente.

El método de escaneo por línea usa una única línea de pixeles sensores (de una sola dimensión) para construir una imagen en dos dimensiones. La segunda dimensión resulta del movimiento del objeto del que se está haciendo la imagen con una velocidad de traslación y de captura constante. Las imágenes en dos dimensiones son adquiridas línea por línea por escaneos sucesivos en línea, mientras el objeto se mueve perpendicularmente a través de la línea de pixeles en el sensor de imágenes, lo que implica que este método es empleado a través del registro de una serie de líneas transversales iguales de anchas al pavimento, que son juntadas para formar una imagen continua o discontinua a intervalos definidos por el usuario.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Tabla 1: Actividades llevadas a cabo para el desarrollo del sistema.

Disciplinas	Fases			
	Inicio	Elaboración	Construcción	Transición
Modelado del negocio	Definición del sistema	Modelado del comportamiento del sistema		
Requerimientos	Especificación de requerimientos	Refinamiento de los requerimientos		
Análisis y diseño	Documentación de los casos de uso	Establecimiento de la arquitectura del sistema	Refinamiento de la arquitectura del sistema	
Codificación		Diseño de las interfaces y desarrollo de los primeros módulos	Desarrollo de la totalidad de los módulos	Aplicación de ajustes a los módulos
Pruebas		Prueba unitaria de los primeros módulos	Prueba de todos los módulos y del sistema	Pruebas en condiciones reales
Instalación		Reuniones de presentación de avances	Presentación de la funcionalidad del sistema	Entrega final del sistema

La metodología determina las fases necesarias para el desarrollo del proyecto, define las herramientas, los modelos y los métodos a utilizar en cada una de las fases y controla el progreso de la construcción del software. Todo esto implica que la elección de una metodología adecuada es el primer paso hacia el desarrollo de un software robusto, confiable, propicio para su entorno y que cuente con las funcionalidades y especificaciones de los usuarios finales.

Para el desarrollo del proyecto propuesto se ha seleccionado la metodología RUP (Proceso Racional Unificado) [ÍTEM 2.5.1.1], el cual es un conjunto de técnicas adaptables al contexto y necesidades de cada proyecto. Es necesario destacar que esta metodología será aplicada al desarrollo de todo el sistema propuesto. La versatilidad de la metodología RUP permite configurarla y adaptarla a las necesidades del proyecto, haciendo posible una reestructuración de las actividades que la componen, acomodándolas a un desarrollo centrado en el diseño y puesta en marcha de un sistema para el control de dispositivos electrónicos encargados de la recolección de datos y su publicación web.

Las fases de desarrollo que componen el modelo RUP son:

- Inicio
- Elaboración
- Construcción
- Transición

El desarrollo del software se compone en seis disciplinas, cuya participación varía en cada fase. Estas disciplinas son:

- Modelado del negocio
- Requerimientos
- Análisis y diseño
- Codificación
- Prueba
- Instalación

4. DESARROLLO

El proceso de desarrollo del sistema propuesto fue dividido en 4 fases: Inicio, elaboración, construcción y transición. Cada una de estas etapas se centra en diferente medida en cada aspecto del desarrollo del sistema, y cada aspecto representa una disciplina, que se compone de varias actividades que deben ser llevadas a cabo en el transcurso del proyecto.

4.1. Fase de inicio

El objetivo de esta fase es definir una base para cumplir con las etapas, especificando claramente el alcance y las funcionalidades que debe incluir el proyecto. Las actividades a realizar durante esta fase corresponden en la mayor parte a las disciplinas de Modelado del negocio y requerimientos.

El sistema contará con un computador portátil que ejecute la aplicación, un dispositivo de recolección de imágenes, un navegador GPS y las herramientas software necesarias para permitir, administrar y procesar el flujo de datos entre estos tres dispositivos, lo que permite al sistema extraer datos de la realidad mediante un proceso semi-automatizado.

Definición de los requerimientos del sistema:

El sistema creado para la captura, georreferenciación y publicación de imágenes digitales del pavimento de vías urbanas debe contar con las siguientes funcionalidades:

- ✓ Administrar una base de datos del servidor en la cual sean almacenados los datos que van a ser presentados y los que corresponden a los usuarios habilitados para interactuar con el sistema.

- ✓ Tener acceso a una base de datos en el equipo de toma de datos que permita ingresar al sistema y guardar los datos aun cuando no se cuenta con una conexión a Internet.
- ✓ Controlar mediante una herramienta software los dispositivos para el registro de imágenes y dispararlo cuando sea requerido.
- ✓ Controlar desde la misma herramienta un dispositivo GPS con la finalidad de obtener las coordenadas geográficas del punto en el cual se toma el registro fotográfico al momento de disparar el dispositivo.
- ✓ Una vez el registro fotográfico es capturado, el usuario puede ingresar datos adicionales sobre las fallas que identifique en la imagen que se le presenta para alimentar al sistema con mayor información sobre los elementos que aparecen en la imagen.
- ✓ Implementar un módulo en el SIG web del Área Metropolitana de Bucaramanga que permita presentar una capa de puntos cuya localización se base en las coordenadas obtenidas por el navegador GPS durante el levantamiento de datos y al ser seleccionado un punto despliegue el registro fotográfico correspondiente.

Adicionalmente, el sistema debe contar con las siguientes características no funcionales:

- ✓ Ofrecer seguridad e integridad de la información mediante la implementación de permisos de acceso al sistema y a cierta funcionalidad.
- ✓ Brindar la opción al usuario de modificar la configuración del dispositivo que registra imágenes una vez iniciada la aplicación según sea requerido de acuerdo a las consideraciones del personal de campo para mejorar la calidad del registro fotográfico.
- ✓ Contar con un comportamiento flexible dependiendo de la disponibilidad de conexión a Internet durante el levantamiento de datos.
- ✓ Permitir el ingreso de usuarios a la aplicación de levantamiento de datos aún si no se cuenta con una conexión a Internet, mediante la

actualización de uno o varios registros de usuarios de la base de datos del servidor a la base de datos local.

- ✓ Presentar la información a través de la web.

Definición del nombre del sistema desarrollado:

SIRPAIPAV (Sistema para la recolección, publicación y análisis de imágenes del estado del pavimento)

4.2. Fase de elaboración

Durante esta fase el modelo RUP recomienda centrar los esfuerzos en las disciplinas de requerimientos, análisis y diseño e implementación. El refinamiento de los requerimientos fue ya consolidado en la lista de requerimientos presente en la fase anterior, por lo tanto esta fase se centrará en realizar los diagramas que definen la arquitectura del sistema y realizar una aproximación a la misma desde varios aspectos.

Los diagramas UML son una herramienta de gran ayuda a la definición de una arquitectura del software debido a su capacidad de representar el comportamiento de un sistema y las interacciones entre sus componentes.

4.2.1. Casos de uso

Los casos de uso sirven para realizar la documentación de un sistema desde el punto de vista del usuario. Se concentran en las funcionalidades que el sistema ofrece y sus relaciones entre ellas y con los diferentes tipos de usuarios. Por su facilidad de interpretación es muy recomendable utilizarlos para comunicarse con el cliente.

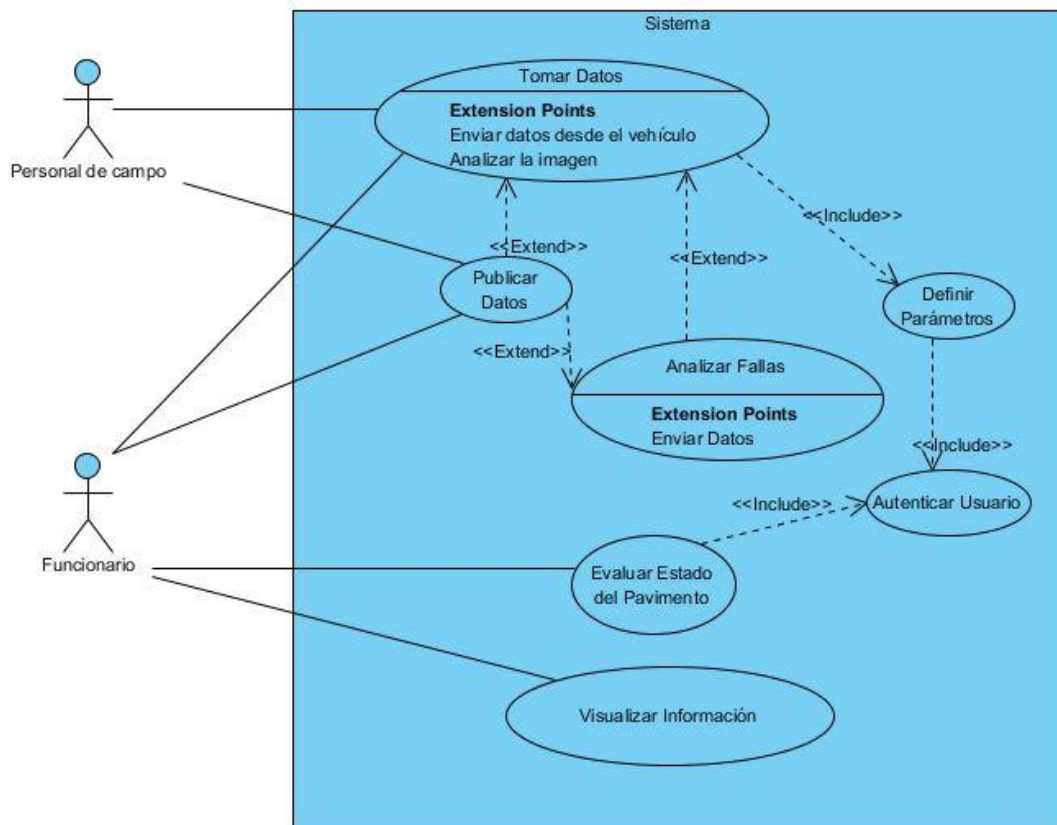


Figura 14: Diagrama de casos de uso. Fuente: Autoría propia

Descripción de los actores:

ACTOR(ES)	
Actor:	Personal de campo o auxiliar
Casos de Uso:	Tomar Datos, Publicar Datos, Definir Parámetros, Autenticar Usuario.
Tipo:	Primario
Descripción:	Actor cuyas funciones se resumen en iniciar, realizar la recolección de fotografías y enviar los datos hacia el servidor. Hace parte de la comisión para el levantamiento de la información en campo

Actor:	Funcionario
Casos de Uso:	Visualizar Información, Tomar Datos, Publicar Datos, Analizar Fallas, Definir Parámetros, Publicar Datos.
Tipo:	Primario
Descripción:	Es un actor que aparte de las funciones propias del personal de campo alimenta el sistema con características sobre las fallas que encuentre en las imágenes tomadas y lo utiliza con el fin de consultar la información guardada en el servidor mediante el widget del SIG web. Puede ser administrador, supervisor o especialista.

Especificaciones de casos de uso

Caso de Uso:	Autenticar Usuario.
Actor(es):	Personal de campo, Funcionario, base de datos local, base de datos del servidor.
Descripción:	Este caso de uso permite al usuario ingresar al sistema siempre y cuando se identifique con datos válidos de acuerdo con los datos presentes en la base de datos del servidor.
Precondición(es):	Ninguna.
Flujo Principal:	Se presenta al usuario primera interfaz del sistema, se le solicita el nombre de usuario y la contraseña, y al recibir el clic en el botón de ingresar, los revisa con la base de datos correspondiente dependiendo de si el sistema cuenta con una conexión a Internet (S-1) o no (S-2), decidiendo en base al

	<p>resultado el acceso al sistema o su denegación. Si el acceso es otorgado, el sistema guarda los datos correspondientes al usuario en la base de datos local. La interfaz de usuario cuenta con la funcionalidad de restauración para dejar en blanco los campos solicitados (S-3).</p>
Pos-condición(es):	<p>El acceso al sistema es otorgado o denegado.</p>
Sub-flujos:	<p>(S-1)El sistema está conectado a Internet</p> <p>El software verifica los datos ingresados por el usuario con los presentes en la base de datos del servidor, si el acceso es concedido y el usuario aún no ha sido guardado en la base de datos local entonces se sincronizan los datos obtenidos de la base de datos del servidor y guardados en la base de datos local.</p> <p>(S-2) El sistema no está conectado a Internet</p> <p>El software busca el nombre usuario y la contraseña en la base de datos local, en lugar de buscarlos en la base de datos del servidor.</p> <p>(S-3)Limpiar campos</p> <p>La información que el usuario haya llenado en los campos de login y contraseña será borrada y estos serán restablecidos a campos en blanco.</p>
Excepciones:	<p>(E-1) información incompleta</p> <p>Se le notifica al usuario que la información que ha ingresado no está completa y debe ingresar los datos en los campos faltantes.</p>

Caso de Uso:	Definir Parámetros.
Actor(es):	Personal de campo, Funcionario, base de datos local, base de datos del servidor.
Descripción:	Permite que el usuario modifique la configuración de los dispositivos de captura según su criterio con el fin de obtener una toma de datos personalizada.
Precondición(es):	Se debe haber ejecutado con anterioridad el caso de uso autenticar usuario.
Flujo Principal:	Se le presenta al usuario el conjunto de parámetros configurables del dispositivo de captura de imágenes, cada uno con su respectiva lista desplegable conteniendo los posibles valores que puede tomar. En la misma interfaz se presenta una lista desplegable de los puertos en los cuales puede estar conectado el navegador GPS; cuando este valor cambia, el caso de uso revisa la conexión con el navegador para habilitar o deshabilitar el progreso, y por último se le presenta al usuario la opción de elegir si quiere trabajar conectado (S-1) o no(S-2) a la red, siempre y cuando exista la posibilidad.
Pos-condición(es):	La configuración seleccionada es guardada.
Sub-flujos:	(S-1) Trabajar con conexión a Internet El sistema enviará los datos a la base de datos del servidor en el momento de recolectarlos. Se ejecuta el caso de uso "Tomar datos". (S-2) Trabajar sin conexión a Internet El sistema guardará los datos en la base de datos local. Se

	ejecuta el caso de uso "Tomar datos".
Excepciones:	Ninguna

Caso de Uso:	Tomar Datos.
Actor(es):	Personal de campo, Funcionario, base de datos local, base de datos del servidor.
Descripción:	Se encarga de permitir la creación de una nueva sesión de levantamiento de datos a la cual será asociada la información recolectada, proporcionar al usuario un control sobre el comportamiento de los dispositivos de captura de datos para disparar sus respectivos procedimientos de adquisición de datos en el momento requerido, interpretar los datos recibidos y prepararlos para ser utilizados en el sistema.
Precondición(es):	Se debe haber ejecutado con anterioridad el caso de uso autenticar usuario y configurado correctamente los dispositivos.
Flujo Principal:	Se le muestra una interfaz al usuario en la que se le solicita llenar información sobre el levantamiento de datos (salida de campo) y sus respectivas unidades de muestra para poder iniciar la toma de datos. Una vez la muestra y el levantamiento de datos han sido creados se despliega una pantalla dividida en dos partes, una de las cuales muestra la configuración definida para el levantamiento de datos que permite realizar cambios en los parámetros (S-1), la otra parte se compone de una ventana que muestra en tiempo real una previsualización de la imagen que va a ser captura mediante la recepción de una transmisión de video proveniente del dispositivo de toma de imágenes y, si el usuario

	<p>es personal de campo, despliega una caja de texto para ingresar las observaciones que tengan que hacerse. Una vez el botón de tomar datos es presionado (S-2), (S-3), (S-4), (S-5) el software lee la trama proveniente del navegador GPS y convierte las coordenadas al sistema de referencia manejado por el SIG. El usuario tiene la opción de terminar con la toma de Datos (S-6), o de cambiar la muestra a la que pertenecerán los datos de ese momento en adelante (S-7).</p>
<p>Pos-condición(es):</p>	<p>Los datos capturados están preparados para ser guardados.</p>
<p>Sub-flujos:</p>	<p>(S-1) Cambiar la configuración del levantamiento de datos</p> <p>El control del sistema se entrega de nuevo al caso de uso de Definir Parámetros, el cual vuelve a presentar la pantalla de configuración de levantamiento de Datos y guarda los cambios correspondientes.</p> <p>(S-2) Trabajar como personal de campo con conexión a Internet</p> <p>Se realiza el caso de uso “Publicar Datos” después de haber tomado los datos.</p> <p>(S-3) Trabajar como personal de campo sin conexión a Internet</p> <p>La imagen, junto con sus coordenadas correspondientes y demás propiedades son guardadas en la base de datos local. Se vuelve a realizar el caso de uso “Tomar Datos”.</p> <p>(S-4) Trabajar como funcionario con conexión a Internet</p> <p>La campaña y la primera muestra se guardan en la base de datos del servidor. Se realiza el caso de uso “Analizar Fallas” después de haber tomado los datos.</p> <p>(S-5) Trabajar como funcionario sin conexión a Internet</p>

	<p>La campaña y la primera muestra se guardan en la base de datos local. Se realiza el caso de uso “Analizar Fallas” después de haber tomado los datos.</p> <p>(S-6) Terminar la sesión de levantamiento de datos</p> <p>Se le pregunta al usuario si en realidad desea salir del sistema, en caso de una respuesta afirmativa la aplicación es terminada.</p> <p>(S-7) Cambiar la muestra a la que pertenecen los datos</p> <p>Se crea, con ayuda del usuario, una nueva muestra de datos que corresponde al actual levantamiento de datos, la cual será asignada para todos los datos tomados después de realizar esta acción. La muestra se guarda en la base de datos del servidor o la base de datos local dependiendo de si la aplicación se está ejecutando con conexión o no a Internet. Una vez se crea la nueva muestra, el sistema vuelve al flujo principal del caso de uso “Tomar Datos”.</p>
Excepciones:	Ninguna

Caso de Uso:	Publicar Datos.
Actor(es):	Personal de campo, Funcionario, base de datos local, base de datos del servidor.
Descripción:	Este caso de uso es responsable del envío de los resultados de la adquisición de datos a base de datos del servidor, ya sea desde la base la base de datos local o inmediatamente cuando son capturados.

