

CIS1430IS10
GENERACIÓN DE MOSAICOS GEORREFERENCIADOS A PARTIR
DE IMÁGENES CAPTURADAS CON VEHÍCULOS AÉREOS NO
TRIPULADOS.

KEVIN LAURTIZEN VASQUEZ LARGO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
2014

CIS1430IS10

Generación de mosaicos geo-referenciados a partir de imágenes capturadas con vehículos Aéreos no tripulados

Autor(es):

Kevin Lauritzen Vasquez Largo

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO DE
SISTEMAS

Director

Javier Francisco López Parra

Jurados del Trabajo de Grado

César Julio Bustacara Medina

Iván Fernando Mondragón Bernal

Página web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1430IS10/>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
BOGOTÁ, D.C.
Junio, 2014

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA DE SISTEMAS**

Rector Magnífico

Jorge Humberto Peláez Piedrahita, S.J.

Decano Académico Facultad de Ingeniería

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

Decano del Medio Universitario Facultad de Ingeniería

P. Antonio José Sarmiento Nova, S.J.

Director de la Carrera de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Germán Alberto Chavarro Flórez

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Rafael Andrés González Rivera

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

AGRADECIMIENTOS

Tras un largo camino recorrido de recuerdos buenos y malos es el momento de hacer un alto y agradecer de manera sincera a todas las personas que ha contribuido con este gran logro.

Primero que todo quiero dar gracias a Dios por darme la fuerza, paciencia y perseverancia, necesarias para lograr salir adelante cada semestre. A mis padres Gustavo Sánchez y Yudith Largo, por el apoyo que me brindaron día a día durante mi carrera dándome a conocer que siempre estarán ahí cuando más los necesite. A Viviana Morales cuyo apoyo y amor fueron muy importantes en estos pasos finales de mi carrera. A mis compañeros de universidad por formar parte de mi vida y en especial a mis amigos Juan Murcia, Carlos Corzo y Angélica Vergara porque gracias a ellos el día a día no se convirtió en una tediosa rutina. A Juan Camilo Fajardo por compartir estos meses de trabajo y brindar un gran apoyo en todo momento.

A mi director de trabajo de grado, Javier López quien con su gran experiencia me guió en esta ardua labor como un gran maestro incentivándome a aprender, permitiéndome ser parte de este maravilloso proyecto brindándome su tiempo y disponibilidad en todo momento. A Maida Urrego porque fue una amiga más durante toda la carrera y me apoyó cada momento. A ellos y muchas personas más sólo resta decirles gracias por llegar a mi vida y por apoyarme logrando este sueño.

CONTENIDO

CONTENIDO	6
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE ILUSTRACIONES	10
I - INTRODUCCIÓN	14
II - DESCRIPCION GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO	14
2.1. OPORTUNIDAD, PROBLEMÁTICA, ANTECEDENTES.....	15
2.1.1 Descripción del contexto	15
2.1.2 Formulación del problema que se resolvió	16
2.1.3 Justificación.....	16
2.1.4 Impacto Esperado.....	16
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	17
2.2.1 Visión global.....	17
2.2.2 Objetivo general.....	17
2.2.3 Fases Metodológicas	17
2.2.4 Método que se propuso para satisfacer cada fase metodológica.....	18
III – MARCO TEÓRICO	21
3.1 ANÁLISIS DEL SOLUCIONES EXISTENTES Y HERRAMIENTAS	21
3.1.1 Experiencia Empresarial 1.....	21
3.1.2 Experiencia Empresarial 2.....	22
3.1.3 Experiencia Empresarial 3.....	23
3.1.4 Experiencia Académica 1	24
3.1.5 Experiencia Académica 2	25
3.2 MARCO CONCEPTUAL	26
3.2.1 Sensores remotos para adquisición de imágenes.....	27
3.2.2 Generación y Georreferenciación de imágenes de teledetección ambiental	29
2.3 Global Navigation Satellite System.....	34
2.4 Técnicas para capturar Imágenes.....	36
3.3 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	38
IV – DESARROLLO DEL TRABAJO	39
4.1 ANÁLISIS DE VARIABLES.....	41
4.1.1 Altura:	41
4.1.2 Angulo de Inclinación:	42

4.1.3	Coordenadas GPS:.....	42
4.1.4	Características de la Cámara:	42
4.2	MÉTODO DE “MOSAICING”	43
4.2.1	Obtención de Características	44
4.2.2	Extracción de Descriptores:.....	44
4.2.3	Unión y filtrado de puntos comunes.....	45
4.2.4	Obtener Matriz de Homografía.....	46
4.3	MÉTODO DE GEORREFERENCIACIÓN	47
4.3.1	Análisis de Altura	48
4.3.2	Calculo de Área.....	49
4.3.3	Georreferenciación del mosaico	50
V	- PROTOTIPO DEL APLICATIVO	51
5.1	DESARROLLO DEL PROTOTIPO – DOCUMENTACIÓN	52
5.1.1	Propósito	52
5.1.2	Alcance	52
5.1.3	Perspectiva de la aplicación	52
5.1.4	Restricciones	52
5.1.5	Operaciones.....	53
5.1.6	Modelo de dominio.....	54
5.1.7	Requerimientos.....	56
5.1.8	Priorización.....	57
5.2	DESARROLLO DEL PROTOTIPO – DISEÑO.....	57
5.2.1	Propósito	58
5.2.2	Apreciación Global	58
5.2.3	Vista de Lógica.....	59
5.2.4	Vista de Desarrollo.....	60
5.2.5	Vista de Despliegue	61
5.3	PROTOTIPO FUNCIONAL	62
5.3.1	Funcionamiento.....	62
5.3.2	Área de trabajo.....	63
VI	- RESULTADOS Y REFLEXIÓN SOBRE LOS MISMOS	64
6.1	RESULTADOS.....	64
6.1.1	Prueba I.....	64
6.1.2	Prueba II.....	66
6.1.3	Prueba III.....	67
6.1.4	Prueba IV.....	70
6.1.5	Prueba V.....	73
6.2	COMPARACIÓN.....	77
6.2.1	GIMP.....	77
6.2.2	HUGIN	77

6.2.3 Google Maps (Earth).....	78
6.3 REFLEXIONES	80
6.3.1 Basado en los Objetivos	80
VII – CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	82
7.1 CONCLUSIONES	82
7.2 IMPACTO	83
7.3 TRABAJOS FUTUROS	84
VIII - REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	85
IX - ANEXOS.....	89
ANEXO 1. SRS (SOFTWARE REQUIREMENT SPECIFICATION).....	90
ANEXO 2. PLANTILLA SRS:.....	90
ANEXO 3. PRIORIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	90
ANEXO 4. SAD (SOFTWARE ARCHITECTURE DOCUMENT).....	90
ANEXO 5. MANUAL DE INSTALACIÓN	90
ANEXO 6. MANUAL DE USUARIO	90
ANEXO 7. PLAN DE PRUEBAS	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Equivalencias.....	50
Tabla 2.	Restricciones de desarrollo.....	53
Tabla 3.	Lista de Requerimientos	56
Tabla 4.	Escala de prioridad de un requerimiento	57

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Tipos de Georreferenciación tomada de (Mackern, 2004).....	30
Ilustración 2.	Método del Punto tomada de (Merchand, y otros, 2008).....	31
Ilustración 3.	Método del Polígono tomada de (Merchand, y otros, 2008).....	32
Ilustración 4.	Rectángulo de Coordenadas tomada de (Merchand, y otros, 2008).....	32
Ilustración 5.	Método del punto-radio tomada de (Merchand, y otros, 2008)	33
Ilustración 6.	Componentes de la Arquitectura GNSS tomada de (Groves, 2013)	35
Ilustración 7.	Múltiples satélites en GNSS tomada de (Groves, 2013).....	35
Ilustración 8.	Fases Metodológicas Parciales.....	40
Ilustración 9.	Vista General de los Tipos de análisis	41
Ilustración 10.	Vista General de los Métodos de la solución	43
Ilustración 11.	Vectores característicos.....	45
Ilustración 12.	Transformaciones en Matriz de Homografía (F.C. Wun, 2010)	46
Ilustración 13.	Relación de puntos entre dos imágenes	47
Ilustración 14.	Ángulos de apertura de un lente, tomada de (Calcom, 2014)	48
Ilustración 15.	Campo de visión	49
Ilustración 16.	Triangulo de Pitágoras (INove, 2014).....	49
Ilustración 17.	Modelo de dominio	55
Ilustración 18.	Modelo 4+1	58
Ilustración 19.	Vista Lógica	59
Ilustración 20.	Vista de Desarrollo	60
Ilustración 21.	Vista de Despliegue	61
Ilustración 22.	Área de Trabajo 1.....	63
Ilustración 23.	Área de trabajo 2.....	63