Precondición(es):	Se deben haber ejecutado con anterioridad el caso de uso autenticar usuario. Se debe contar con una conexión a Internet.
Flujo Principal:	Este caso de uso puede ser accedido bien desde los casos de uso "Tomar Datos" o "Analizar Fallas"(S-1), o bien desde el menú de opciones (S-2). Reúne la información recolectada y la envía a través de un servicio web a la base de datos del servidor. Este caso de uso sólo puede ser llamado desde otro caso de uso si el sistema está trabajando con conexión a Internet.
Pos-condición(es):	Los datos adquiridos son subidos a la base de datos del servidor.
Sub-flujos:	(S-1)El caso de uso es llamado desde otro caso de uso. El software agrupa toda la información de la última imagen capturada y la envía a la base de datos del servidor. Se realiza el caso de uso "Tomar Datos" (S-2) El caso de uso es llamado desde el menú de opciones. El software busca en la base de datos local los registros que no hayan sido enviados a la base de datos del servidor y procede a enviarlos.
Excepciones:	Ninguno

Caso de Uso:	Analizar Fallas.
Actor(es):	Funcionario, base de datos local, base de datos del servidor.
Descripción:	Permite al sistema obtener una mejor descripción del estado de

	la sección de pavimento presente en una foto mediante el uso de un formulario que el usuario debe llenar de acuerdo a la información que tenga disponible sobre los elementos presentes en la imagen.
Precondición(es):	Se debe haber ejecutado con anterioridad el caso de uso autenticar usuario.
Flujo Principal:	Se le presenta al usuario una interfaz que contiene la foto a analizar y un formulario de características de fallas. El usuario es quien define la presencia de fallas en la foto, su cantidad y las características que se presentan en el formulario acorde a la metodología PCI. La interfaz de este caso de uso cuenta con una lista que despliega las fallas que han sido identificadas en la imagen, un botón de agregar fallas (S-1), un botón de borrar fallas (S-2), un botón de guardar fallas y un botón de guardar imagen(S-3), (S-4).
Pos-condición(es):	Las fallas identificadas son guardadas en la base de datos local o la base de datos del servidor.
Sub-flujos:	<p>(S-1)Agregar una falla</p> <p>El usuario llena en el formulario los datos correspondientes a cada una de las fallas que identifica en la imagen, tales como tipo de falla y severidad. Una vez los datos están listos, el usuario hace click en el botón “agregar falla” y la lista de fallas identificadas en la imagen se actualiza.</p> <p>(S-2)Borrar una falla</p> <p>Es posible que el usuario quiera borrar la información de una falla que ya ha sido agregada. Para esto el usuario debe hacer click en la fila de la lista correspondiente a la falla que desea editar. Al hacer esto aparece una caja de diálogo que le pide confirmación</p>

	<p>sobre su decisión, si la respuesta del usuario es afirmativa, la falla es borrada de la tabla.</p> <p>(S-3) Guardar información (con conexión a Internet)</p> <p>Dependiendo del botón oprimido, todas las fallas presentes en la lista de fallas o la imagen junto con sus observaciones son incorporadas al conjunto de datos a guardar y se llama al caso de uso "Publicar Datos".</p> <p>(S-4) Guardar fallas (sin conexión a Internet)</p> <p>Dependiendo del botón oprimido, todas las fallas presentes en la lista de fallas o la imagen junto con sus observaciones son guardadas en la base de datos local.</p>
Excepciones:	Ninguna

Caso de Uso:	Evaluar Estado del Pavimento.
Actor(es):	Funcionario, base de datos local, base de datos del servidor.
Descripción:	Permite al usuario obtener una descripción calificativa del estado de la sección de pavimento correspondiente a un estudio vial anteriormente guardado gracias al cálculo del índice de condición del pavimento.
Precondición(es):	Se debe haber ejecutado con anterioridad el caso de uso autenticar usuario y el estudio debe estar guardado en la base de datos correspondiente.
Flujo Principal:	El sistema revisa si la aplicación está trabajando con o sin conexión a Internet(S-1), (S-2). Se le presenta al usuario la lista

	de los estudios guardados en la base de datos correspondiente a los cuales no se les ha evaluado el estado. Una vez el usuario elige uno, se habilita el botón de calcular estado del pavimento, pide una confirmación de usuario y realiza las operaciones necesarias para estimar la condición del pavimento correspondiente a ese estudio
Pos-condición(es):	El resultado de la estimación de la condición del pavimento es guardado en los registros correspondientes al estudio y sus muestras respectivas.
Sub-flujos:	<p>(S-1)Evaluar estado (Con conexión a Internet)</p> <p>El sistema le muestra al usuario una lista de los estudios viales registrados en la base de datos del servidor y al finalizar el cálculo guarda los datos correspondientes al estudio y sus respectivas muestras en el servidor.</p> <p>(S-2)Evaluar estado (Con conexión a Internet)</p> <p>El sistema le muestra al usuario una lista de los estudios viales registrados en la base de datos local y al finalizar el cálculo guarda los datos correspondientes al estudio y sus respectivas muestras localmente.</p>
Excepciones:	Ninguna

Caso de Uso:	Visualizar información
Actor(es):	Funcionario, base de datos del servidor.

Descripción:	Su responsabilidad consiste en permitir que los usuarios visualicen en el Sistema de información geográfica web la información guardada en la base de datos del servidor.
Precondición(es):	La base de datos del servidor debe estar poblada. El usuario debe estar registrado en la página web del SIG del AMB.
Flujo Principal:	Una vez el usuario logra ingresar al SIG web, tiene a su disposición el widget de pavimentos, el cual contiene a su vez el widget de imágenes de pavimentos, el cual es el módulo que corresponde a este caso de uso. Al iniciar el componente se dibujan en el mapa varios puntos, cada uno representa una imagen y está ubicado de acuerdo a las coordenadas correspondientes a esa imagen. Al hacer click sobre un punto el usuario accede a toda la información disponible sobre esa imagen (incluyendo su visualización) y las fallas que hayan sido identificadas en la misma. Una vez el usuario cierra la ventana emergente vuelve al SIG con los puntos dibujados.
Pos-condición(es):	Ninguna
Sub-flujos:	Ninguno
Excepciones:	Ninguna

4.2.2. Diagramas de secuencia

Los diagramas de secuencia definen acciones que pueden ser realizadas en el sistema que describen, indican los módulos que forman parte del sistema y el intercambio de mensajes necesario para realizar la tarea que representa el

diagrama en cuestión. El nivel de detalle que se muestra en un diagrama de clases no está definido por ningún estándar y por lo tanto puede ser elegido el que mejor se adapte a las necesidades del proyecto.

En un diagrama de secuencia no se consideran las situaciones erróneas, tales como errores y excepciones, debido a que esto puede dar lugar a un diagrama difícil de entender. A cada caso de uso le corresponden uno o varios diagramas de secuencia, los subflujos de los casos de uso son una buena guía para decidir cuantos diagramas de secuencia le corresponden a un caso de uso.

Caso de uso: Autenticar Usuario

El comportamiento de este caso de uso depende de la disponibilidad de una conexión a Internet y de la línea de acción que se tome al momento de intentar sincronizar los usuarios de la base de datos local con la base de datos del servidor. Se identificaron tres diagramas de secuencia necesarios para describirlo:

1) Autenticar Usuario (Con conexión a Internet y sincronización)

Este flujo de acciones se dispara cuando el sistema cuenta con una conexión a Internet, el usuario decide sincronizar sus datos con la base de datos local y esta operación no crea ningún registro duplicado en la base de datos.

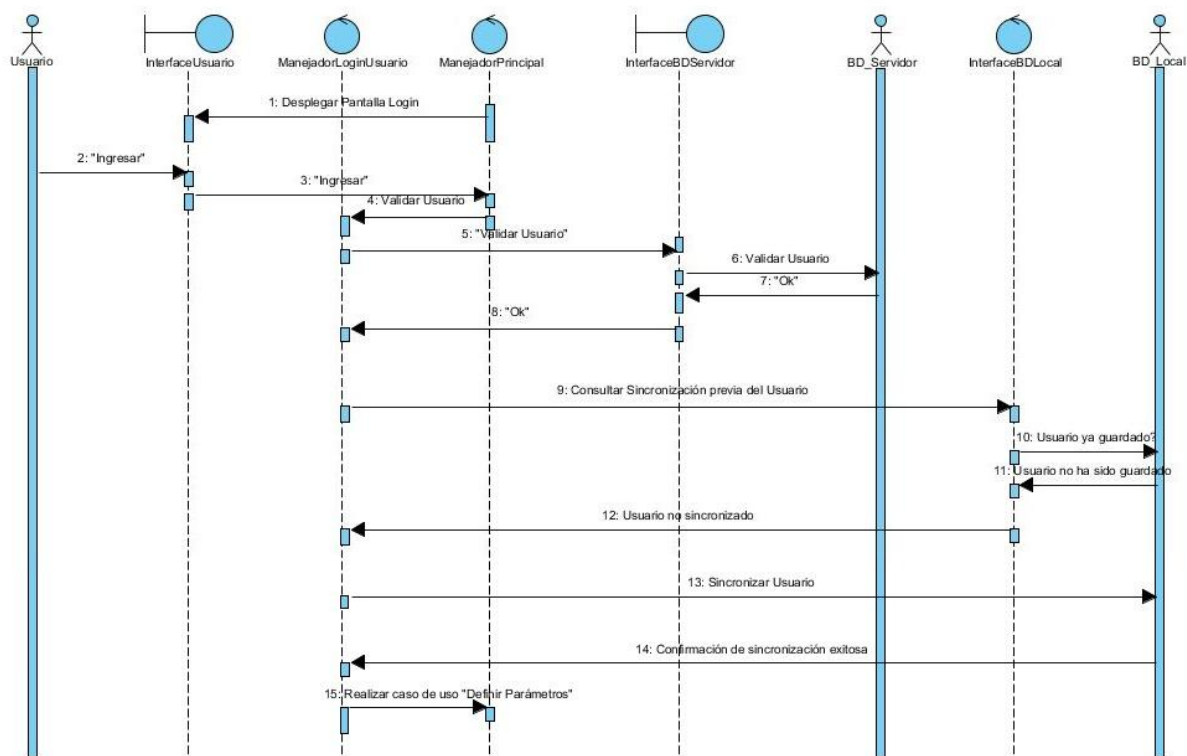


Figura 15: Diagrama de secuencia Autenticar Usuario (Con conexión a Internet y sincronización). Fuente: Autoría propia.

El sistema confronta el nombre de usuario y password con los guardados en la base de datos, si son válidos consulta si el registro correspondiente a ese usuario existe en la base de datos local, si no existe el sistema se dispone a guardar los datos del usuario en la base de datos local y comienza el caso de uso 'Definir Parámetros'.

2) Autenticar Usuario (Sin Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el sistema no cuenta con una conexión a Internet; por lo que sólo puede verificarse la información del usuario con la base de datos local, que fue actualizada con la base de datos del servidor cuando se contaba con conexión a internet.

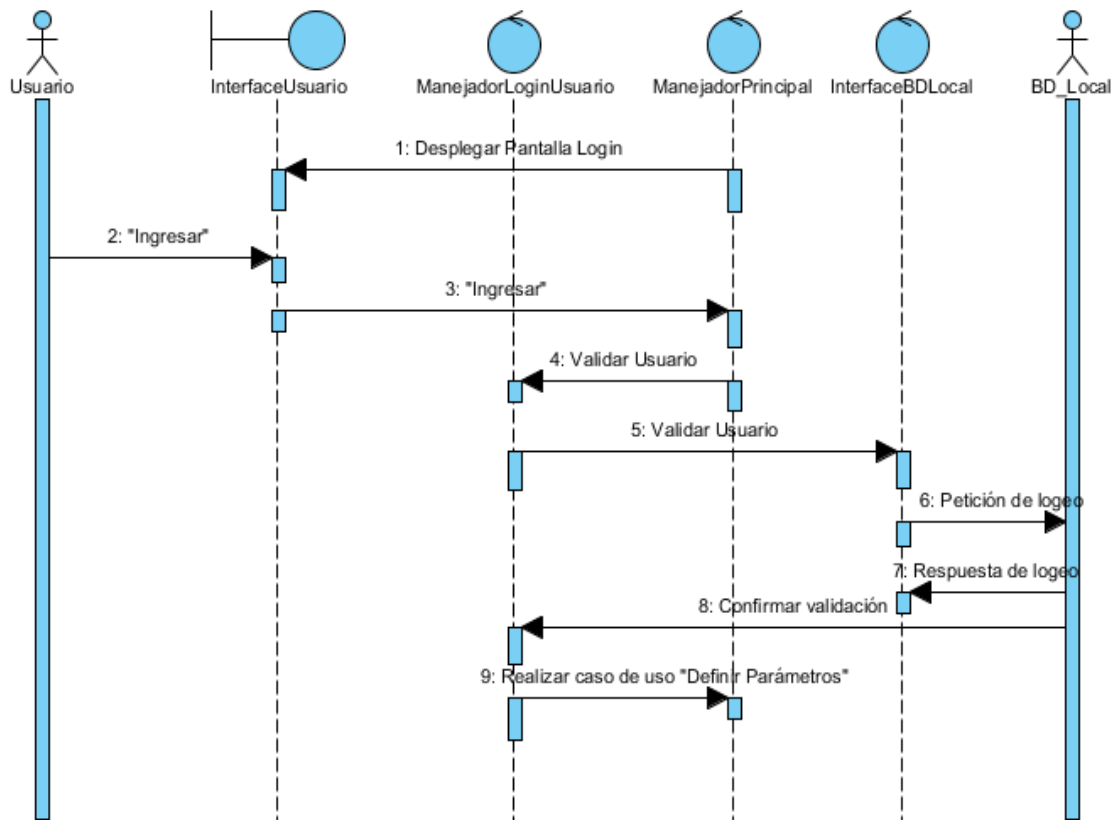


Figura 16: Diagrama de secuencia Autenticar Usuario (Sin Internet). Fuente: Autoría propia

El sistema, después de confrontar los datos con los de la base de datos local inicia el caso de uso 'Definir Parámetros'.

3) Autenticar Usuario (Con Internet y usuario ya sincronizado)

Este flujo de acciones se dispara cuando el sistema cuenta con una conexión a Internet; pero el registro de ese usuario ya está presente en la base de datos local, lo que provocaría que la sincronización sea causa de un registro duplicado.

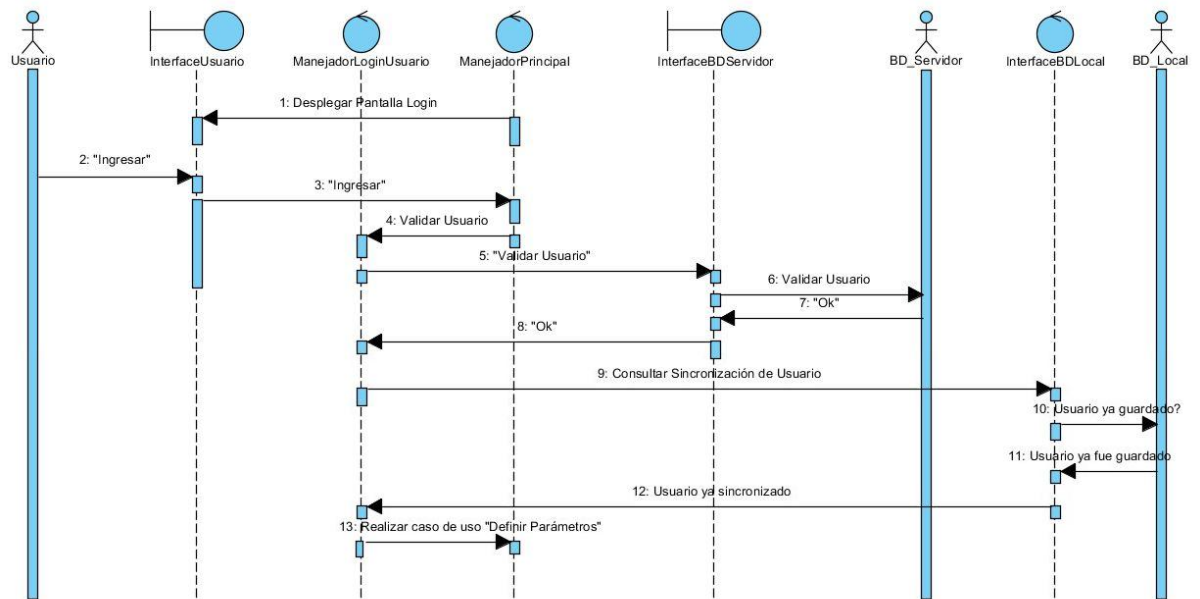


Figura 17: Diagrama de secuencia Autenticar Usuario (Con Internet y usuario ya sincronizado). Fuente: Autoría propia

El sistema confronta el nombre de usuario y password con los guardados en la base de datos del servidor, si son válidos consulta si el registro correspondiente a ese usuario existe en la base de datos local y comienza inmediatamente el caso de uso 'Definir Parámetros'.

Caso de uso: Definir Parámetros

El comportamiento de este caso de uso depende de la disponibilidad de una conexión a Internet. Se identificaron dos diagramas de secuencia necesarios para describirlo:

1) Definir parámetros (Con conexión disponible)

Este flujo de acciones se dispara cuando el sistema cuenta con una conexión a Internet; el usuario puede decidir si realiza la toma de datos con o sin conexión

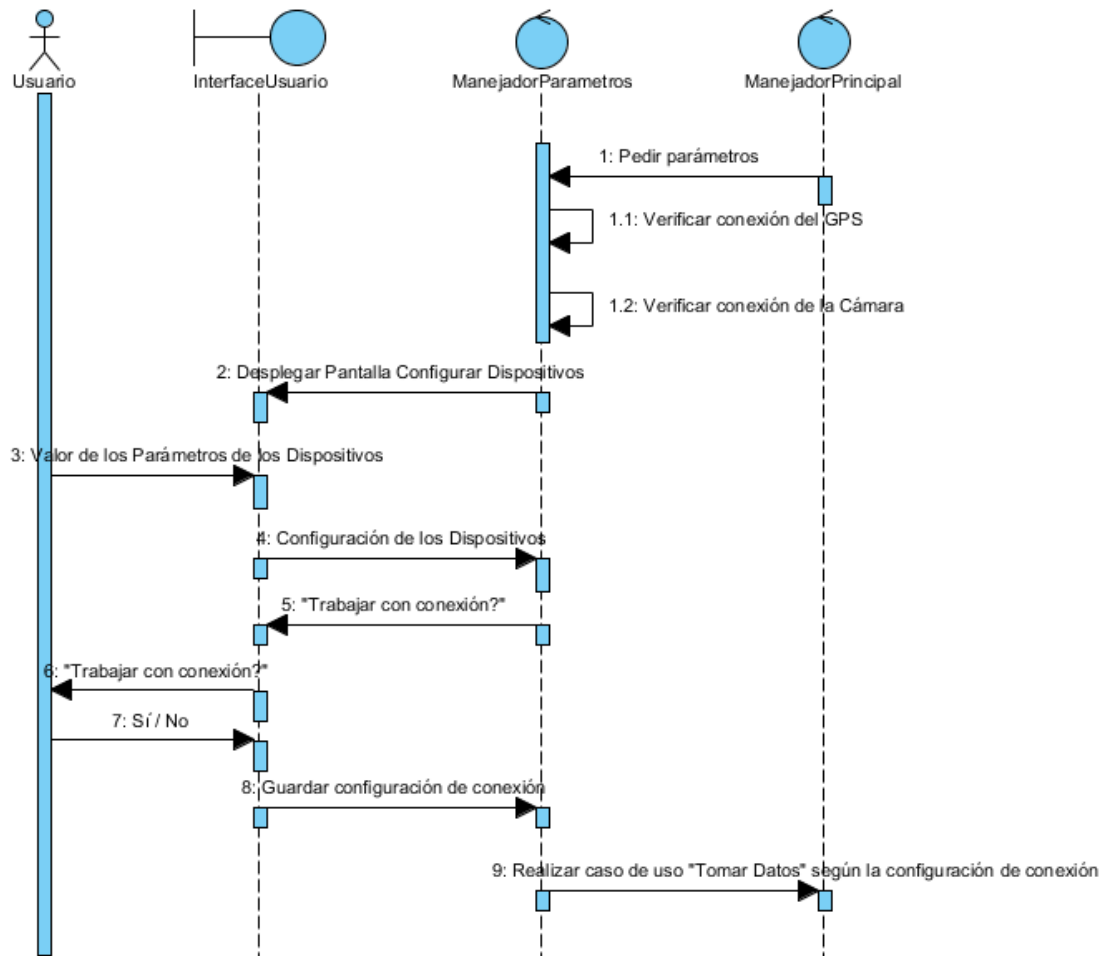


Figura 18: Diagrama de secuencia Definir Parámetros (Con conexión disponible) Fuente: Autoría propia

Como resultado, es guardada la configuración de conexión, la cual le indica al caso de uso 'Tomar Datos' el flujo de actividades que debe seguir.

2) Definir Parámetros (sin Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el sistema no cuenta con una conexión a Internet; por lo que el usuario no puede decidir si trabaja sin conexión, tiene que hacerlo obligatoriamente.

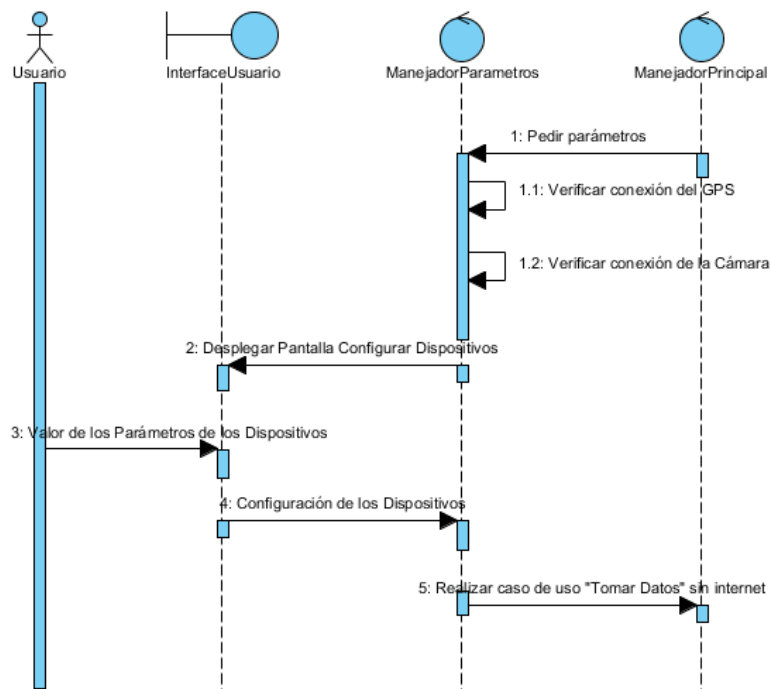


Figura 19: Diagrama de secuencia Definir Parámetros (Sin conexión disponible) Fuente: Autoría propia

Los datos recolectados serán guardados en esta base de datos. Se inicia el caso de uso 'Tomar Datos' sin Internet.

Caso de uso: Tomar Datos

El comportamiento de este caso de uso depende de si la aplicación está o no conectada a Internet y de el tipo de usuario que lo ejecuta. Se identificaron cuatro diagramas de secuencia necesarios para describirlo:

1) Tomar Datos (Personal de campo y sin Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el sistema no está trabajando conectado a Internet y el usuario que realiza el caso de uso pertenece al tipo de usuario 'Personal de campo'.

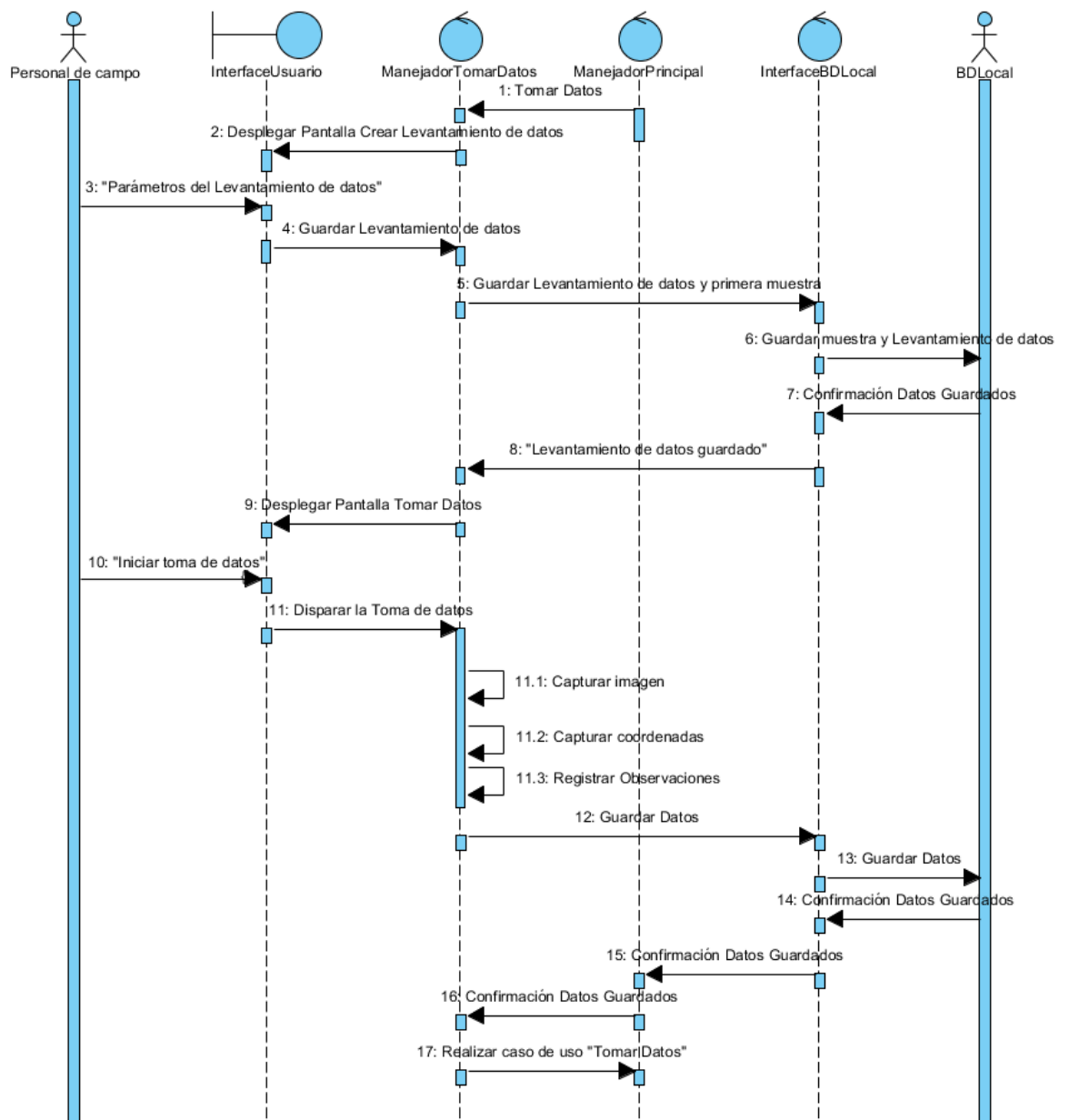


Figura 20: Diagrama de secuencia Tomar Datos (Personal de campo y sin Internet) Fuente: Autoría propia

El usuario crea un nuevo levantamiento de datos, el cual es guardado en la base de datos local. Se le presenta al usuario un campo adicional para que pueda hacer observaciones sobre la imagen, y una vez los datos son guardados en la base de datos local se vuelve a ejecutar el caso de uso 'Tomar Datos', hasta que el usuario elige terminar el levantamiento de datos.

2) Tomar Datos (Personal de campo y con Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el sistema está conectado a Internet y el usuario que realiza el caso de uso pertenece al tipo de usuario 'Personal de campo'.

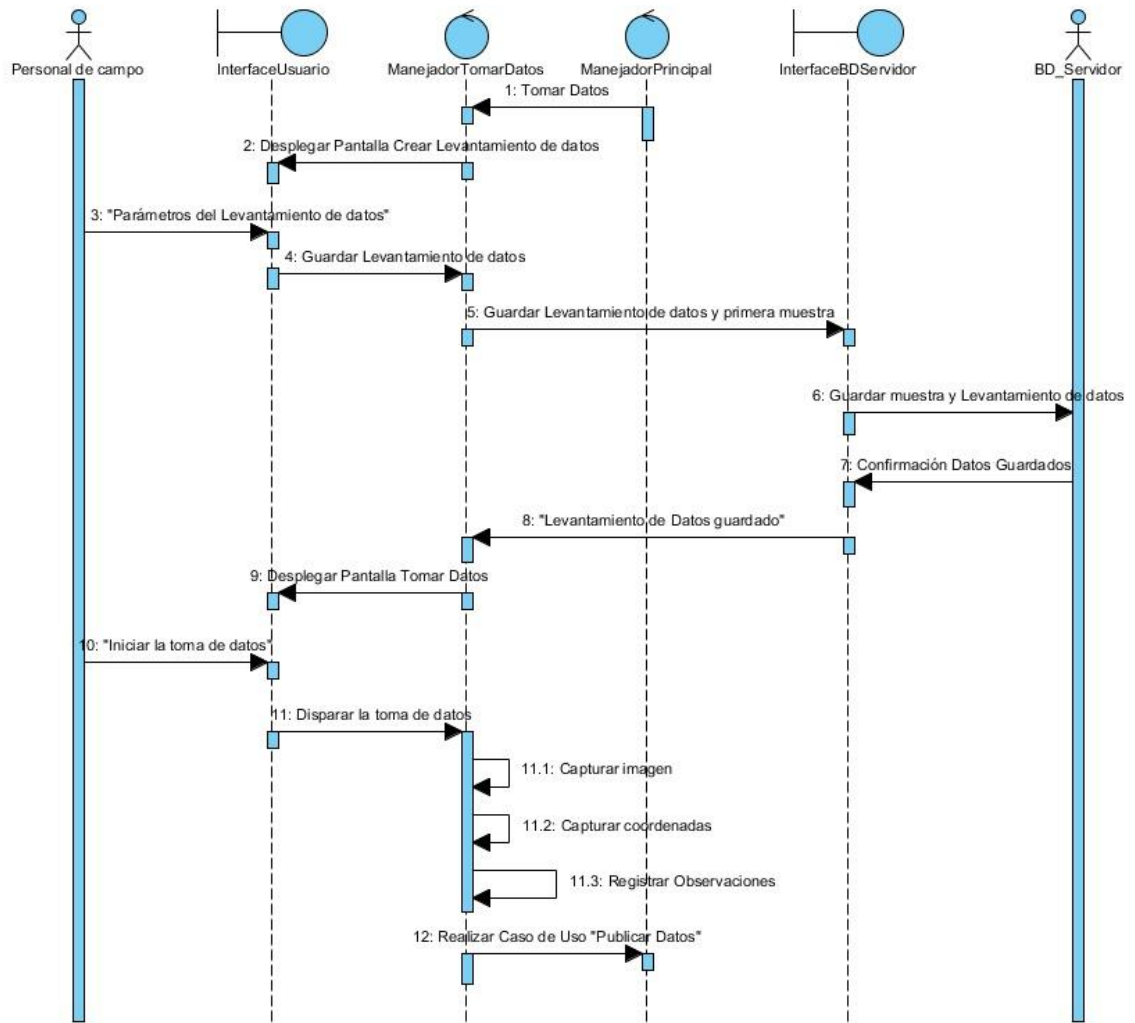


Figura 21: Diagrama de secuencia Tomar Datos (Personal de campo y con Internet) Fuente: Autoría propia

El usuario crea un nuevo levantamiento de datos, el cual es guardado en la base de datos del servidor. Se le presenta al usuario un campo adicional para que pueda hacer observaciones sobre la imagen, y una vez los datos son capturados se ejecuta el caso de uso "Publicar Datos" para enviarlos a la base de datos del servidor.

3) Tomar Datos (Funcionario con conexión a Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el usuario que realiza el caso de uso pertenece al tipo de usuario 'Funcionario', ya sea especialista, supervisor o administrador, y el sistema está trabajando conectado al Internet.