Ilustración 24.	Prueba I, paso 1	65
Ilustración 25.	Prueba I, paso 2	65
Ilustración 26.	Prueba I, paso 3	66
Ilustración 27.	Prueba II, paso 1	66
Ilustración 28.	Prueba II, paso 2	67
Ilustración 29.	Prueba II, paso 3	67
Ilustración 30.	Prueba III, paso 1	68
Ilustración 31.	Prueba III, paso 2	69
Ilustración 32.	Prueba III, paso 3	69
Ilustración 33.	Prueba IV, paso 1	70
Ilustración 34.	Prueba IV, paso 2	71
Ilustración 35.	Prueba IV, paso 3	71
Ilustración 36.	Prueba IV, paso 4	72
Ilustración 37.	Prueba IV, paso 5	72
Ilustración 38.	Prueba V, paso 1	73
Ilustración 39.	Prueba V, paso 2	74
Ilustración 40.	Prueba V, paso 3	74
Ilustración 41.	Prueba V, paso 4	75
Ilustración 42.	Prueba V, paso 5	75
Ilustración 43.	Prueba V, paso 6	76
Ilustración 44.	Prueba V, paso 7	76
Ilustración 45.	GIMP – Pandora	77
Ilustración 46.	HUGIN Parámetros	78
Ilustración 47.	Google Maps (Google Inc., 2014)	79

ABSTRACT

This paper presents the results of the thesis, in which a system for generating and *georeferencing* of aerial photography mosaics was developed; a mathematics supported method allowed unifying and calculate the coordinates from the input data obtained by an unmanned aerial vehicle (UAV). Through this development is possible to get a higher quality input for different geographic information systems that exist today. (Smal, 2014)

RESUMEN

Este documento presenta el resultado del trabajo de grado, en el cual se desarrolló un sistema de generación y georreferenciación de mosaicos de fotografías aéreas; mediante el planteamiento de un método con bases matemáticas que permitió unificar y calcular las coordenadas a partir de los datos de entrada obtenidos por un vehículo aéreo no tripulado. Por medio de este desarrollo es posible obtener un insumo de mayor calidad para diferentes sistemas de información geográficos que existen en la actualidad. (Light Blue Touchpaper, 2014)

I - INTRODUCCIÓN

La obtención de datos de alta calidad como insumo a diferentes metodologías soportadas por hardware y software, permite realizar un mejor análisis a los sistemas de información sobre las diferentes características de los terrenos o superficies que sean necesarias. Por lo anterior, en este trabajo de grado se generó un método alternativo que permite obtener este tipo de insumo basado en fotografías aéreas capturadas desde un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) y así tener una calidad superior a la actual; esto permite procesar dicha información de forma similar a realizar un proceso fotogramétrico (medición sobre fotografías) y así identificar características relevantes. La captura de fotografías es seguida por un proceso matemático de “*stitching*” que permite unir dos o más fotografías y basado en la georreferenciación final es posible ubicar de manera exacta un punto de la imagen en forma real.

II - DESCRIPCION GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

2.1. Oportunidad, Problemática, Antecedentes

2.1.1 Descripción del contexto

Actualmente, se pueden obtener y generar mosaicos de imágenes utilizando diferentes tipos de medios, como los celulares (o Smartphones), las cámaras fotográficas, de video hasta herramientas de software y hardware de propósito específico que brindan funcionalidades más profesionales (D. Doermann, 2003). Sin embargo el problema del uso de las herramientas radica en que estos no realizan una “generación correcta” de los mosaicos requeridos, es decir, en su mayoría se limitan a unir las imágenes una tras otra sin realizar una correcta proyección y corrección de los datos que allí se tienen (C. Miravet, 2010).

Por otra parte, las imágenes georreferenciadas que existen hoy en día no manejan un nivel detallado y de alta resolución. Esto se puede evidenciar en uno de los ejemplos más conocidos: GoogleEarth, en el cual se puede obtener el tipo de imágenes nombradas anteriormente pero su mayor acercamiento se basa en la fotogrametría (o fotografía aérea). Debido a la utilización de esta técnica estas imágenes tienen un cierto grado de error con respecto a sus puntos en tierra obtenidos por un GPS y su acercamiento como tal se produce alrededor de unos 1.000 metros de la superficie terrestre. Este procedimiento de obtención de imágenes es el más comúnmente utilizado (también es utilizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi).

Por lo anterior, las características en sí de los métodos utilizados no permiten en la actualidad una generación de mosaicos de alta precisión con métricas establecidas que permitan realizar un proceso posterior detallado de medición y procesamiento. Además estos métodos resultan muy costosos por la infraestructura requerida para la obtención de los datos. Por lo tanto se requieren de nuevas alternativas para mejorar la calidad de los mosaicos obtenidos (Shum, 1997).

2.1.2 Formulación del problema que se resolvió

¿Cómo generalizar un método que utilice una herramienta de software para ayudar a generar mosaicos geo-referenciados a partir de imágenes provenientes de vehículos aéreos no tripulados?

2.1.3 Justificación

Este trabajo de aplicación práctica se realizará con el fin de obtener una forma alternativa de generar imágenes unificadas en un mosaico de manera más detallada y aplicar las teorías de corrección geométrica en el post-procesamiento. Para lograr la integración de varias imágenes en un solo mosaico es necesario identificar las principales características que estas deben cumplir desde el mismo momento de la captura. Tener en cuenta condiciones de vuelo y tipo de cámara a utilizar. Todas estas variables tienen una incidencia que debe ser identificada en el pos procesamiento. El objetivo a largo plazo es que estos mosaicos sean utilizados por usuarios que requieran ingresar imágenes a diferentes sistemas de información geográfica. Las aplicaciones van desde un uso simple como consulta de puntos en un mapa hasta usos más complejos como procesamientos para modelos de elevación o análisis de terrenos para encontrar patrones visuales y realizar detecciones específicas (E. Crepani, 2005).

2.1.4 Impacto Esperado

El método que se genere y las herramientas de software que se propongan en este proyecto tienen como fin a corto, mediano y largo plazo, convertirse en un insumo importante de datos para los sistemas de información geográfica o cualquier sistema que se encuentre relacionado con este contexto. Se espera que los mosaicos generados a partir del método propuesto cumplan con mejores características de precisión, con respecto a otros métodos utilizados. . Inicialmente, en el plazo más corto esta se utilizará para la obtención de mosaicos proyectados de una manera más exacta y además que se encuentren geo-referenciados. A mediano plazo, se empleará para generar el insumo necesario en el desarrollo de aplicaciones de modelos de elevación que se encuentra dentro de la siguiente fase del proyecto. Y finalmente a largo plazo, se contemplará su utilización en diferentes proyectos de la facultad de ingeniería. El impacto principal del proyecto como se observa en los diferentes plazos es poder generar un insumo de imágenes optimizado mediante post-procesamiento para los análisis geográficos, teóricos o

prácticos en los cuales se pueda utilizar. Se tiene como objetivo final dentro de este alcance, que los procesamientos realizados para capturar, unificar y optimizar los mosaicos mediante las correcciones posteriores se realicen de forma abierta y más detallada, dado que las imágenes capturadas a baja altura tendrán una mayor resolución espacial.

2.2 Descripción del Proyecto

2.2.1 Visión global

El análisis de imágenes se ha convertido en un aspecto fundamental en los diferentes contextos tanto académico como empresarial, la captura con un detalle adecuado permite conocer a fondo cómo este tipo de información da soporte a diferentes tipos de detecciones. El método para a captura y generación de mosaicos geo-referenciados que se propuso en este trabajo de grado se basa en la adecuación de una técnica para los usuarios, basado en un proceso de acorde a las condiciones y según las necesidades de los mismos. Este trabajo de grado se desarrolló teniendo en cuenta las diferentes técnicas existentes, que incluye recursos conectados entre sí permitiendo una mayor eficiencia, de manera que se aprovecharon algunas de las características de las herramientas de software y hardware existentes.