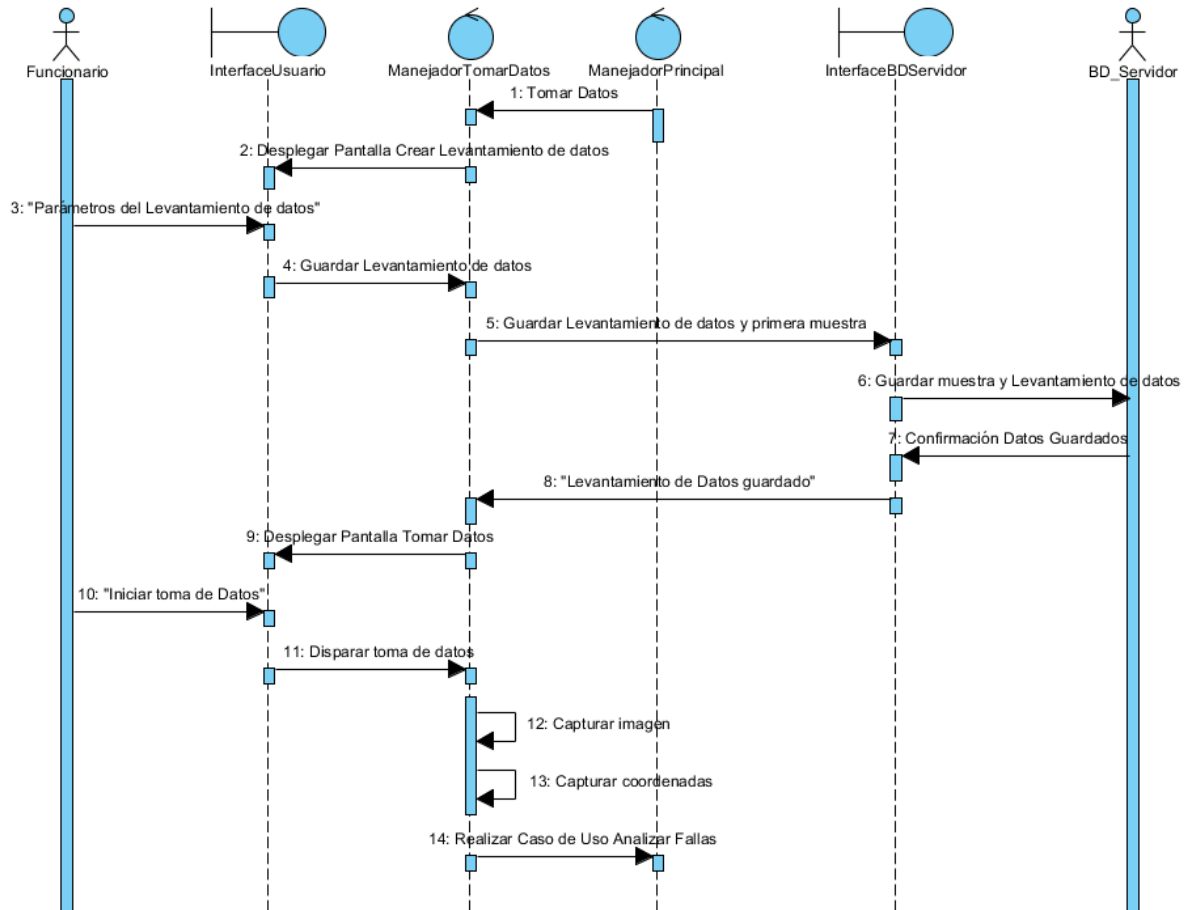


Figura 22: Diagrama de secuencia Tomar Datos (Funcionario y con Internet) Fuente: Autoría propia

El levantamiento de datos creado por el usuario es guardado en la base de datos del servidor. Una vez los datos son capturados se guardan en variables internas del sistema y se ejecuta el caso de uso 'Analizar Fallas' para obtener información adicional sobre el estado de la sección del pavimento representada por la imagen.

Caso de uso: Publicar Datos

El comportamiento de este caso de uso depende de la manera como haya sido llamado. Debido a que puede ser llamado de tres maneras, se identificaron tres diagramas de secuencia necesarios para describirlo:

1) Publicar Datos (Llamado desde el menú principal)

Este flujo de acciones se dispara cuando el usuario ingresa al menú principal y elige la opción de publicar los datos almacenados localmente.

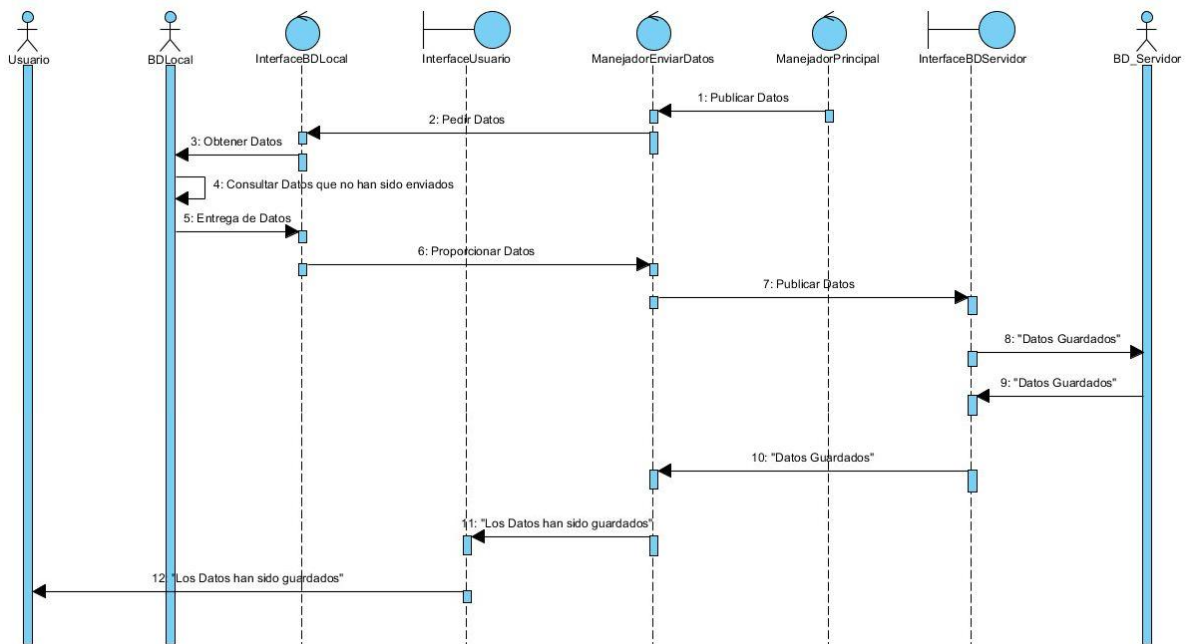


Figura 24: Diagrama de secuencia Publicar Datos (Llamado desde el menú principal) Fuente: Autoría propia

El sistema busca en la base de datos local los datos que no hayan sido enviados al servidor con el fin de realizar su publicación.

2) Publicar Datos (Llamado desde 'Tomar Datos')

Este flujo de acciones se dispara cuando el usuario pertenece es de tipo 'Personal de campo' y termina de ejecutar el caso de uso 'Tomar Datos' mientras la aplicación trabaja conectada a Internet.

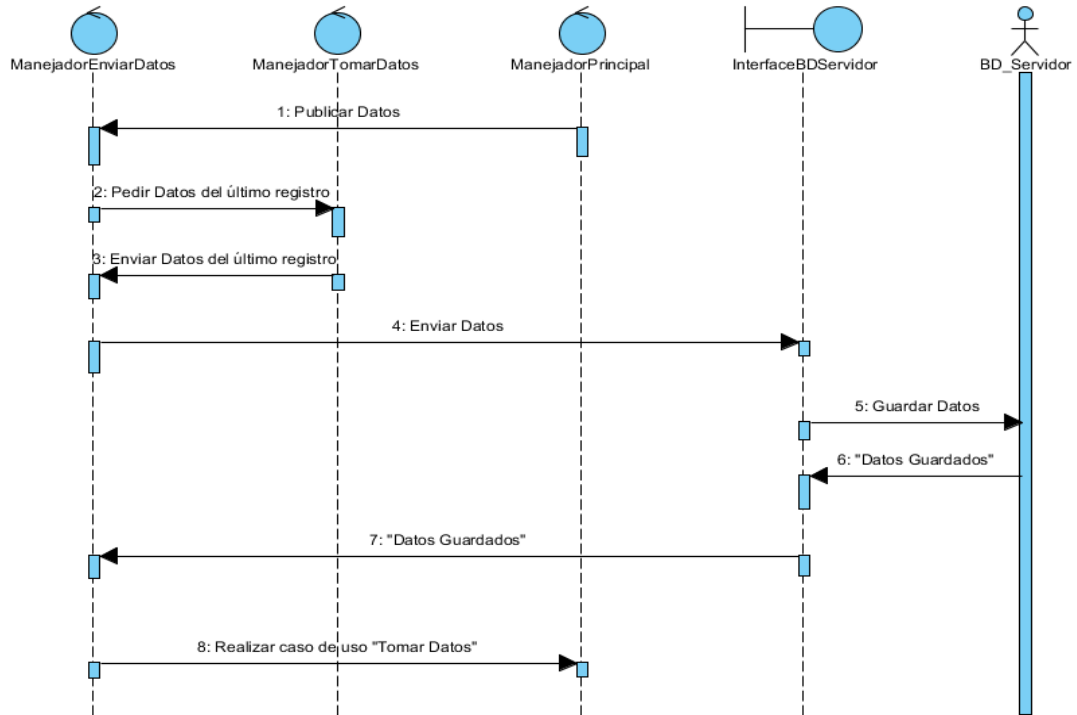


Figura 25: Diagrama de secuencia Publicar Datos (Llamado desde Tomar Datos) Fuente: Autoría propia

La aplicación recolecta los datos correspondientes a la última imagen capturada y los envía a la base de datos del servidor. Una vez el envío ha sido exitoso se repite el caso de uso 'Tomar Datos'.

3) Publicar Datos (Llamado desde 'Analizar Fallas')

Este flujo de acciones se dispara cuando el usuario es de tipo 'Funcionario' y termina de ejecutar el caso de uso 'Analizar Datos' mientras la aplicación trabaja conectada a Internet.

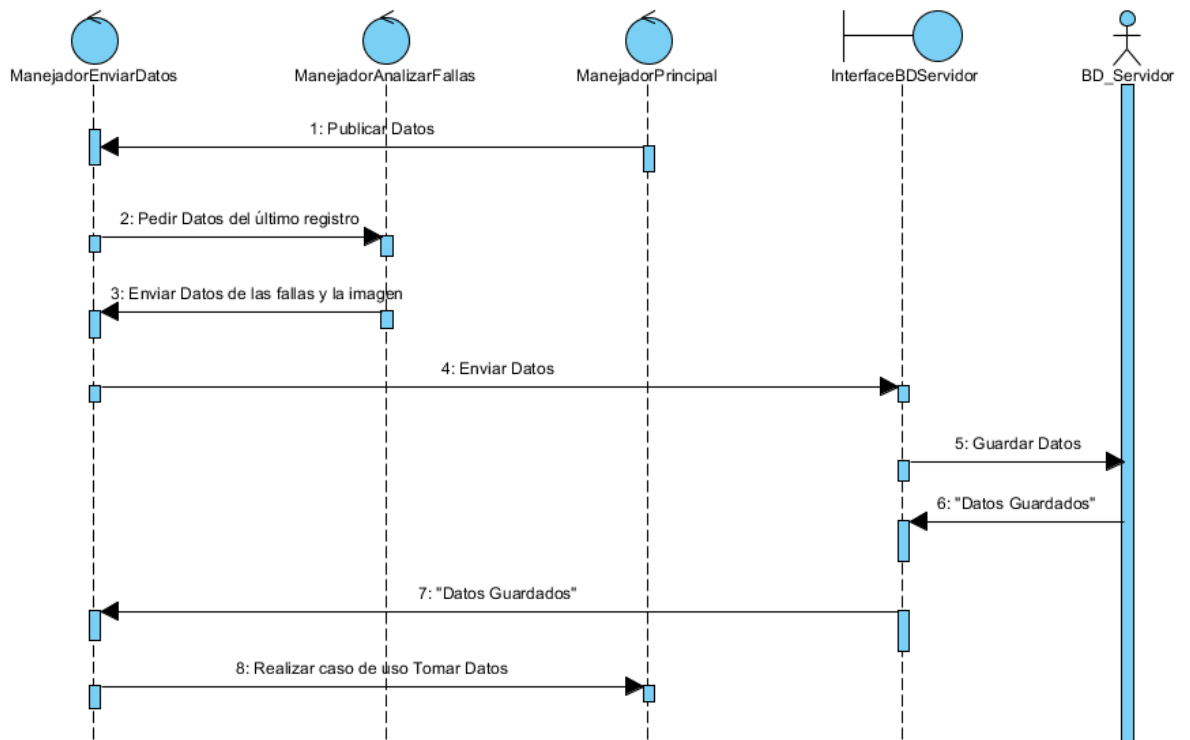


Figura 26: Diagrama de secuencia Publicar Datos (Llamado desde Analizar Fallas) Fuente: Autoría propia

La aplicación recolecta los datos correspondientes al último registro (incluyendo fallas) y los envía a la base de datos de Geomática. Una vez el envío ha sido exitoso se repite el caso de uso 'Tomar Datos'.

Caso de uso: Analizar Fallas

El comportamiento de este caso de uso depende de si la aplicación está o no trabajando con una conexión a Internet en el momento en que es ejecutado. Se identificaron dos diagramas de secuencia necesarios para describirlo:

1) Analizar Fallas (Con conexión a Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el usuario de tipo 'Funcionario' termina la ejecución del caso de uso 'Tomar Datos' mientras la aplicación trabaja conectada a Internet.

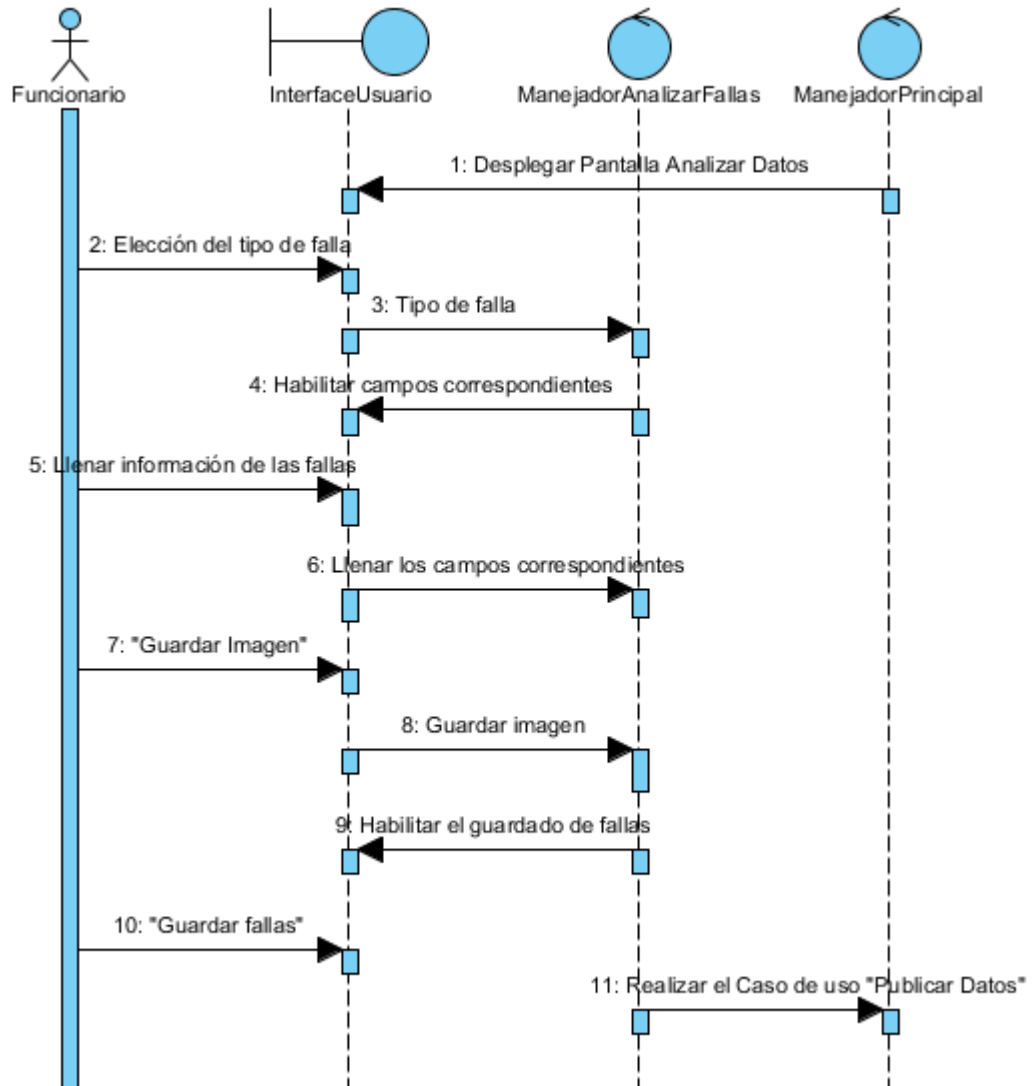


Figura 27: Diagrama de secuencia Analizar Fallas (Con conexión a Internet) Fuente: Autoría propia

Una vez el caso de uso ha concluido satisfactoriamente, el sistema llama al caso de uso 'Publicar Datos' con el fin de enviar los datos a la base de datos del servidor.

2) Analizar Fallas (Sin conexión a Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el usuario de tipo 'Funcionario' completa la ejecución del caso de uso 'Tomar Datos' mientras la aplicación trabaja sin conexión a Internet.

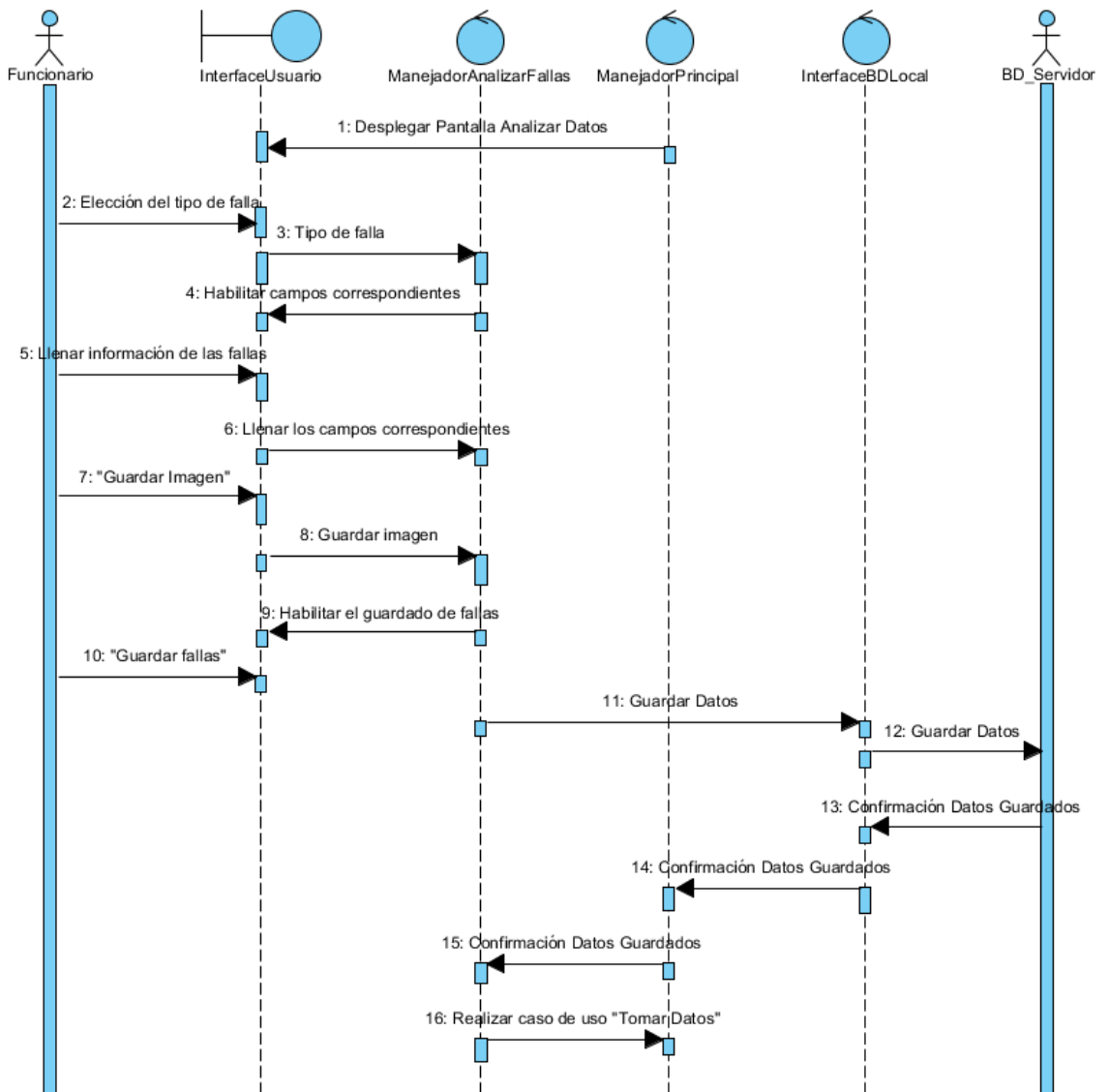


Figura 28: Diagrama de secuencia Analizar Fallas (Sin conexión a Internet) Fuente: Autoría propia

Una vez el caso de uso ha concluido satisfactoriamente, el sistema guarda la información en la base de datos local y llama al caso de uso 'Tomar Datos' para seguir con el levantamiento.

Caso de uso: Evaluar Estado del Pavimento

El comportamiento de este caso de uso depende de si la aplicación está o no trabajando con una conexión a Internet en el momento en que es ejecutado. Se identificaron dos diagramas de secuencia necesarios para describirlo:

1) Evaluar Estado del Pavimento (Con conexión a Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el usuario de tipo 'Funcionario' ordena la ejecución del caso de uso 'Evaluar Estado del Pavimento' mientras la aplicación trabaja conectada a Internet.

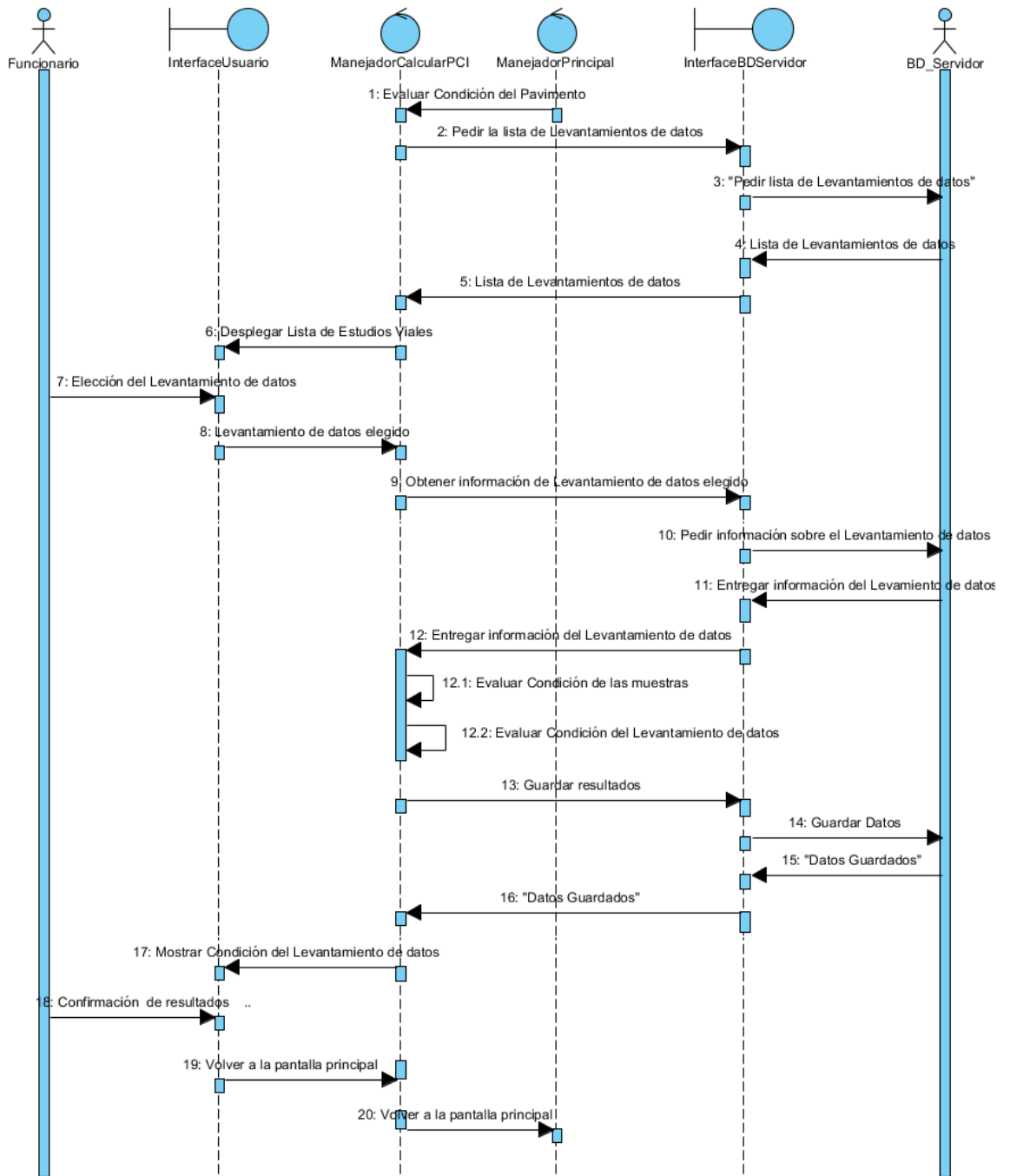


Figura 29: Diagrama de secuencia Evaluar Estado del Pavimento (Con conexión a Internet) Fuente: Autoría propia

2) Evaluar Estado del Pavimento (Sin conexión a Internet)

Este flujo de acciones se dispara cuando el usuario de tipo 'Funcionario' ordena la ejecución del caso de uso 'Evaluar Estado del Pavimento' mientras la aplicación trabaja sin conexión a Internet.

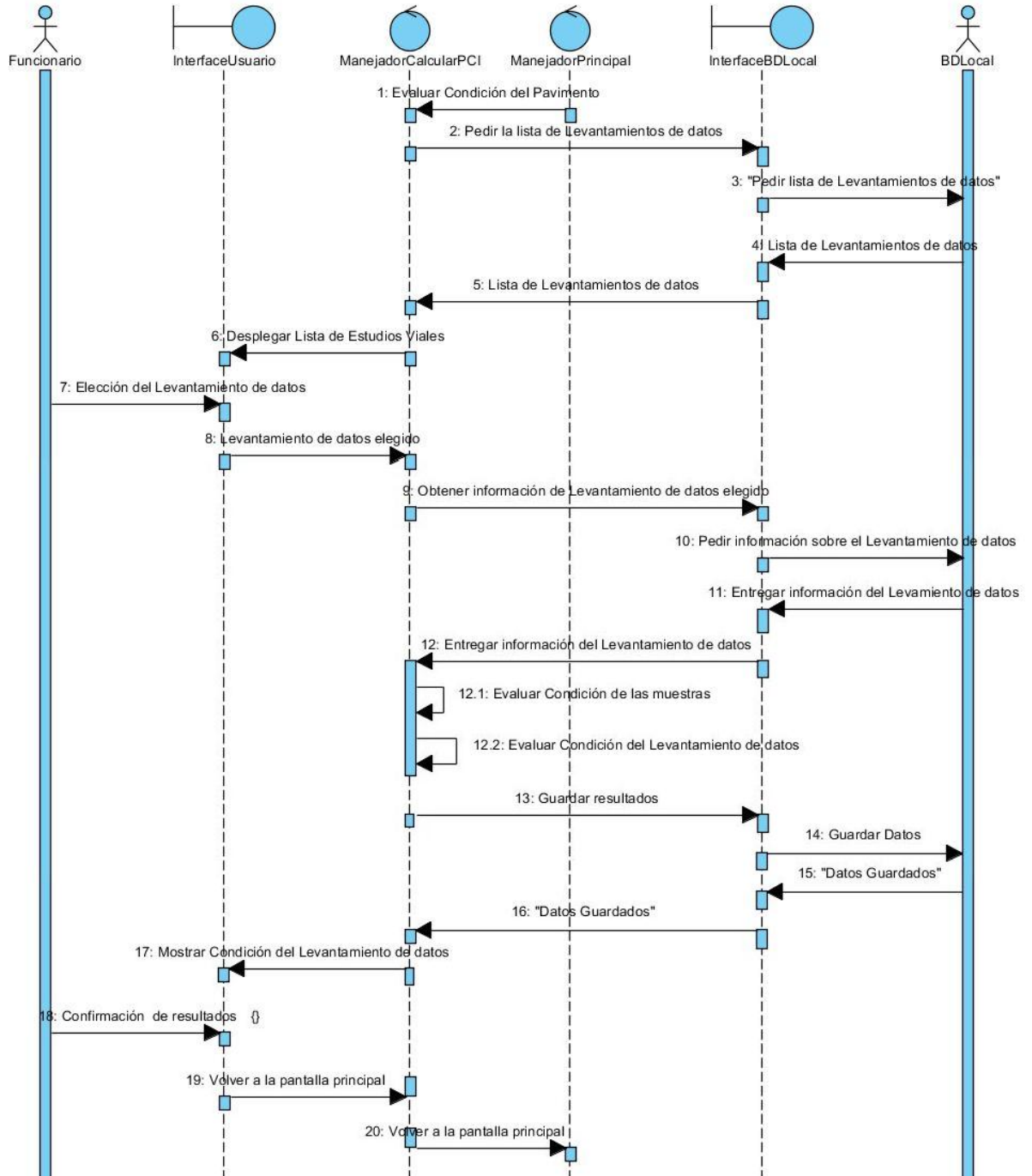


Figura 30: Diagrama de secuencia Evaluar Estado del Pavimento (Sin conexión a Internet) Fuente: Autoría propia

Caso de uso: Visualizar Información

Este caso de uso tiene un comportamiento muy estable, por lo cual sólo le corresponde un diagrama de secuencia. Es ejecutado cuando un usuario de tipo 'Funcionario' ingresa al SIG web de Bucaramanga y su área Metropolitana y entra al módulo para la información gráfica del estado del pavimento.

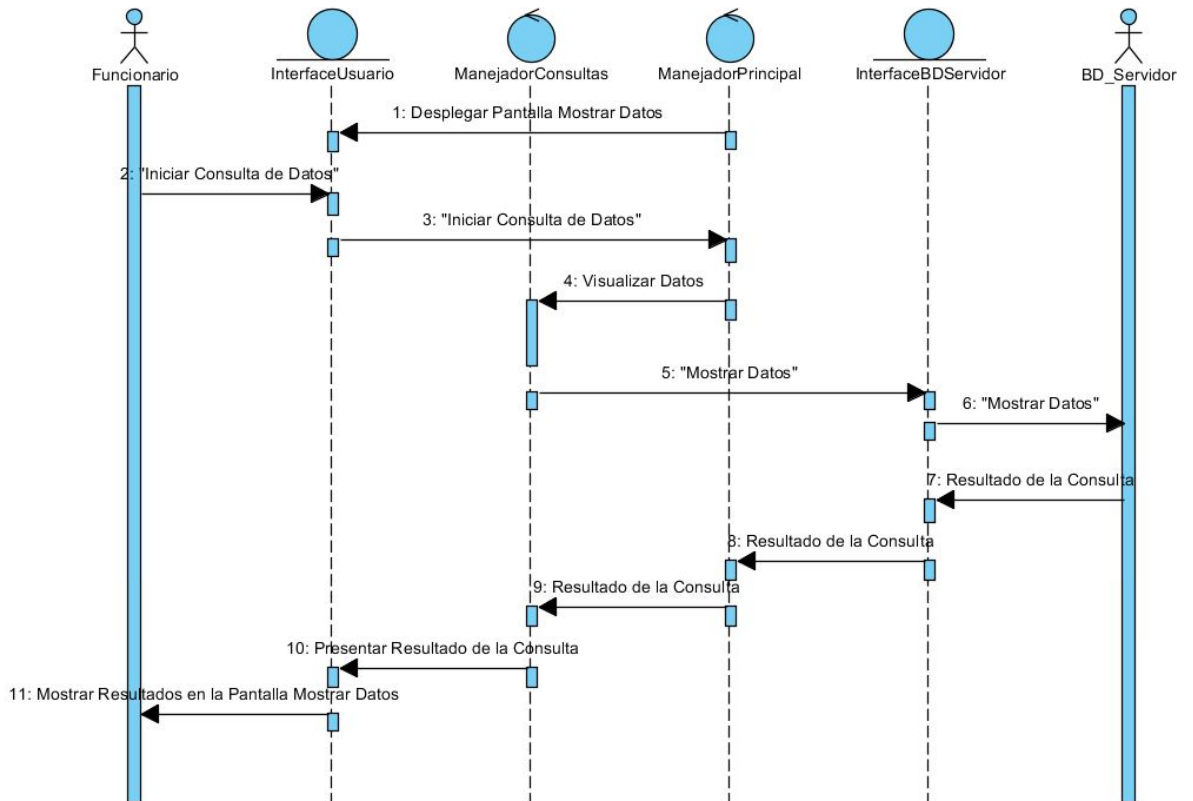


Figura 31: Diagrama de secuencia Visualizar Información Fuente: Autoría propia

Presenta al usuario toda la información disponible sobre las imágenes de secciones del pavimento recolectadas en el levantamiento de datos.

4.2.3. Comportamiento del sistema

Con el fin de crear una perspectiva global sobre las actividades que realiza el sistema y las relaciones que existen entre ellas se realizaron dos diagramas de actividades, uno para cada tipo de usuario. Estos diagramas fueron basados en los diagramas de secuencia, pero al representar el comportamiento del sistema de inicio a fin logran proporcionar un punto de vista diferente sobre los componentes software y sus relaciones. El caso de uso “Visualizar información” no está representado en estos diagramas es debido a que su comportamiento puede describirse con su exclusivo diagrama de secuencia. El caso de uso “Calcular Estado del Pavimento” tampoco está presente en este diagrama debido a que su flujo de datos es independiente de la toma de datos.