2.2.2 Objetivo general

Diseñar un método apoyado por una herramienta de software para generar mosaicos geo-referenciados a partir de imágenes capturadas por vehículos aéreos no tripulados.

2.2.3 Fases Metodológicas

Para esta sección los objetivos específicos descritos anteriormente se alinean en cada una de las fases metodológicas que se realizarán en el trabajo de grado y de esta manera se asegura el cumplimiento en su totalidad; se profundizará en la metodología y se listan de forma global a continuación:

Fase 1: Conceptualización

Ubicar las posibles fuentes de datos para obtener información acerca de distintos métodos existentes para la generación y georreferenciación de imágenes.

Fase 2: Análisis

Definir características, atributos y subprocessos relevantes asociados a la generación de mosaicos geo-referenciados.

Fase 3: Diseño

Diseñar el método teniendo en cuenta la integración de las herramientas de software y hardware necesarias para la generación de mosaicos de imágenes.

Fase 4: Implementación

Realizar la documentación del método, implementación e integración de las herramientas de software necesarias para producir mosaicos de imágenes geo-referenciadas.

Fase 5: Validación

Verificar la eficacia del método propuesto y de las herramientas de software implementadas a partir de un conjunto de imágenes capturadas, procesadas e integradas en un mosaico.

2.2.4 Método que se propuso para satisfacer cada fase metodológica

Para la realización de éste trabajo de grado, se utilizó una metodología de desarrollo en cascada, cada fase metodológica tiene un entregable, en donde fue necesario aplicar un conjunto de métodos que permitieran alcanzar cada uno de los objetivos implícitos y así cumplir el objetivo general de éste trabajo de grado.

1. Conceptualización

En esta fase se ubicaron las posibles fuentes de datos para obtener información acerca de distintos métodos existentes para la generación y geo-referenciarían de imágenes.; se realizaron lectura de documentos publicados en artículos de revistas científicas. Así se lograron establecer las fuentes de información principales de las características de los vehículos aéreos no tripulados y de los dispositivos a bordo que pueden soportar, también se investigaron los

distintos métodos documentados existentes para la generación de mosaicos de imágenes y experiencias en donde han sido aplicados.

2. Análisis

En la fase de “análisis” se definieron las variables necesarias para incorporar en el método propuesto, los requerimientos y funcionalidades que proveerá la herramienta de software que soportará el método. Se utilizó una metodología de carácter analítico; basándose en la selección de características relevantes para incorporar en el método y en levantamiento de requerimientos necesarios para la herramienta de software a implementar. Se especificaron un conjunto de características y procedimientos propios de la generación de mosaicos y seleccionaron las mejores prácticas de cada método; para así lograr formalizar de los requerimientos la herramienta de software a implementada y adaptada.

3. Diseño

Esta fase de “diseño” se enfocó principalmente en utilizar los resultados de las fases anteriores con el fin de elaborar el método propuesto. Para esto, utilizó una metodología integración basada en flujos de trabajo. Estos “*workflows*” permitieron enlazar y unificar técnicas de generación de mosaicos con georreferenciación de los mismos, además permitieron adaptar los procesos al método propuesto, de manera que la integración con el vehículo aéreo no tripulado sea realizada y ajustada teniendo en cuenta dichos el contexto del mismo. Para esta fase del proyecto se utilizó una metodología centrada en elaborar modelos, diagramas y restricciones teniendo en cuenta posibles entradas y salidas de “*workflows*” referentes a procesos de generación de mosaicos, se propusieron las mejoras que se integraban a dichos procesos y al contexto generado durante la fase de conceptualización y análisis, por medio de un conjunto de prácticas apropiadas. Se evaluaron alternativas de software, que permitieron decidir si desarrollar o para adaptar las herramientas tecnológicas útiles para hacer más eficiente el método propuesto, además se documentó tanto el método como las herramientas de software implementadas o adaptadas.

4. Implementación

En la fase de implementación se refinó el método propuesto, se construyeron y adaptaron las herramientas de soporte para hacer más eficiente el método propuesto. Es decir, en esta fase de implementación se utilizaron algunas herramientas especializadas para la construcción de mosaicos, la corrección de algunos atributos y finalmente la posterior generación del mapa geo-referenciado, refinando el método propuesto para la generación construyendo y adaptará la herramienta base según el diseño elaborado previamente e incorporando los atributos elegidos correspondientes a la generación de mosaicos y finalmente se construyó el entregable mencionado anteriormente.

5. Validación

En la fase de “validación” finalizada la integración y generado el método, se verificó el mismo, se utilizó una verificación de la relevancia, coherencia, suficiencia y claridad del método para determinar si lo realizado durante las fases anteriores cumplió realmente con las expectativas del proyecto. De igual forma, se verificó que la herramienta que se construyó es acorde a los requerimientos definidos en una fase anterior. Además en esta fase se detectaron errores o fallas de la implementación realizada, para lograr estimar el grado de cumplimiento de todos los objetivos y medir el impacto del mismo. Para lo anterior se ejecutó un plan de pruebas elaborado para la verificación de la herramienta, y así se realizó el control y seguimiento al proceso descrito en la metodología teniendo en cuenta las funcionalidades y características desarrolladas. Finalmente se generó un manual de usuario del método y de las herramientas de software para la generación de mosaicos.

III – MARCO TEÓRICO

3.1 Análisis del Soluciones Existentes y Herramientas

Para comprender el presente trabajo de grado, se abarcaran conceptos como generación de mosaicos, georreferenciación, captura de imágenes y vehículos aéreos no tripulados; los cuales relacionados de distintas maneras, permitiendo conocer las diferentes experiencias y estudios que se han realizado en el área y que a su vez han aportado conocimiento y mejorado el manejo dado a las aplicaciones que se encuentran basadas en los conceptos ya mencionados. A continuación se presentan algunos de los estudios que se han realizado en el área de generación de mosaicos y las técnicas de captura de imágenes incorporando conceptos y herramientas como las ya mencionadas.

3.1.1 Experiencia Empresarial 1

Uno de los estudios mencionados se presenta en el artículo titulado: “*Creating a mosaic using small format aerial photographs*” (Hofstee, 2012); realizado en el año 2012 por el International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) en Enschede, The Netherlands, el cual muestra un forma de generar mosaicos a partir de imágenes SFAP (Small Format Aerial Photography), lo cual reduce el costo tanto en tiempo como en dinero y aumenta la autonomía del usuario ayudado por el ILWIS (software desarrollado para este proyecto); además el artículo señala algunas desventajas asociadas al proceso.

Básicamente esta técnica se adapta para áreas relativamente pequeñas, que no requiera cartografía de precisión dado que las cámaras utilizadas tienen una exactitud aceptable. Más sin embargo en casos como “Longonot-Kijabe (área localizada al sureste del lago Naivasha en Kenya)” el cual tiene una limitación importante debido a la falta de información actualizada para la zona, ya que no se reflejan los problemas de degradación del suelo. Las imágenes como por ejemplo del “Landsat TM (mapas temáticos realizados con el satélite Landsat)” tienen una resolución demasiado baja; por lo tanto el uso de SFAP (Warner, 1996) parcial y complementariamente con las fotografía área convencional nos muestra una solución parcial al problema.

Los pasos principales de este proceso son:

1. Planificación de un vuelo para fotogrametría con cobertura estereoscópica.
2. Obtener fotografías disponible extrayendo los “puntos de unión”, para generar un insumo adicional al software a utilizar.
3. Georreferenciar las coordenadas y aplicar la transformación de las imágenes, en esta fase final se ajustan manualmente los puntos que presentan errores debido al acercamiento vs la ventana de fallo del GPS.
4. Re muestreo de imágenes y creación del mosaico; este paso final únicamente se basa en las coordenadas asociadas a cada una de las esquinas de la foto y de forma iterativa adicionar cada imagen al nuevo “grupo” de mayor resolución.

Este estudio concluye con un análisis posterior a la generación de algunas propiedades tanto de manera visual como computacionalmente para identificar las causas y consecuencias de la degradación del suelo.