Diagrama de actividades global para el personal de campo

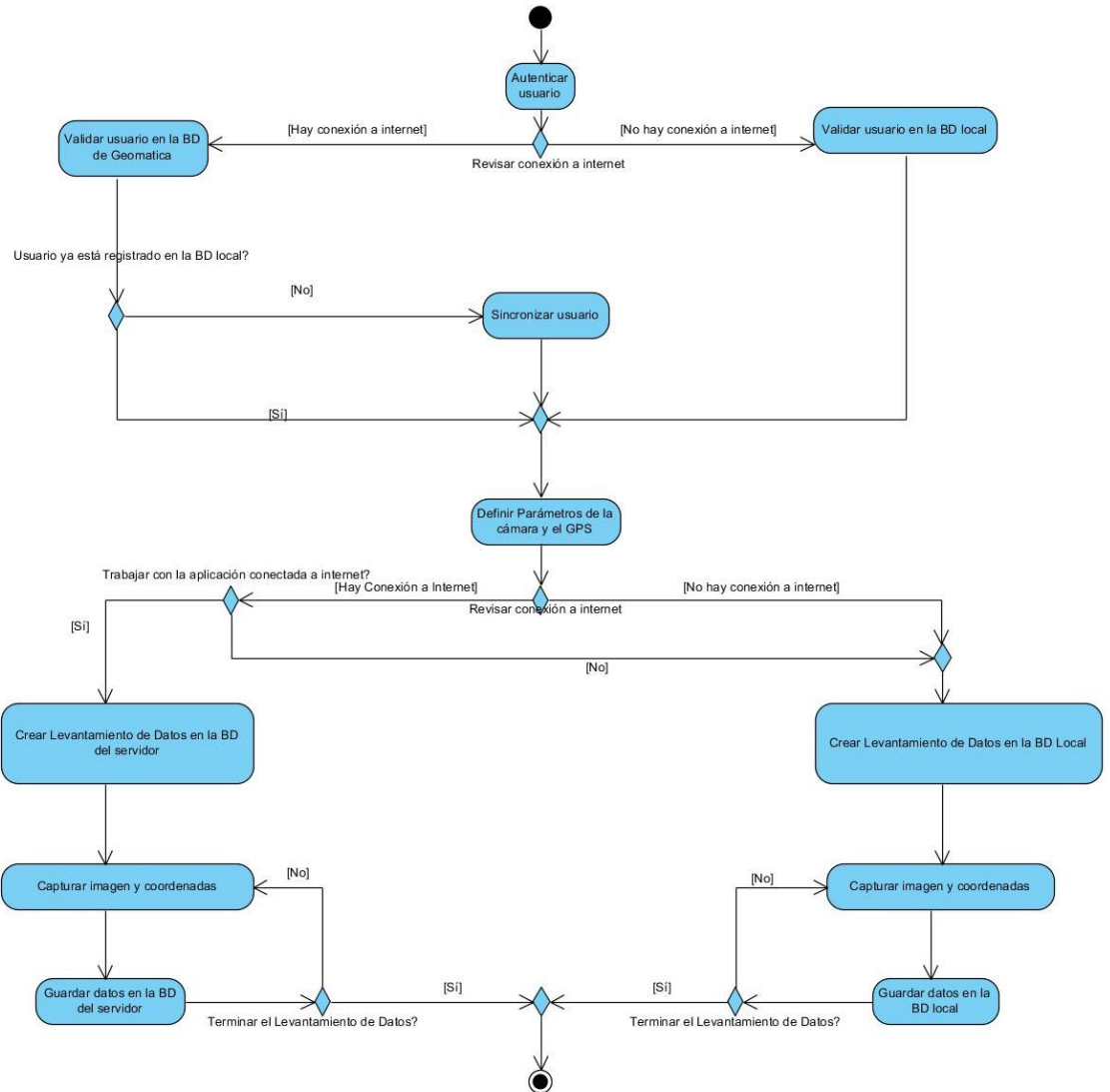


Figura 32: Diagrama de actividades del sistema completo para el personal de campo Fuente: Autoría propia

Diagrama de actividades global para el funcionario

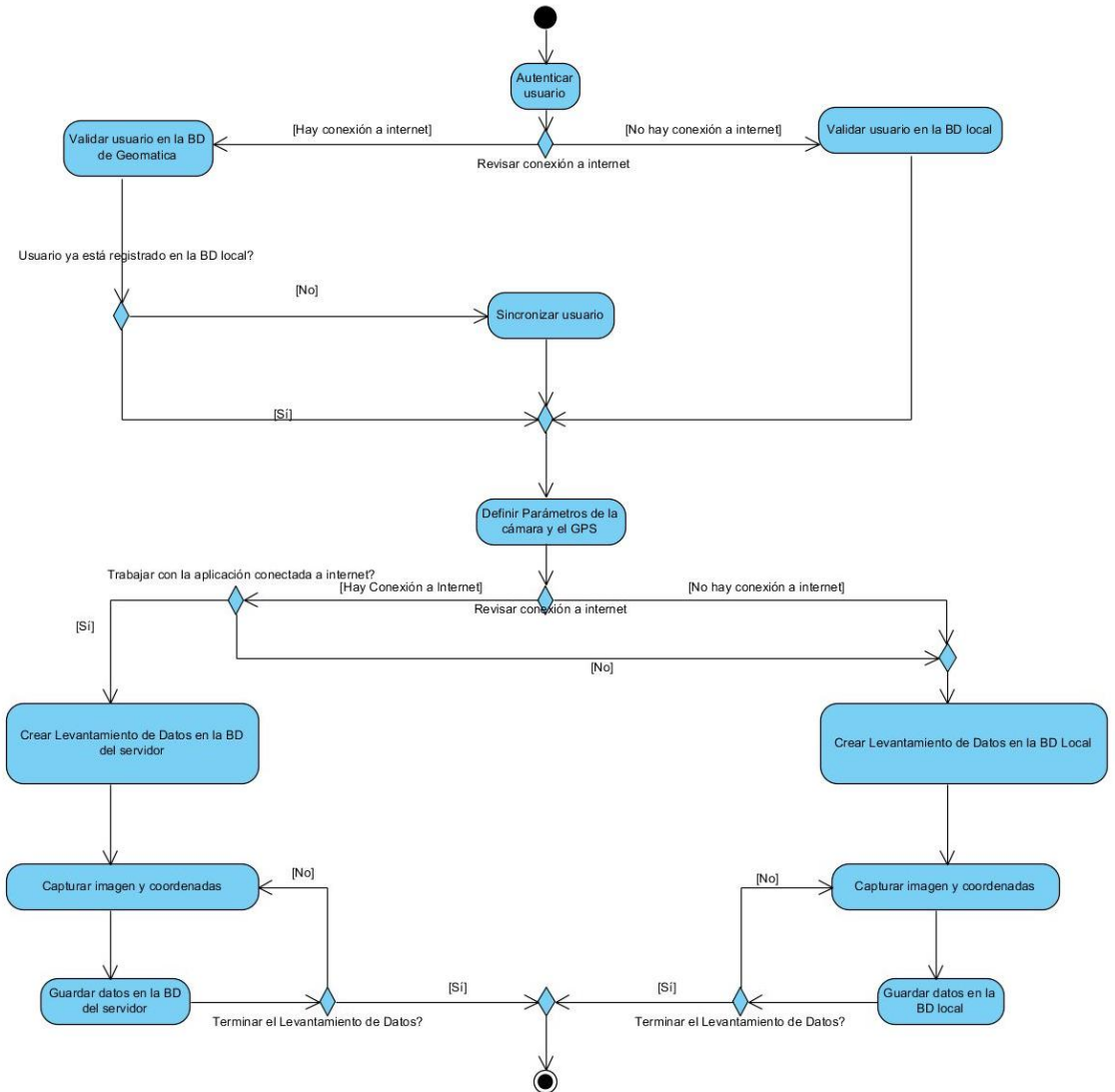


Figura 33: Diagrama de actividades del sistema completo para el funcionario Fuente: Autoría propia

4.2.4. Arquitectura del sistema

- Definición de los componentes software

Con la finalidad de aplicar el principio de la ingeniería del software que recomienda descomponer el producto a desarrollar en varios componentes y aprovechar las ventajas que esta práctica ofrece en cuanto a ciertos aspectos como la organización, la flexibilidad y la recursividad se dividió la funcionalidad del sistema en diferentes componentes. Los módulos resultantes son:

Autenticación de usuarios: Este módulo es el encargado de brindar un nivel satisfactorio de seguridad de acceso al sistema mediante el uso de la validación de usuarios registrados; permitiendo de esta manera el control de quienes puedan usar el sistema y los permisos con los que cuentan una vez han logrado el ingreso. Una vez un usuario ha sido autenticado en la base de datos del servidor sus datos serán registrados en la base de datos local para que en un futuro pueda hacer uso de cierta funcionalidad del sistema sin necesidad de una conexión a Internet.

Para visualizar la información en el SIG web, el control de acceso se hace en base al mismo nombre de usuario y contraseña, sin embargo, este control es responsabilidad del módulo de usuarios propio del SIG y por lo tanto el módulo de autenticación de usuarios no es usado para apoyar esta funcionalidad.

Definición de parámetros: Se encarga de brindarle flexibilidad al sistema permitiendo que el usuario que está a punto de iniciar una toma de datos configure los dispositivos de captura con el fin de obtener una mejor extracción de datos de acuerdo a su criterio; este módulo también se encarga de probar la conexión con los dispositivos de adquisición de datos y notificarle al usuario si existe algún problema de conexión antes de que inicie la captura.

Toma de Datos: Su función es realizar la adquisición de datos destinados a convertirse en la entrada del sistema. Una vez configurados los dispositivos de captura este módulo inicializa un nuevo levantamiento de datos, que será asociado a todos los datos que se capturen hasta el momento en que el usuario decida cerrarlo, y pide al usuario los datos necesarios para su creación.

Para llevar a cabo la recolección de datos, este módulo le otorga control al usuario sobre un dispositivo de captura de imágenes y un navegador GPS, los cuales son activados simultáneamente para obtener una imagen de una sección del pavimento junto con las coordenadas geográficas que corresponden a su ubicación. Una vez estos datos han sido tomados, se despliega la interfaz de análisis de fallas o se retorna a la interfaz de tomar datos, según el usuario que esté utilizando el sistema.

Análisis de fallas: Presenta una interfaz que despliega la última imagen tomada junto con un formulario cuya razón de ser es apoyar al usuario en la identificación y el guardado de las características de las fallas que estén presentes en la imagen. Este módulo sólo es accesible por los usuarios “Administrador”, “Especialista” y “Supervisor”.

Publicación de datos: Tiene la responsabilidad de enviar al servidor del grupo de investigación los datos que fueron adquiridos por el módulo de toma de datos y de análisis de fallas, además de revisar la base de datos local del equipo de toma de datos en busca de información que aún no haya sido enviada y procede a su publicación. Para lograr este objetivo hace uso de los servicios web que comunican la base de datos del grupo de investigación con la red y de los motores de bases de datos que administran la información.

Cálculo del estado del pavimento: Tiene la funcionalidad de reunir los datos pertenecientes a todas las fallas que pertenecen a un levantamiento de datos elegido por el usuario, una vez obtenidos estos datos realiza las operaciones respectivas por cada muestra para obtener un indicador de la condición del pavimento en las muestras en las que están presentes las fallas consultadas; y al final usa esta información para generar un estimado cuantitativo y cualitativo del estado del pavimento que corresponde al levantamiento formado por las muestras evaluadas.

Visualización de la información: Es el módulo encargado de presentarle a los usuarios la información después de haber sido recolectada y haber pasado por su debido procesamiento. Está conformado por un componente software incorporado al SIG web del Área Metropolitana de Bucaramanga, el cual utiliza las coordenadas para ubicar las imágenes en su punto correspondiente en un mapa de la ciudad, y una vez el usuario selecciona una imagen el módulo despliega una ventana con una versión tamaño completo de la imagen, la cual puede ser usada para apreciar el estado de esa sección del pavimento a simple vista o de una manera más técnica gracias a la descripción de las fallas presentes en la imagen.

Debido a que este módulo ha sido embebido en el observatorio del SIG del Área Metropolitana de Bucaramanga, su portabilidad es la misma que corresponde a cualquier aplicación SIG publicada en la web. Sólo los usuarios “Administrador”, “Especialista” y “Supervisor” tienen acceso a este módulo.

- Definición de los componentes hardware
 - ✓ Un dispositivo de captura de imágenes, se recomiendan cámaras digitales que cumplan con estándar IEEE 1394; sin embargo es suficiente con que el dispositivo cuente con alguna característica de la lista especificada anteriormente para asegurar su integración con el toolbox de adquisición de imágenes de Matlab.
 - ✓ Navegador GPS, para la realización de pruebas se utilizó el GeoExplorer 2008 series de Trimble, propiedad del grupo de investigación.
 - ✓ Servidor propiedad del grupo de investigación.
 - ✓ Computador portátil usado para la recolección de datos.

- Arquitectura del sistema

En el siguiente diagrama se puede apreciar un modelo de la arquitectura del sistema, en el cual interactúan los componentes software (representados por rectángulos azules), hardware y los sistemas externos con los que existe una integración. El componente software de “Publicación de Datos” se refiere a las herramientas utilizadas para subir a la web la información ubicada en la base de datos del servidor, y es proporcionado por ArcGIS.



Figura 34: Diagrama de la arquitectura de los componentes software y hardware del sistema Fuente: Autoría propia

4.3. Fase de construcción

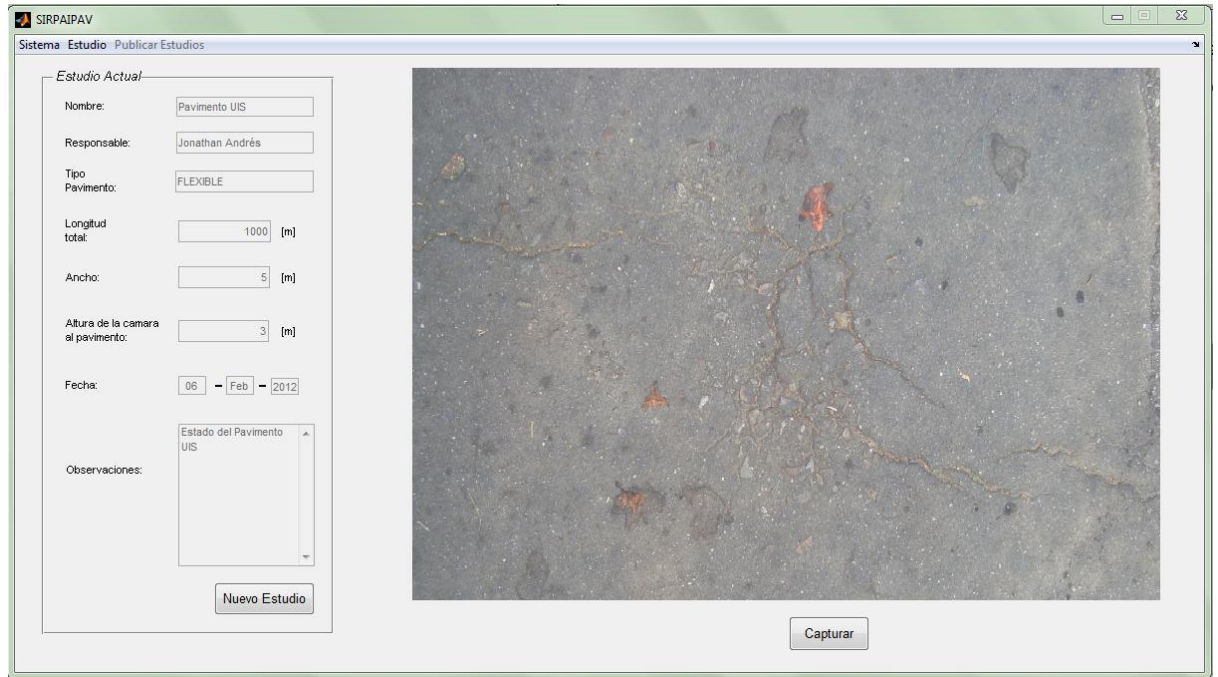


Figura 35: Interfaz principal SIRPAIPAV Fuente: Autoría propia

4.3.1. Elección de las herramientas software a utilizar

El lenguaje de programación escogido para desarrollar la mayor parte de los módulos que forman parte del sistema es 'Matlab'. Las razones fueron la funcionalidad que ofrece a través de sus 'toolbox', la posibilidad de convertir su código en un archivo ejecutable, la robustez de su entorno de programación y la experiencia de los autores en su utilización.

'Matlab' cuenta con el 'toolbox' de adquisición de imágenes. Esta herramienta ofrece la configuración interactiva de dispositivos de registro de imágenes gracias a que permite explorar todos los dispositivos disponibles, cambiar las propiedades de los dispositivos, seleccionar una región de interés y obtener una vista previa de la adquisición mediante una ventana de previsualización que le permite al usuario verificar y optimizar los parámetros de adquisición,

puesto que refleja automáticamente en su transmisión de video cualquier cambio a las propiedades del dispositivo. Adicionalmente, admite la conexión con una variada gama de dispositivos de captación de imágenes y permite el control de su comportamiento mediante una interfaz de usuario. Todas estas características convierten a este 'toolbox' en la herramienta adecuada para cumplir con los requerimientos del sistema.

Otra herramienta que ofrece 'Matlab' que cumple con las condiciones necesarias para convertirse en una base para el desarrollo del sistema es el 'data acquisition toolbox', el cual puede recibir datos de diversos dispositivos de levantamiento de información y realizar el respectivo tratamiento para que puedan ser procesados en su entorno de programación. Algunos de los dispositivos de recolección de datos que pueden ser controlados mediante esta herramienta son los navegadores GPS. Una vez la herramienta recibe la trama de datos proveniente del navegador, la aplicación filtra los datos para obtener las coordenadas geográficas que definen la posición actual del dispositivo.

Inicialmente se pensó en desarrollar la interfaz de usuario en el *framework de .net*, pero surgieron problemas de compatibilidad con los 'toolbox' anteriormente mencionados, y no se encontró ninguna herramienta propia de .net que cumpliera con las condiciones necesarias para remplazar a las herramientas de 'Matlab'; razones por las que los módulos relacionados con la recolección de datos fueron todos desarrollados en el *framework de 'Matlab'*.

4.3.2. Desarrollo de los procedimientos de recolección de información

Con el fin de desarrollar un componente software que controle los dispositivos de adquisición de datos se realizó un modelo que define la funcionalidad esperada mediante la descripción de el comportamiento esperado de los dispositivos y las operaciones realizadas para lograr este comportamiento.

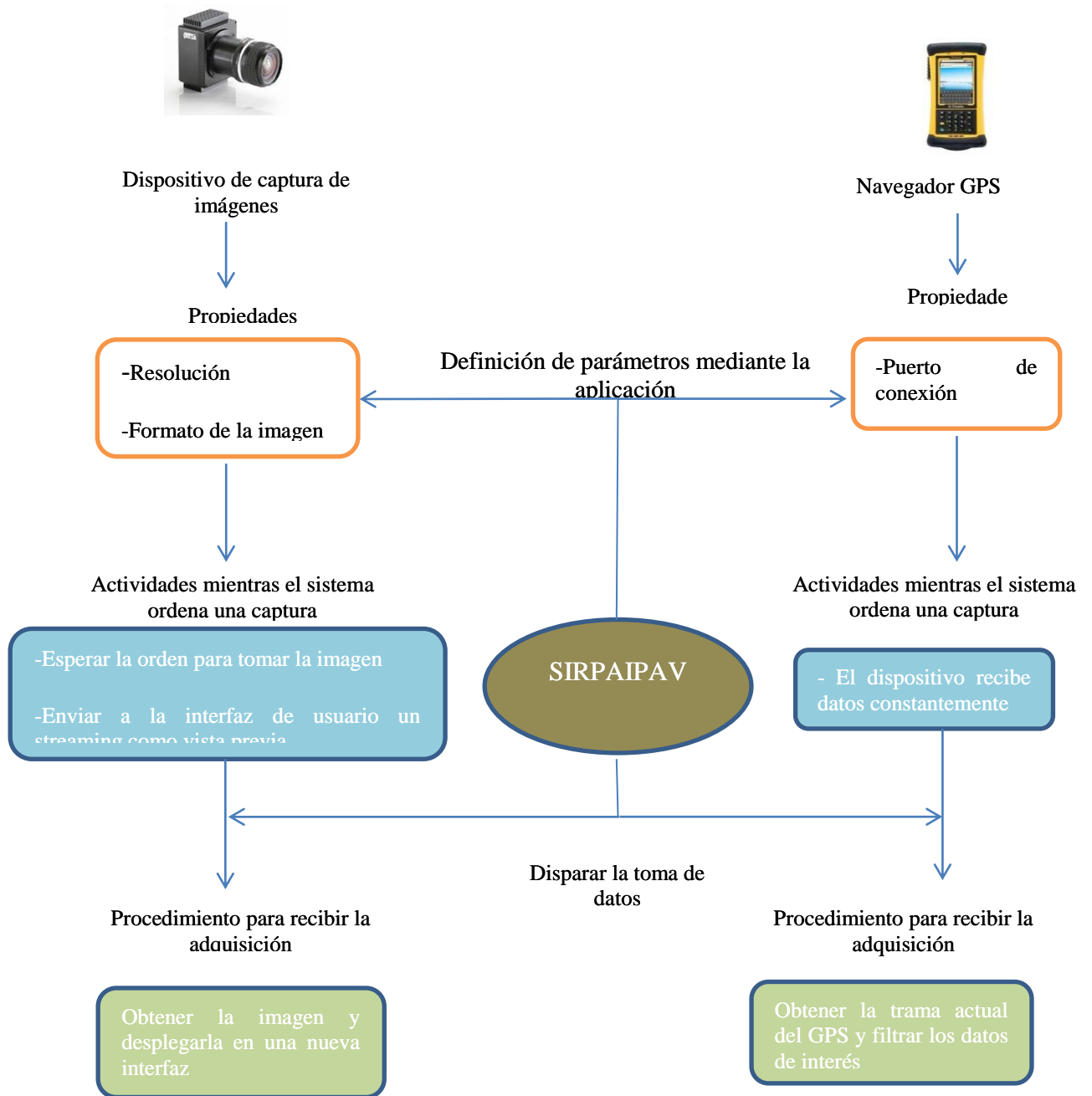


Figura 36: Modelo del comportamiento de los dispositivos de adquisición de datos. Fuente: Autoría propia

La implementación de las actividades necesarias para las tomas de datos fueron apoyadas por los 'toolbox' de 'Matlab' anteriormente mencionados. Al terminar de desarrollar una interfaz de usuario que permite obtener información recolectada se procedió a mejorar esta interfaz para otorgarle la funcionalidad de modificar la configuración de los dispositivos de toma de datos conectados.

Para realizar la conexión entre el navegador GPS y el computador portátil que ejecuta el módulo de toma de datos se utilizó la plataforma software 'GpsGate', que es usada para compartir la información recibida por el GPS entre varias aplicaciones mediante el uso de puertos COM virtuales. Esta herramienta tiene que ser ejecutada en el computador que recibe la información y en el navegador GPS que la envía, si la conexión con el dispositivo es exitosa, un puerto COM virtual es asignado para recibir toda la información proveniente del navegador GPS, y este puerto puede ser usado por 'Matlab' para que su 'data acquisition toolbox' se conecte con el GPS.

Las coordenadas tomadas por el navegador GPS (y, por lo tanto, las que van a ser usadas para alimentar el sistema) vienen en el sistema de coordenadas WGS84 (Sistema Geodésico mundial de 1984), que expresa la ubicación en grados, minutos y segundos; sin embargo, la información será publicada en el SIG web del Área Metropolitana de Bucaramanga, que utiliza el sistema de coordenadas "Universal Transverse Mercator", una proyección cartográfica tangente a un meridiano que depende de la zona del mundo en donde esté ubicado el navegador GPS. Sus magnitudes se expresan en metros.²²

Con el objetivo de lograr una integración que posibilite una representación de la ubicación que corresponda con los datos tomados fue necesaria la implementación de un algoritmo que transforme las coordenadas obtenidas por el GPS en el sistema WGS84 a coordenadas correspondientes al sistema UTM listas para su publicación en el SIG web.

²²*The universal Grids: Universal transverse Mercator*
http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tm8358.2/TM8358_2.pdf

Eventualmente, se diseñó e implementó un formulario que despliega la imagen recién recolectada junto con una serie de campos que permiten al usuario ingresar la información perteneciente a las fallas que encuentre en la imagen con el fin de crear un registro de fallas en la base de datos.

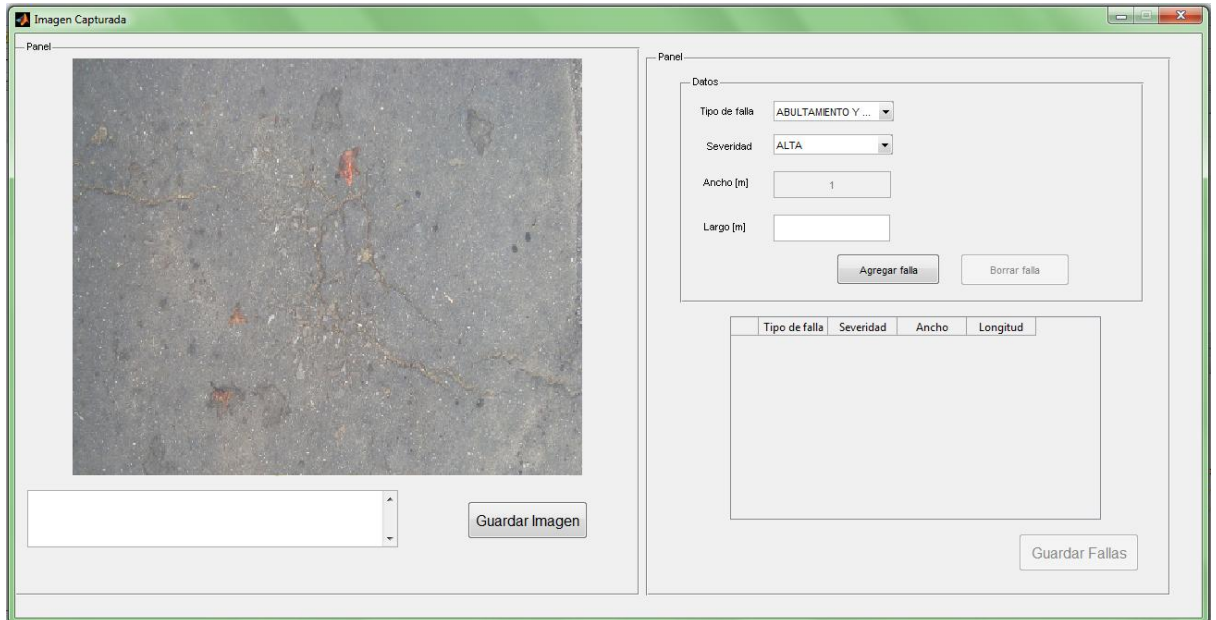


Figura 37: Interfaz de análisis de fallas. Fuente: Autoría propia

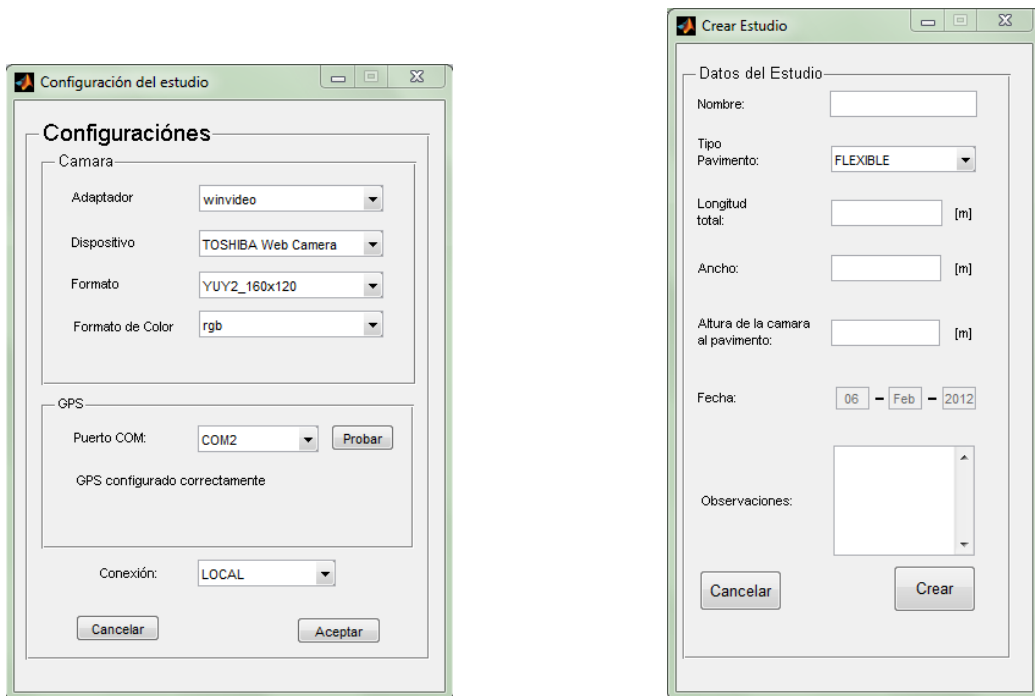


Figura 38: Interfaces de configuración de dispositivos y creación de levantamiento. Fuente: Autoría propia

4.3.3. Almacenamiento de datos

Se estudiaron las entidades que maneja el sistema para generar el modelo de datos del sistema. Una vez definido, se procedió a realizar el diagrama entidad relación y utilizarlo como base para crear y probar las bases de datos que serán usadas localmente mediante el uso de la herramienta software para diseñar, desarrollar y administrar bases de datos 'MySQL WorkBench'. Después de guardar los datos capturados por el sistema parcial en la base de datos local se inició la modificación de la base de datos del servidor con el fin de agregar las tablas, dominios y relaciones necesarias en el modelo de datos pre-establecido de Bucaramanga para posteriormente desarrollar los servicios web que permiten al sistema guardar datos en la base de datos del servidor. Debido a sus dimensiones, el diagrama entidad-relación de la base de datos del servidor tuvo que ser añadido como anexo a este documento. [Anexo1.pdf](#)

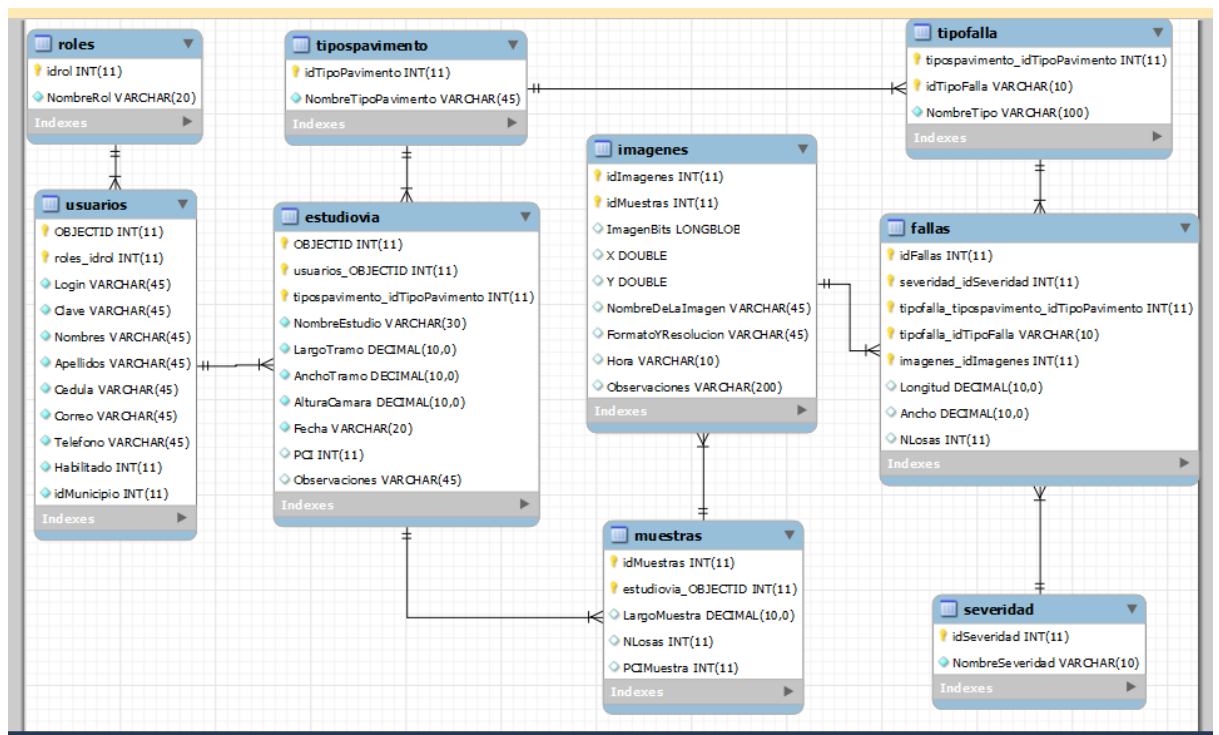


Figura 39: Modelo Entidad-Relación de la base de datos local. Fuente: Autoría propia

Con las bases de datos pobladas, se realizó la implementación de un módulo que permite controlar el acceso al sistema mediante la comparación de un nombre de usuario y una contraseña proporcionados por una interfaz, que previamente ha obtenido esos datos producto de una comunicación con el usuario, con los datos presentes en la base de datos en la cual se están realizando las consultas.

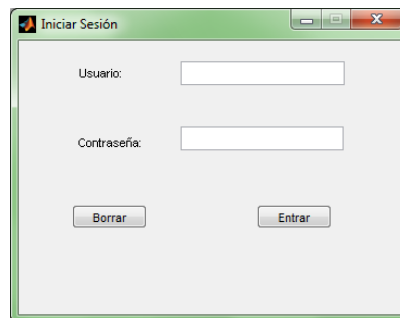


Figura 40: Interfaz para el inicio de sesión. Fuente: Autoría propia

Para terminar con la funcionalidad correspondiente al almacenamiento de datos se le añadieron al sistema componentes software cuya función es preparar el envío de la información entre las bases de datos, ya sea para subir información a la base de datos del servidor o para guardar un usuario en la base de datos local.