3.1.2 Experiencia Empresarial 2

En el estudio titulado: “Semiautomatic generation of mosaics. Application of Image fusion techniques” (C. Miravet, 2010). Se llevó a cabo por la División Aeroespacial. SENES Ingeniería y Sistemas. S.A. en Tres Cantos, Madrid. Este estudio expone un sistema semiautomático de generación de mosaicos con el propósito de reducir la intervención humana en el proceso, así como sus aplicaciones en los procesos de teledetección.

El proceso de generación pretende minimizar las discontinuidades presentadas por el momento de la generación, también en relación a los sensores y las geometrías en las imágenes capturadas, y así seleccionar de forma óptima la información a presentar en las zonas de solapamiento entre distintas vistas (o imágenes). Para reducir el problema de generación de un mosaico sin pérdida de la generalidad, se realiza a partir de dos imágenes de entrada, tratando el problema por la aplicación iterativa del proceso.

El procedimiento para la generación de mosaicos a partir de dos imágenes se realiza en cuatro pasos:

1. Corrección geométrica
2. Corrección radiométrica

3. Determinación del contenido óptimo en la zona de solape
4. Generación de la imagen compuesta.

En el primero, se determinan las funciones de correspondencia geométrica entre las dos imágenes de entrada, asegurando la continuidad geométrica en las zonas de solape (zonas en las que se unen dos vistas); el segundo, expone las transformaciones radiométricas para evitar discontinuidades de intensidad y contraste en la imagen resultante, permitiendo imponer condiciones de igualdad en las distribuciones de nivel de gris; en el tercero se calcula el resultado óptimo para cada pixel de forma automática, mediante un procedimiento de fusión de imágenes desarrollado en SENER (lugar en que el cual se realizó el estudio); y finalmente, el cuarto presenta como generar el resto de la imagen mediante la aplicación del registro y de las correcciones radiométricas.

Para finalizar en el artículo se presentan algunos resultados de la generación del mosaico de imágenes en la ciudad de Victoria durante los años 1932 -1933.

3.1.3 Experiencia Empresarial 3

También se tiene el artículo llamado “An Automatic System for Creating Geo-referenced Mosaics from MAV Video” (Andersen, 2008, Sep). Estudio que se expuso en la International Conference on Intelligent Robots and Systems, en Nice, Francia. Surgió debido a las significativas ventajas en cuanto a costo, transmisión de datos, transporte, entre otras que ofrecen los vehículos aéreos no tripulados UAVs miniatura (MAV), aunque es necesario disminuir los efectos negativos que se puedan ocasionar por las perturbaciones atmosféricas, el video tiene a menudo una gran cantidad de movimiento innecesario causando dificultad para el usuario en los objetos de interés existentes en el video.

Por lo anterior, para superar la inestabilidad del MAV se ha realizado trabajo en la estabilización y mosaicos de vídeo. Un método para proporcionar contexto para el usuario sería tomar cada imagen (fragmento de video) proporcionada por el MAV, sincronizarlo con una estimación de pose (o posición) de la MAV desde el momento en que la imagen fue capturada, y proyectar la imagen en una imagen geo referenciada de la tierra. La dificultad de este método radica en que cada estimación de pose individual puede tener una cantidad significativa de error, que conlleva a desviaciones significativas en la localización de una imagen capturada al suelo.

Para este artículo se supone que la navegación del vehículo autónomo es asistida por GPS, lo que elimina la necesidad de navegar para capturar las imágenes del mosaico. También, presenta la manera de superar el ruido en la primera estimación de pose para crear un mosaico referenciado a nivel mundial. Pero se extiende el trabajo de mosaicos antes de incluir el contexto global en el mosaico basándose en demostrar que para un solo punto, la geo-ubicación exacta se puede lograr usando sólo las estimaciones de pose del MAV y así integrar la técnica para geo-localizar puntos múltiples y el procedimiento generación de mosaicos.

El desarrollo detallado de este tema se introduce el sistema en su conjunto para la creación de mosaicos geo referenciados; en el siguiente paso se describen con más detalle cómo refinar la geo-localización de varios puntos simultáneamente, proporcionando información de geo-referencia del mosaico; finalmente describe los resultados que demuestran las capacidades del sistema concluyendo el artículo y presentando el trabajo futuro acerca de esta temática.

3.1.4 Experiencia Académica 1

Otro artículo titulado: “*Automated Mosaicing with Super-resolution Zoom*” (Zisserman, 2010); realizado por el grupo de investigación robótica perteneciente al departamento de Engineering Science de la universidad de Oxford en el 2010; aclara como se pueden generar un mosaico (o realizar “mosaicing”) basado en la captura de una secuencia de imágenes adquiridas por una cámara que gira alrededor o tiene eje en su centro; explicando a su vez los beneficios que esto proporciona principalmente en dos áreas diferentes en las cuales se enfocó este estudio.

Las nuevas contribuciones se encuentran en dos áreas; en primer lugar, en la automatización y la estimación de registro de imágenes, es decir, basado en 60 o más imágenes que son registradas bajo una completa homografía (busca puntos en común entre las vistas o imágenes para lograr realizar la unión y simular que se encuentran en el mismo plano o mosaico) y se utiliza un estimador de máxima verosimilitud; como este registro es coherente no hay errores acumulados en la secuencia generada.

La segunda área en la cual se enfoca el artículo describe como obtener una mayor resolución; de esta forma se puede lograr que una región del mosaico generado pueda ser vista en una resolución más alta que las todas las entradas originales; para esto se utiliza una medida basada en una norma de la matriz que determina el grado de mejora posible para un área en particular,

cabe aclarar que las áreas de mayor resolución se basan en la cantidad de imágenes de entrada que se tengan.

Para lograr estas mejoras mencionadas se utiliza los resultados de tanto MLE (Estimador de Máxima Verosimilitud) y estimación MAP (Estimación Máxima a Posteriori) que se incluyen para las secuencias que fueron adquiridas por una cámara de vídeo y una cámara CCD (Dispositivo de Carga Acoplada). Luego de realizar la captura automática de imágenes y ejecutar un algoritmo para la proyección de las superficies, este estudio concluye con la combinación y alineación correctamente de las imágenes lo cual asegura la consistencia del mosaico.

3.1.5 Experiencia Académica 2

Finalmente se tiene el artículo “Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features” (Lowe M. B., 2010). En este trabajo se aborda la construcción de una imagen panorámica totalmente automatizada. Nos explica como con 1D (un solo eje de rotación) está bien estudiado, pero al trabajar con 2D o varias “filas” de construcción es más difícil su tratamiento y para algunos enfoques que se han utilizado las entradas o las restricciones a la secuencia de imágenes intentan establecer las imágenes que coincidan. En este trabajo se formuló una construcción como un problema de coincidencia de múltiples imágenes y el uso de las características locales invariantes para encontrar coincidencias entre todas las imágenes pero dado lo anterior el método utilizado es insensible al ordenamiento, orientación, escala e iluminación de las imágenes de entrada; también es insensible a las “imágenes de ruido” definidas como aquellas que no forman parte del panorama que está siendo analizado y puede generar un conjunto de datos con imagen desordenadas. Entrando en detalle, para la generación el primer paso del algoritmo es extraer e igualar las características SIFT de las imágenes, después se emparejan las imágenes y finalmente se utiliza una estimación de homografías robusta usando RANSAC. Luego se realiza un modelo probabilístico para verificación de igualamiento de imágenes. En el paso posterior se muestra el resultado obtenido de realizar el emparejamiento de imágenes tomando la conexión de componentes y finalmente los paisajes finales obtenidos. En este trabajo se ha presentado un nuevo sistema para la unión panorámica totalmente automático. El uso de las características locales invariantes y un modelo probabilístico para verificar la coincidencia de imagen nos permite reconocer múltiples

panoramas en conjuntos de imágenes desordenadas, y construirlos de manera totalmente automática sin intervención del usuario. El sistema es robusto al punto de soportar una cámara con zoom, la orientación de las imágenes de entrada, y los cambios en la iluminación, debido a los ajustes del flash y de la exposición/apertura. Finalmente un esquema de mezcla multi-banda asegura que existan transiciones suaves entre las imágenes a pesar de las diferencias de iluminación, al tiempo que preserva los detalles de alta frecuencia.

3.2 Marco Conceptual

Los temas principales que se van a tratar en esta sección son UAV, técnicas de captura de imágenes, fotogrametría, generación y georreferenciación de mosaicos. Los conceptos de captura de imágenes son fundamentales para entender los conceptos relacionados con los mosaicos, estos presentan un principio fundamental común que es la fotogrametría sobre la cual se fundamenta la técnica sobre la cual gira el presente trabajo de grado. Estos conceptos se aterrizan en el contexto de captura con UAVs y post-procesamiento.

La fotografía aérea se basa en un análisis de la superficie terrestre mediante el empleo de cámaras fotográficas instaladas a bordo de diversos medios aéreos. Se utiliza para recaudar información sobre la naturaleza de los terrenos y la extensión de los cultivos, o para obtener información sobre objetivos estratégicos. Los obstáculos físicos podrían desaparecer gracias a una nueva generación de soluciones de fotografía aérea en la que los UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado) como los son los drones, quadrópteros, y hexacópteros, que son algunas de sus denominaciones dadas sus aplicaciones prácticas. A estos vehículos se pueden integrar “cámaras baratas” y de bajo peso, la calidad de las imágenes es directamente proporcional a la capacidad del UAV. Sin embargo, eso no es necesariamente cierto: Camille Goudeseune, de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign”, mostro como se pueden obtener mosaicos de alta calidad unificando muchas fotos de detalle de poca calidad. (Sobrino, 2010)

3.2.1 Sensores remotos para adquisición de imágenes

Se entiende como Percepción Remota (o sensoramiento remoto) a la adquisición de datos sobre un objeto o escena por medio de un sensor que está alejado del mismo. Las fotografías aéreas, imágenes satelitales y radar son ejemplos de datos provenientes de sensores remotos, estas imágenes son representaciones digitales de la tierra. (Martín Gonzalez, 2014)

La mayoría de los sensores remotos registran Radiación Electromagnética (EMR), la cual es energía transmitida en forma de ondas eléctricas o magnéticas a través del espacio. Estos sensores detectan longitudes de onda específicas del Espectro Electromagnético. Dentro de los sensores remotos se deben tener en cuenta algunos tipos de resolución como la espectral (rangos específicos de longitud de onda que abarca un sensor), espacial (el área del terreno que representa un pixel), radiométrica (cantidad de valores posibles que puede almacenar o registrar un sensor -indicado por la cantidad de bits disponibles para representar o digitalizar la energía captada-) y finalmente la temporal (que tan seguido un sensor capta valores de una misma área -ciclos o tiempo de pasada-). (Martín Gonzalez, 2014)

3.2.1.1 Sensores sobre UAVs

Los vehículos aéreos no tripulados (UAVs), también se les conoce como drones, son naves aéreas capaces de volar sin piloto a bordo. Los UAV son controlados desde la base de forma manual por un piloto o también puede volar de forma autónoma incorporando un sistema de asistencia el cual consisten en un software de pilotaje que permite realizar el vuelo de forma más sencilla. En la actualidad el principal uso de los vehículos de tipo “*drone*” lo encontramos en el campo militar, fundamentalmente en misiones de reconocimiento, sin embargo, el cada vez más fácil acceso a este hardware ha ampliado su campo de acción. Sin olvidar que el uso de UAVs elimina también los riesgos de vidas humanas existente en las alternativas tripuladas en caso de accidente. (Chandler, UAV cooperative control, 2012)

Los UAVs tiene la capacidad de soportar diferentes tipos de accesorios como lo son, cámaras, sistemas GPS, sensores infrarrojos, cámaras de visión nocturna, sistemas de comunicación 3g, WiFi, wimax, etc., radares y sensores laser de distancia, sensores de ultrasonidos, brújulas, altímetros, sensores de las características del aire, lo cual nos permite obtener una gran cantidad de datos de estos y así lograr mediciones más precisas. Dentro de los diferentes tipos de UAV

podemos encontrar: Target y señuelo, Reconocimiento, Combate, Investigación y desarrollo y finalmente los UAVs Civiles y Comerciales. (Chandler, Pachter, Swaroop, & Fowler, 2013)

Podemos decir que los UAV tienen un gran potencial en una gran cantidad de áreas, “ya que puede desplazarse rápidamente sobre un terreno irregular o accidentado y superar cualquier tipo de obstáculo ofreciendo imágenes a vista de pájaro y otro tipo de información recogida por diferentes sensores”. Podemos tener un sistema con múltiples robots UAV el cual nos ofrecería redundancia dada su robustez, esto no permitiría tener cooperación en paralelo entre ellos, y así lograr cubrir grandes áreas en exteriores o crear redes de sensores móviles. A estas agrupaciones de UAVs se les conoce como “enjambres de vehículos aéreos no tripulados” y pueden desplegarse para realizar tareas de búsqueda ante cualquier tipo de desastre natural, como terremotos o ataques terroristas, ayudando a localizar a personas que puedan necesitar ayuda. (DYNAMICS S.L, 2012)

3.2.1.2 Formatos para el almacenamiento de archivos.

Las cámaras digitales mencionadas anteriormente utilizan memorias incorporadas, memoria flash o tarjetas de memoria como las CompactFlash (CF), Secure Digital (SD), tarjetas xD y las tarjetas Memory Stick, las fotos se almacenan en archivos JPEG o TIFF estándares o para nuestro caso específico en formato RAW que se explicó con un poco más de detalle posteriormente, este formato nos permite tener una mayor calidad de imagen pese al gran aumento de tamaño en los archivos. En su mayoría las cámaras utilizan técnicas de compresión para aprovechar al máximo el espacio de almacenamiento; estas se basan en dos características comunes en las fotografías:

a. los patrones: los cuales son las zonas en las que aparece el mismo color (o la misma secuencia) repetido varias veces (por ejemplo, una pared blanca), aprovechando este comportamiento las áreas pueden codificarse de manera que el espacio de almacenamiento necesario para ellas disminuya, lo anterior no suele conseguir grandes porcentajes de disminución. (Warner, 1996)

b. la irrelevancia: haciendo una similitud con los archivos de audio mp3 en los cuales se aprovecha de la incapacidad del sistema auditivo para detectar ciertos sonidos (o la ausencia de estos), en las cámaras digitales también se puede utilizar esta técnica y así eliminar

información que la cámara ha captado, pero que sabemos que el ojo humano va a ser incapaz de percibir. (Warner, 1996)

Al analizar las diferentes cámaras fotográficas (DSLR) podemos ver que utilizan el formato RAW (crudo), este formato contiene un conjunto de píxeles sin procesar obtenidos directamente del sensor de la cámara fotográfica lo cual nos provee un insumo mucho más limpio y con una mayor cantidad de información; además procesar imágenes en este formato nos brinda una mayor flexibilidad al ajustar el balance de blancos, compensar la exposición y cambiar la temperatura de color; reiterando la el formato RAW permite al usuario hacer ajustes importantes sin pérdida importante de la calidad de imagen lo cual obligaría a realizar otra tomar la fotografía. Cabe aclarar que a estas imágenes de pueden agregar más detalles algunas veces cambiando su formato, para adicionar etiquetas de metadatos como fechas, hora o marcas de georreferenciación. (Warner, 1996)

3.2.2 Generación y Georreferenciación de imágenes de teledetección ambiental

La georreferenciación es un método de coordenadas de mapa, que permite relacionar información de la posición entre documentos cartográficos de diversa procedencia. Nos permite asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. El conocimiento de la posición con respecto a un sistema único, en lo posible mundial, lo que permite correlacionar la información proveniente de distintas épocas, fuentes y temas. La georreferenciación se utiliza frecuentemente en los sistemas de información geográfica (SIG) para relacionar información vectorial e imágenes raster de las que se desconoce la proyección cartográfica, el sistema geodésico de referencia, o las distorsiones geométricas que afectan a la posición de los datos. (Merchand, y otros, 2008)

Existen por tanto dos sistemas de coordenadas: el sistema origen (medidas latitud-longitud global y coordenadas proyectadas [como metros de UTM]) y el sistema destino (cartesianas o planas que surge a partir del marco global.).Este proceso es determinado con una relación de posiciones entre elementos espaciales en ambos sistemas, de manera que, conociendo la posición en uno de los sistemas de coordenadas es posible obtener la posición homóloga en el otro sistema. (Moreira, 2010)

Algunos de los factores que afectan a la calidad de la rectificación son el número de puntos homólogos identificados y la distribución de estos puntos en la superficie del mapa. Cuanto mayor sea el número de estos puntos, mejor y más precisa puede ser la transformación matemática que obtengamos, permitiendo estimar los errores previsible en los cálculos.