4.3.4. Publicación y presentación web de la información

La siguiente fase del desarrollo del sistema consiste en desarrollar un módulo web que permita obtener información fotográfica y descriptiva de los registros producto de los levantamientos de datos. Se utilizó la plantilla del ArcGISViewer, que proporciona una interfaz robusta, rápida, diseñada para una compleja interacción con el usuario y lista para su uso en un sistema de información geográfica. Una vez el ArcGISViewer fue configurado para realizar su integración con el sistema de información geográfica de Bucaramanga y su área Metropolitana, se desarrolló un nuevo servicio que permite la publicación de los datos guardados en el servidor que corresponden a la información que

maneja el sistema, y posteriormente fue incorporado a el SIG web un módulo que consume este servicio y presenta la información al usuario mediante puntos en el mapa que representan las imágenes propias de los levantamientos de datos. Cada punto tiene una ubicación que depende de las coordenadas geográficas que fueron captadas en el momento de la recolección del registro fotográfico, y una vez es seleccionado, despliega la imagen que representa junto con la información asociada a la foto (Daño, severidad, etc.).

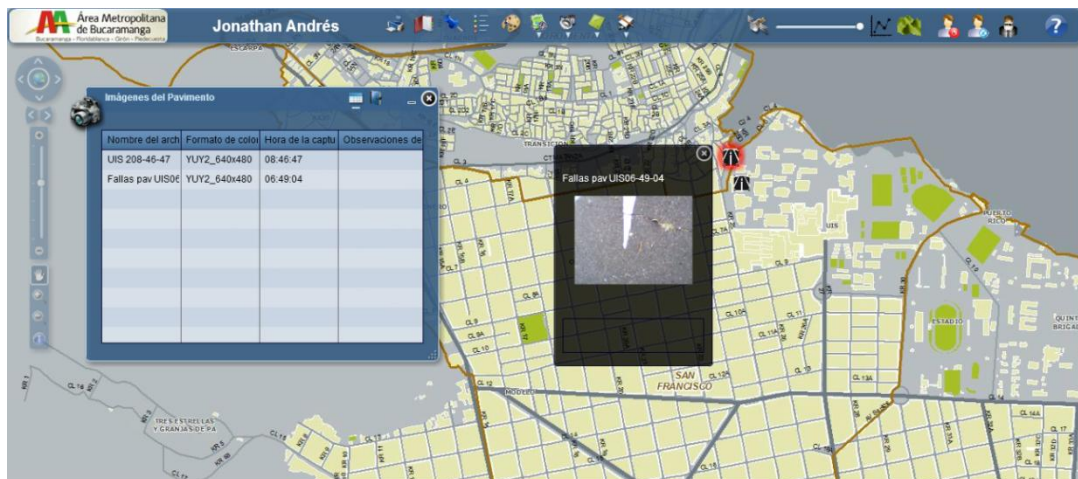


Figura 41: Widget SIRPAIPAV. Fuente: Autoría propia

4.4. Fase de transición

Durante la planeación del proyecto fue establecido que las pruebas a aplicar al sistema una vez su implementación estuviera completa serían las '*pruebas piloto*', las cuales se caracterizan por involucrar la realización de pruebas preliminares de herramientas y procesos destinados a la recolección de la información para identificar y eliminar errores, con el fin de permitir ajustes antes de comenzar con el levantamiento de datos.²³ Estas pruebas definen varios casos particulares para evaluar el desempeño del sistema, lo que les permite verificar el logro de una operación libre de errores bajo ciertas condiciones establecidas.

²³ Fuente: <http://boards4.melodysoft.com/2005AISIO606/pruebas-piloto-17.html>

Se definieron nueve escenarios de prueba basados en la funcionalidad del sistema y los casos de uso. El comportamiento del sistema en cada uno de los nueve escenarios fue evaluado en repetidas ocasiones y bajo diferentes condiciones, tales como la disponibilidad de una conexión a Internet y la realización de tareas que no siempre van a ser llevadas a cabo.

Los resultados de cada una de las pruebas se registran a continuación

1) Ingreso al sistema consultando la base de datos local

Tabla 2: Resultados de las pruebas de ingreso al sistema consultando la base de datos local

Actividad realizada	Comportamiento esperado	¿Se cumplió el comportamiento esperado?	Tiempo empleado (S)	Observaciones
Intentar el ingreso con nombre de usuario y password correctos	Permitir el acceso al sistema y mostrar la interfaz de definir parámetros	SI	0,28	
Intentar el ingreso con nombre de usuario o password incorrectos	Denegar el acceso al sistema e informar al usuario de esta situación	SI	0,1092	

2) Ingreso al sistema consultando la base de datos del servidor

Tabla 3: Resultados de las pruebas de ingreso al sistema consultando la base de datos del servidor

Comportamiento esperado	¿Se cumplió el comportamiento esperado?	Tiempo empleado (S)	Observaciones
Mostrar la interfaz de definir parámetros	SI	No aplica	
Guardar el usuario en la base de datos local y mostrar la interfaz de definir parámetros	SI	0.74	

3) Definición de parámetros de los dispositivos de toma de datos

Tabla 4: Resultados de las pruebas de definición de parámetros de los dispositivos de toma de datos

Actividad realizada	Comportamiento esperado	¿Se cumplió el comportamiento esperado?	Observaciones
Empezar a tomar datos una vez configurados los dispositivos	Ingresar a la interfaz de toma de datos	SI	
Cambiar la configuración del dispositivo de captación de imágenes ya iniciada la toma de datos	Cambio de la pantalla que previsualiza la imagen en la interfaz de toma de datos	SI	

4) Creación de levantamientos de datos y muestras

Tabla 5: Resultados de las pruebas de creación de levantamientos de datos y muestras

Actividad realizada	Comportamiento esperado	¿Se cumplió el comportamiento esperado?	Tiempo empleado
Guardar un nuevo levantamiento con su respectiva primera muestra sin conexión a Internet	Crear los correspondientes registros de estudio y muestra en la base de datos local	SI	0,34
Guardar una nueva muestra sin conexión a Internet	Crear el correspondiente registro de muestra en la base de datos local	SI	0,27
Guardar un nuevo levantamiento con su respectiva primera muestra con conexión a Internet	Crear los correspondientes registros de estudio y muestra en la base de datos del servidor	SI	0,89
Guardar en la base de datos del servidor una nueva muestra con conexión a Internet	Crear el correspondiente registro de muestra en la base de datos del servidor	SI	0,78

5) Captación de imágenes del pavimento junto con su posición geográfica

Tabla 6: Resultados de las pruebas de captación de imágenes junto con su posición geográfica.

Actividad realizada	Comportamiento esperado	¿Se cumplió el comportamiento esperado?	Observaciones
Presentar pantalla de confirmación de guardado	Guardar los datos en una variable local y esperar la confirmación del usuario	SI	
Guardar los datos recolectados con conexión a Internet	Crear el registro de la imagen correspondiente en la base de datos del servidor	SI	
Guardar datos recolectados sin conexión a Internet	Crear el registro de la imagen correspondiente en la base de datos local	SI	

6) Recolección de información sobre las fallas presentes en una imagen

Tabla 7: Resultados de las pruebas de recolección de información sobre las fallas presentes en una imagen

Actividad realizada	Comportamiento esperado	¿Se cumplió el comportamiento esperado?
Agregar una falla	Crear una nueva falla en la lista de fallas asociada a la imagen	SI
Borrar una falla	Borrar de la lista de fallas asociada a la imagen la falla seleccionada	SI
Guardar las fallas con conexión a Internet	Crear los registros de fallas correspondientes en la base de datos del servidor	SI
Guardar las fallas sin conexión a Internet	Crear los registros de fallas correspondientes en la base de datos local	SI

7) Envío al servidor de los datos guardados en la base de datos local

Tabla 8: Resultados de las pruebas de envío al servidor de los datos guardados en la base de datos local

Actividad realizada	Comportamiento esperado	¿Se cumplió el comportamiento esperado?	Tiempo empleado (S)	Observaciones
Guardar en la base de datos del servidor los datos presentes en la base de datos local	Se crean en la base de datos del servidor los registros de levantamientos presentes en la base de datos local	SI	4,98	

8) Visualización de la información desde el SIG web del AMB

Tabla 9: Resultados de las pruebas de visualización de la información desde el SIG web del AMB

Actividad realizada	Comportamiento esperado	¿Se cumplió el comportamiento esperado?	Observaciones
Cargar la capa de imágenes de pavimentos	Desplegar los puntos que corresponden a las imágenes tomadas y llenar la datagrid	SI	
Desplegar la información de un registro	Desplegar en un tooltip la información fotográfica y descriptiva de una imagen seleccionada	SI	
Clasificar por tipo de pavimento los registros mostrados en el SIG Web	Cambiar las características visuales de los puntos de acuerdo con la clasificación elegida	SI	
Buscar un registro que cumpla con ciertas características	Realizar una consulta en la base de datos del servidor que filtre las imágenes según el criterio de búsqueda	SI	

5. CONCLUSIONES

- La construcción de un sistema para la captación y georreferenciación de imágenes digitales para su posterior publicación en un sistema de información geográfica web apoya las actividades realizadas por los funcionarios públicos que tienen como responsabilidad evaluar el estado de los pavimentos para tomar decisiones sobre las operaciones de mantenimiento y reparación de la malla vial.
- El diseño de cada interfaz y la navegación entre ellas le ofrece al usuario una navegación sencilla e intuitiva entre los diferentes componentes del sistema; lo que permite la realización rápida y eficaz de las actividades apoyadas por el sistema.
- La implementación del módulo de autenticación de usuarios brinda la seguridad requerida por el sistema para garantizar el acceso exclusivo de personal autorizado y controlar los permisos de ciertas funcionalidades otorgados a cada usuario.
- Cada levantamiento de datos puede diferir en gran medida de los demás gracias a la flexibilidad ofrecida por el sistema mediante la configuración previa a cada toma de datos; lo que permite que el usuario pueda escoger los parámetros que mejor se adapten a cada sesión de captación de datos.
- El desarrollo de los módulos de toma de datos y d análisis de fallas le otorga a los funcionarios encargados de realizar los levantamientos de datos sobre el estado del pavimento nuevas herramientas que pueden mejorar su desempeño mediante la semi-automatización de los procesos que conforman sus actividades.

- La implementación de los módulos de publicación de datos y de visualización de datos permiten la evaluación apoyada por material fotográfico del estado de las secciones de pavimento en las cuales se ha realizado un levantamiento de datos con anterioridad desde cualquier lugar con acceso al sistema de información geográfica.
- La metodología escogida para llevar a cabo el desarrollo del proyecto permitió la sencilla estructuración y organización de los procesos y actividades que concluyeron en la producción de un sistema de que cumple con los requerimientos especificados.
- La utilización de las herramientas software elegidas para la realización de este proyecto cumplió con satisfacer las necesidades del sistema en cuanto a funcionalidad, compatibilidad, rapidez, seguridad y confiabilidad. La mayoría de estas herramientas no son gratuitas; pero el grupo de investigación en Geomática cuenta con las licencias de estas herramientas al día.
- La automatización completa de el proceso de cálculo del índice de condición de pavimentos es una tarea complicada y de difícil realización, debido entre otros factores, a la necesidad de usar técnicas fotogramétricas en las imágenes para estimar el tamaño de las fallas, y a la falta de un proceso automático que permita obtener los datos presentes en las tablas del valor deducido para cada tipo de falla.
- Las técnicas, procedimientos y metodologías aprendidas durante la formación universitaria fueron de invaluable ayuda para el desarrollo de un sistema que cumple con las especificaciones requeridas en cuanto a funcionalidad y características de desempeño.
- El desarrollo del presente proyecto de grado contribuyó significativamente en la formación profesional de los autores debido a

que afianzó los conocimientos adquiridos en las clases, y permitió aplicarlos en la construcción de un sistema bajo condiciones reales.

- Los productos obtenidos y los conocimientos adquiridos durante este proceso contribuyen en la realización del proyecto del grupo de investigación Geomática que busca desarrollar un sistema automatizado para la evaluación del estado de la malla vial.

6. RECOMENDACIONES

- Aumentar el nivel de automatización de los procedimientos de levantamiento de datos permitiéndole al usuario realizar la medición de las fallas sobre el registro fotográfico, lo que elimina la necesidad de usar instrumentos de medición en los levantamientos de datos. Esto puede lograrse mediante la implementación de cálculos fotogramétricos o comparando, una vez el usuario ingresa el área de la sección del pavimento representada por la imagen, el tamaño en pixeles de región reconocida como falla con el total de la imagen.
- Aprovechar las facilidades que ofrece el sistema en lo referente a la realización de levantamientos de datos incrementando la frecuencia de las inspecciones con el fin de mantener actualizado el inventario del estado general de la mala vial.
- Mejorar la flexibilidad del sistema mediante la opción de grabar videos en lugar de tomar fotografías en los levantamientos de datos, los cuales serían representados con una línea en vez de un punto en el SIG web.
- Usar el módulo de imágenes de estado del pavimento presente en el sistema de información geográfica web para darle a los funcionarios responsables mayor facilidad al realizar el diagnóstico del estado de la malla vial, aprovechando de esta manera las ventajas ofrecidas por la publicación de la información.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Morales, J. (2000). Arquitectura de Sistemas: Un enfoque Evolutivo. <http://www.morales-vazquez.com/pdfs/arquitectura.pdf>
- Ortigosa, Álvaro (2008). Interfaces de Usuario Avanzadas. Arquitecturas de software. E.P.S. Universidad Autónoma de Madrid. <http://arantxa.ii.uam.es/~ortigosa/poo/09-J2EE.pdf>
- The Adobe ® Team (2009). Using Adobe Flash Builder. Adobe Systems Incorporated, 345 Park Avenue, San Jose, CA 95110-2704, USA. http://livedocs.adobe.com/flex/gumbo/flex_4_usingflashbuilder.pdf
- Maceda, H. C. (2008). Ingeniería de Software: Software por todos lados, 1-23. Universidad Autónoma Metropolitana. <http://www.humbertocervantes.net/cursos/ingsoft/PresentacionCurso.pdf>
- Mejía Alvarez, Pedro (2003). Ingeniería de Software. CINVESTAV-IPN, México. <http://www.ctic.uni.edu.pe/files/insoft01.pdf>
- Casado Fernández, M. Cristina (2008). Manual Básico de Matlab. Servicios Informáticos U.C.M. Apoyo a Investigación y Docencia. http://www.sisoft.ucm.es/Manuales/MATLAB_r2006b.pdf
- Curbera, Francisco (2001). Web Services Overview. IBM T.J. Watson Research Center. https://computation.llnl.gov/casc/workshops/components_2001/viewgraphs/FranciscoCurbera.pdf
- Palacios, Eliseo (2008). Aplicaciones ricas en Internet (RIA). Un enfoque de refactorización. Universidad Nacional de La Plata. <http://revista.info.unlp.edu.ar/tesinas/tesis44.pdf>
- Esp, I. N. G., Ricardo, L., & Varela, V. (2002). Pavement Condition Index (PCI) para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras. Ingepav, Manizales, Colombia.
- ASTM International ® (2008). Standard practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.

<http://www.cee.mtu.edu/~balkire/CE5403/ASTMD6433.pdf>

- Salvatore Cafiso, A. G.; Sebastiano B. (2006). Evaluation of Pavement Surface Distress Using Digital Image Collection And Analysis. Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey.
<http://www.docstoc.com/docs/15485127/Evaluation-Of-Pavement-Surface-Distress-Using-Digital-Image>
- Di Mascio P., Piccolo I., Cera L. (2007) AUTOMATED DISTRESS EVALUATION. University of Rome “La Sapienza”.
- Cline, Gregory D., Shanin Mohamed, Burkhalter Yeffey. Automated Collection for pavement condition index survey.
<http://pavement.wes.army.mil/papers/18/PAPER18.PDF>
- Cheng, H. D., & Miyojim, M. (1998). Automatic pavement distress detection system. Department of Computer Science, Utah State University.
- Wang, Kelvin; Smadi Omar. (2011). Automated Imaging Technologies for Pavement Distress Surveys. *Transportation Research E-Circular*, (July). Transportation Research Board.
- Yu, Xinren. (2011). Pavement Surface Distress Detection and Evaluation Using Image Processing Technology. The University of Toledo.
- López Candela, Carlos (2010). Metodología para Recolección y Análisis de Información Primaria como Soporte al Modelo de Gestión de Pavimentos en la Red Vial de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.
- Rey, Jorge R. (2009). El Sistema de Posicionamiento Global. University of Florida, IFAS Extension.
<http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN65700.pdf>
- Correa Muñoz, Nixon (2009). Cálculo de Coordenadas en el Marco del Nuevo Sistema de Referencia Magna-Sirgas. Universidad del Cauca, Colombia.
<http://ublogs.unicauca.edu.co/ingenieriahoy/files/2010/07/4.pdf>