Exactitud Horizontal: Para mapas publicados a escalas mayores que 1:20.000, no más del 10% de los puntos verificados, podrán tener un error mayor a 1/30 de pulgada, medido sobre una cartografía a esa escala. Para escalas 1:20.000 o menores, estén error debe ser menor a un 1/50 de pulgada. Estos límites de precisión son considerados para puntos bien definidos sobre la cartografía, es decir, elementos claramente identificados y que no cambien con el tiempo. Además, sobre esto también influye la precisión del instrumento utilizado al momento de realizar la medición sobre dichos elementos en el mapa, la cual debe tener una precisión de 1/100 de pulgada. (Merchand, y otros, 2008)

Exactitud Vertical: El estándar es igual para todas las escalas y corresponde a que no más de un 10% de las elevaciones verificadas, podrán exceder un error mayor a la mitad de un intervalo de curva de nivel o equidistancia. (Merchand, y otros, 2008)

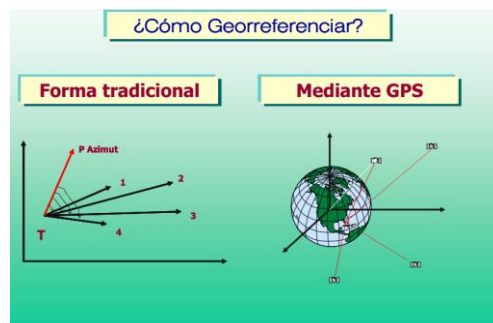


Ilustración 1. Tipos de Georreferenciación tomada de (Mackern, 2004)

3.2.2.1 Métodos

Cuando se trata de rectificar un documento escaneado, las coordenadas origen corresponden a los valores de la fila y la columna en la imagen raster. Algunos de los nombres relacionados con estas transformaciones son los siguientes: transformación conforme, afín, o polinómicas.

La transformación conforme está compuesta por una traslación según el eje X, otra en el eje de las Y, un giro y un cambio de escala. Una transformación de tipo afín permite calcular los mismos parámetros que la transformación conforme pero aplicando un cambio de escala diferente en el eje de las X y en el eje de las Y. La transformación polinómica de grado superior a dos permite corregir distorsiones e imprecisiones de manera más exacta a cambio de distorsionar la apariencia del documento para adaptarse mejor a la geometría. (Moreira, 2010)

Las características que deben tener los puntos seleccionados para calcular la rectificación son las siguientes:

- ✓ Los puntos deben corresponder con elementos fijos en el tiempo; por ejemplo, un banco de arena de una carta náutica es menos fiable que un islote de roca.
 - ✓ Deben ser claramente identificables en todos los documentos. Si es posible, se deben seleccionar elementos en los que se supone que por sus características se ha dibujado con la máxima precisión; por ejemplo, es de esperar que la situación de un faro sea más exacta en una carta de navegación que un elemento alejado de la costa y que no es visible desde el mar.
 - ✓ Los puntos deben estar separados unos de otros y estar homogéneamente distribuidos en todo el mapa.
- a. “Método de punto: Es el más comúnmente utilizado, se asigna un par de coordenadas a cada descripción, ignora que se describe un área, no refleja el nivel de precisión de una descripción” (Merchand, y otros, 2008)

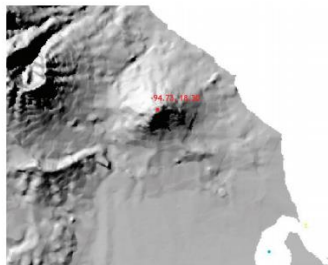


Ilustración 2. Método del Punto tomada de (Merchand, y otros, 2008)

- b. “Método de polígono: se delimita un rasgo geográfico por medio de uno o varios polígonos, se puede representar de manera muy completa la distribución espacial de las descripciones de localidades, archivar polígonos en una base de datos es mucho más complicado que archivar pares de coordenadas” (Merchand, y otros, 2008)

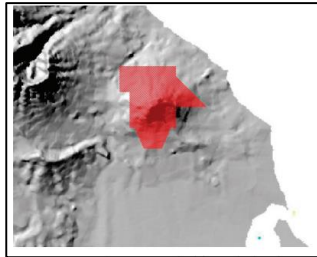


Ilustración 3. Método del Polígono tomada de (Merchand, y otros, 2008)

- c. “Rectángulo de coordenadas: es un método común para describir rasgos geográficos, cuatro pares de coordenadas forman un rectángulo sobre el área descrita, los rectángulos son más fáciles de producir, pero resultan menos específicos”.

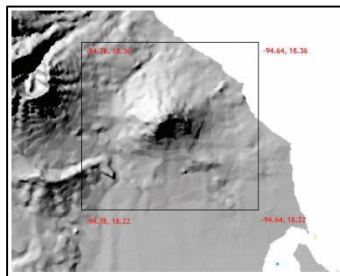


Ilustración 4. Rectángulo de Coordenadas tomada de (Merchand, y otros, 2008)

- d. “Método de punto-radio: el método de punto radio define una descripción de localidad con dos elementos: el punto de coordenadas y su incertidumbre determinada por: la extensión de la localidad de referencia, desconocimiento del datum (descripción matemática y de la forma de la tierra así como el origen y orientación de los sistemas de coordenadas), imprecisión en la determinación de la distancia, imprecisión en la medición de las coordenadas, escala del mapa utilizado, imprecisión con que se definió la dirección de referencia. La incertidumbre se

representa con una medida de longitud, esta distancia define una circunferencia que delimita el área en donde, con mayor probabilidad, se ubica el sitio de colecta”.

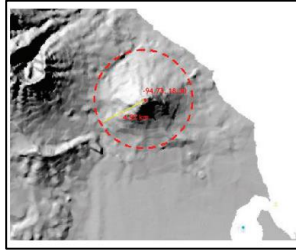


Ilustración 5. Método del punto–radio tomada de (Merchand, y otros, 2008)

3.2.2.2 Características especiales de los documentos

En primer lugar, los documentos en los que en su realización se puede suponer que por la finalidad del mapa se utilizaron métodos y técnicas que garantizan una precisión homogénea. En este tipo de mapas puede conseguirse una buena georreferenciación identificando tres o cuatro puntos homólogos. Para poder identificar estos documentos es conveniente poder disponer de información de cómo se realizó el proceso cartográfico. (Moreira, 2010)

Por otro lado, los mapas en los que la utilidad, finalidad, medios técnicos, o métodos utilizados en su realización no garantizan una precisión geométrica homogénea en toda la mancha del mapa¹. Para obtener una rectificación de calidad de este tipo de documentos es necesario un número elevado de puntos homólogos, por lo que su georreferenciación precisa necesita mucho trabajo y es poco práctica a la hora de gestionar los fondos de una cartoteca o archivo. (Moreira, 2010)

3.2.2.3 Georreferenciación por medio de cartografía impresa

En un mapa impreso se puede localizar rasgos geográficos, medir distancias y obtener coordenadas. Se utiliza principalmente cartas escalas 1: 50,000 o 1: 250,000 editadas por el INEGI; un curvómetro digital, regla y escuadra. La forma de hacerlo es con la ubicación del rasgo geográfico de referencia, midiendo la distancia con el curvómetro en la dirección indicada; el trazo de la distancia puede realizarse sobre una carretera o en línea recta (dependiendo de lo que se especifique en la descripción de localidad), las coordenadas se obtienen utilizando las referencias geográficas de la carta. Sin embargo, georreferenciar de esta

forma requiere más tiempo que el empleado con la cartografía digital a través de un SIG; además de que no se puede sobre poner la información de mapas con escalas diferentes. (Merchand, y otros, 2008)

3.2.2.4 Georreferenciación por medio de cartografía digital

La información cartográfica digital es de dos tipos: vectorial (puntos, líneas y polígonos); y raster (.tif, .sid. o el modelo digital del terreno (mdt)). En los datos vectoriales se puede realizar búsquedas de información, mientras las imágenes solo se pueden visualizar, excepto el mdt que muestra valores de altitud. El uso de este material requiere de un SIG, a diferencia de la cartografía impresa, es posible sobreponerse información de diferentes temas y escalas. (Merchand, y otros, 2008)

3.2.3 Global Navigation Satellite System

La abreviación GNSS (Global Navigation Satellite System), es el término utilizado para los sistemas de navegación que proveen al usuario un posicionamiento 3-D de un rango pasivo utilizando señales transmitidas por satélites en órbita. Es un sistema de auto-posicionamiento, que es calculado por el equipo del usuario y no transmite ninguna señal para posicionamiento. (Groves, 2013)

Estos sistemas pretenden proveer un cobertura global, los más conocidos son el NAVSTAR (Navigation by Satellite ranging and Timing) propiedad de gobierno de los estados unidos y operado por el mismo es conocido usualmente como GPS (Global Positioning System). El proyecto ruso GLONASS también se encuentra operando en un 100%; tenemos otros dos sistemas pertenecientes a esta área, GALILEO (Europeo) y BEIDOU (Chino). (Bernhard Hofmann-Wellenhof, 2008)

3.2.3.1 Componentes

La composición de un GNSS está dada por 3 componentes: El segmento espacial, el control (o segmento de control) y el segmento de usuario. Cada GNSS tiene su propio segmento de espacio y control independiente que permite al usuario mediante su segmento de equipo controlar uno o más GNSS. (Bernhard Hofmann-Wellenhof, 2008)

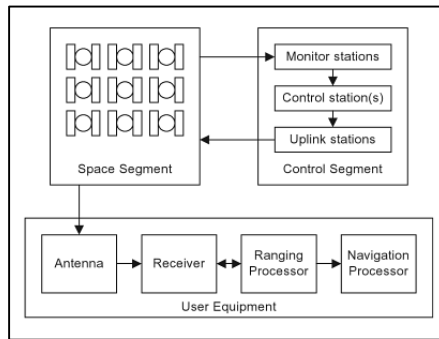


Ilustración 6. Componentes de la Arquitectura GNSS tomada de (Groves, 2013)

3.2.3.2 Posicionamiento

La posición de GNSS es determinada por un muestreo pasivo en un espacio de tres dimensiones. Utilizando un rango de medidas de la señal de un solo satélite, la posición del usuario puede estar en cualquier parte de la superficie centrada en el satélite (SOP). Cuando se aumenta el número de satélites se utiliza la intersección circular de las superficies de las esferas generadas, un tercer satélites facilita la solución de las ambigüedades generadas por dos medidas obtenidas diferentes. (Bernhard Hofmann-Wellenhof, 2008)

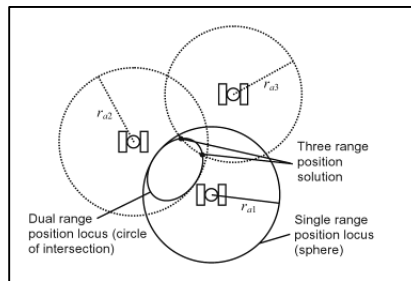


Ilustración 7. Múltiples satélites en GNSS tomada de (Groves, 2013)

Finalmente, el error en la solución para la navegación del GNSS surge de las diferencias entre el valor real, la tabla de datos que se difundió y los relojes en cada satélite. El retraso en propagación de la señal producida por la refracción en ionosfera y la troposfera ocasiona la medida de pseudo-rangos que son muy largos, esto se puede calibrar utilizando modelos, sin embargo, si el rango de medidas provenientes de un satélite fueron realizadas en más de una frecuencia, el retraso se puede calcular simplemente con la diferencia producida. (Bernhard Hofmann-Wellenhof, 2008).

3.2.4 Técnicas para capturar Imágenes

Tomando como punto de partida la fotografía para este caso específico se utilizó una cámara digital que tiene la diferencia que en vez de capturar y almacenar fotografías en películas fotográficas como las cámaras fotográficas convencionales, lo hace digitalmente mediante un dispositivo electrónico, o en cinta magnética usando un formato analógico; más específicamente dentro de las categorías más comunes se utilizó una cámara puente (prosumer) que se encuentra dentro de las cámaras LPD de gama alta que se asemejan físicamente a las DSLR compactas y comparten con ellas algunas características avanzadas que son necesarias para el desarrollo del trabajo. Se puede observar que han existido tres métodos principales de capturar la imagen, estos se basan en la configuración de hardware (sensores, etc.) y de los filtros de color necesarios. (D. Doermann, 2003)

El primer método se denomina de disparo único, en referencia al número de veces que el sensor de la cámara fotográfica se expone a la luz que pasa a través de la lente. Los sistemas de disparo único utilizan un CCD con un filtro de Bayer, o tres sensores de imagen independientes (uno para cada uno de los colores primarios aditivos: rojo, verde, y azul) que se exponen a la misma imagen mediante un sistema óptico de separación de imagen. (Fielding, 2000)

El segundo método se denomina de multidisparo, porque el sensor se expone a la imagen en una secuencia de tres o más aperturas del obturador de la lente. Hay varios métodos de aplicación de esta técnica. El más común era originalmente utilizar un único sensor de imagen con tres filtros (de nuevo rojo, verde y azul) colocados delante del sensor para obtener la información aditiva del color. Otro método de multidisparo utiliza un solo CCD con un filtro de Bayer pero mueve la posición física del sensor en el plano del foco de la lente para componer una imagen de más alta resolución que la que el CCD permitiría de otra manera. Una tercera versión combina los dos métodos sin un filtro de Bayer en el sensor. (Fielding, 2000)

El tercer método se llama exploración porque el sensor se mueve a través del plano focal como el sensor de un explorador (scanner) de escritorio. Sus sensores lineares o trilineares utilizan solamente una sola línea de foto-sensores, o tres líneas para los tres colores. En algunos casos, la exploración es lograda rotando la cámara fotográfica entera; una cámara fotográfica con línea rotativa ofrece imágenes de resolución total muy alta. (Fielding, 2000)

La elección del método para una captura lo determinamos basándonos en que es inadecuado intentar fotografiar un área que se mueva con un sistema de disparo único. Además en los sistemas de exploración no se obtiene la más alta fidelidad de color, tamaños y resoluciones más grandes por lo cual se definió una captura de multidisparo; en el cual se utilizaron archivos RAW basados en sensores CCD o CMOS. (Fielding, 2000)

2.4.1 Mosaicos, interpolación y anti-aliasing

Un mosaico se puede genera con un mínimo de 4 puntos, sin embargo, según el método utilizado se requiere una mayor cantidad debido a que no es posible garantizar que los 4 puntos seleccionado sean correctos en un 100%; para este proceso usualmente se definen tres; etapas registro de imágenes, en la cual se obtiene la información relevante de cada imagen para ser procesada; una proyección, en la cual se utiliza inicialmente el termino de interpolación y se realizan las transformaciones requeridas como translación, euclidiana, similitud, afinidad y proyectiva como tal; finalmente y dada las condiciones de captura se pueden realizar algunos filtros y pos-procesamiento para corregir las imperfecciones de las imágenes como tal, por ejemplo, los cambios de intensidad o luz de la imagen, el alineamiento de las imágenes, la variación de posicionamiento, el efecto “wrapper” entre otros (P. Cheeseman, 1994).

En la mayoría de las cámaras fotográficas digitales utilizan un “mosaico del filtro de Bayer” conjuntamente con un filtro óptico del anti-aliasing para reducir el aliasing debido al muestreo reducido de las diversas imágenes de los colores primarios; luego se utiliza un algoritmo para interpolar la información del color y así crear completamente los datos de la imagen con características RGB (requiere tres valores de la intensidad para cada pixel: para el rojo, el verde y el azul). Sin embargo, los valores de la intensidad del color no capturados por algún motivo para cada pixel pueden ser interpolados (“conjeturados”) de los valores de los pixeles adyacentes que representan el color que es calculado. (E. Crepani, 2005).

2.4.2 Conectividad e Integración

Como sabemos la mayor parte, por no decir que todas las cámaras digitales en la actualidad, se pueden conectar a un PC para transferir su información, en su mayoría mediante un puerto serial; es decir, mediante el puerto USB (más utilizado), Bluetooth o inalámbricamente

utilizando el protocolo 802.11 (Wi-Fi). También podemos encontrar un alternativa basada en un lector de tarjetas, ya que mediante este podemos realizar transferencias de alta velocidad pero estamos sujetos a una conexión física explícita lo cual puede volver engorroso el movimiento entre la cámara y el equipo, sin embargo cualquiera que fuere el método utilizado estas imágenes se vuelven un insumo para nuestra técnica. (D. Doermann, 2003)

Los avances tecnológicos en la actual nos permiten la inclusión de cámaras digitales en diferentes aparatos de uso diario y casi cualquier dispositivo electrónico, como computadoras portátiles y Smartphone que en la actualidad contienen a menudo cámaras fotográficas digitales integradas; la antigua limitante en capacidad de almacenamiento ya no es un obstáculo y el énfasis de la utilidad por sobre la calidad en estos dispositivos integrados la gran mayoría utiliza el formato genérico JPEG para guardar las imágenes ya que su gran capacidad de compresión compensa la pequeña pérdida de calidad que provoca. (D. Doermann, 2003)

3.3 Justificación de la solución

Dado el aumento del hardware que permite la captura de datos de mayor calidad y de menor costo, podemos generar métodos alternativos para la generación de información necesaria para diferentes análisis. Por esta razón se propone un proceso soportado el software desarrollado

que permite de manera adecuada como se pueden aprovechar los nuevos recursos existentes. Por medio de este trabajo de grado se busca apoyar (por medio de una solución de software) la generación de imágenes unificadas de alta calidad a partir de fotografías aéreas desde un UAV, dicha solución permite georreferenciar los artefactos generados basados en un método matemático para el cálculo coordenadas; las fotografías (capturas con UAVs) generar una mejor resolución espacial a la brindada por las satelitales y al necesitar menos recursos para su obtención son una alternativa de menor costo.

Las fotografías aéreas (capturadas con UAVs) permiten obtener nuevo conocimiento debido a su vuelo de baja altura (máximo 100 metros en vertical desde la superficie), en comparación con las imágenes actuales como LANDSAT 30 metros por pixel, Radarsat 3 metros por pixel o Quickbird 0.6 metros por pixel este método nos brinda 0.8 centímetros por pixel; lo cual nos permite realizar un mejor analizadas y apoyo al proceso de toma de decisiones; por lo tanto a mediano y largo plazo se podrá utilizar para generar entradas a diferentes sistemas de información, mejorando las salidas tanto en calidad como en cantidad producidas por estos.

IV – DESARROLLO DEL TRABAJO

En esta sección del documento se desarrolla el tema central del trabajo de grado: Generación de mosaicos georreferenciados a partir de imágenes capturadas por UAVs. En la sección anterior se realizó la etapa inicial del proyecto, que consistió en el análisis de diferentes

experiencias relacionadas con el tema central, adicionalmente se realizó una breve descripción de los conceptos más relevantes asociados a los UAVs y fotografías aéreas.

A continuación se presenta el desarrollo del trabajo de grado en términos generales, las siguientes fases corresponden a las etapas 2 (Análisis), 3 (Diseño) y 4 (Implementación) de la propuesta realizada, las fases 1 y 5 no se muestran en el gráfico a continuación:



Ilustración 8. Fases Metodológicas Parciales

Posteriormente, se generó un análisis de las variables que intervienen en el proceso de captura de las fotografías por medio de UAVs; basado en estas y sus relaciones se muestra un proceso que permite realizar la corrección y unificación de dos o más fotografías. Este proceso soporta la unión o “*mosaicing*” de fotografías de manera correcta, teniendo en cuenta las variables involucradas y la posterior generación del mosaico. Este proceso es la base que permite realizar y dar continuidad a las siguientes secciones, en las cuales se define un método matemático que soporta el proceso de georreferenciación del mosaico generado a partir de las fotografías aéreas tomadas desde un UAV. Con base en este proceso, se planteó un desarrollo de software que soporta cada una de las actividades requeridas en este proceso, el cual permite de manera secuencial cargar dos o más fotografías, realizar las correcciones a cada una, generar el

“mosaicing” y finalmente georreferenciar el resultado final. Dicho desarrollo de software es generado desde el análisis de requerimientos en el SRS (Especificación de Requerimientos del Sistema) hasta la elaboración y diseño en el SAD (Documentación de Arquitectura del Software), para luego presentar el prototipo funcional, al cual se le aplicó la fase de pruebas y análisis de resultados respectivos.

4.1 Análisis de Variables

A continuación, se muestran las variables extrínsecas que son relevantes para el realizar un proceso de “mosaicing” en forma correcta, las variables intrínsecas de la fotografía no se tienen en cuenta dado el alcance y etapas para generar mosaicos escogidas (no se va a realizar correcciones a la imagen dentro del prototipo); para cada una de ellas se relaciona por qué fue seleccionada y el impacto que tiene sobre el proyecto, la siguiente ilustración muestra un *overview* del análisis:

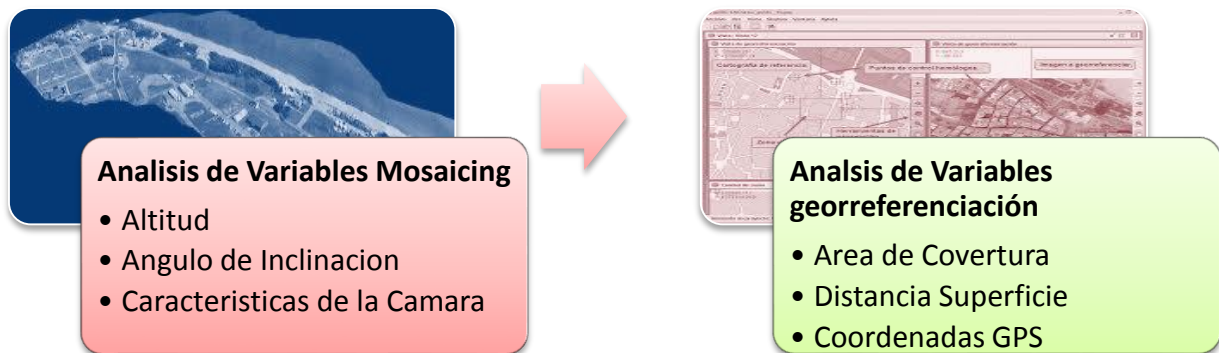


Ilustración 9. Vista General de los Tipos de análisis

4.1.1 Altura:

Una de las variables que se tuvo en cuenta fue la altura en la cual se encuentra el hardware que realiza la captura, debido a que la escala que muestra una fotografía aérea es directamente proporcional a esta; para este caso, la cámara que se encuentra acondicionada al UAV. Este *drone* permitió, por medio de un GPS abordo, obtener esta información, además gracias al medidor de presión atmosférica obtiene una mayor precisión en su estimación de altura. Por lo anterior, y teniendo en cuenta que el paso siguiente en el proceso es realizar la unificación de

fotografías, se observó que deben estar a la misma altura para no realizar un proceso de aumento o disminución de imagen que podría crear distorsiones y generar errores en el proceso. Además, teniendo en cuenta esta variable se realiza la proyección de coordenadas en el mosaico generado, en el cual los grados, minutos y segundos se ven afectados por la distancia de cobertura de las fotografías. (Chandler, UAV cooperative control, 2012)

4.1.2 Angulo de Inclinación:

Al igual que en la variable anterior, la unificación de dos imágenes debe ser afectada por el ángulo de inclinación de la cámara; si la toma de la imagen no se realiza en forma perpendicular a la superficie, no produce un resultado válido, ya que en esta fotografía se obtuvo una perspectiva diferente que deformó la imagen y modificó las medidas originales de los objetos que se encuentran en ella. Por lo anterior, para asegurar la calidad de la imagen tomada se utilizó un estabilizador de imagen “Tarot T”, el cual sujeto a la base del UAV permitió controlar esta variable en el momento de volar el *drone*. Dada la complejidad al momento de manejar el UAV, se decidió por medio de una solución de software fijar esta variable para que basado en la “Unidad de media inercial” ajuste su valor dependiendo la posición con respecto a la superficie. (DYNAMICS S.L, 2012)

4.1.3 Coordenadas GPS:

Esta variable fue considerada por diferentes razones; uno de los objetivos específicos del trabajo de grado es la georreferenciación de mosaico generado, sin embargo esta no fue la más importante, dada la alta calidad de las fotografías capturas fue necesario lograr una mayor precisión de las coordenadas adquiridas la cual debía ser semejante y brindar un alto detalle que permitiera relacionar exacta cada pixel a su respectivo punto en la superficie terrestre. (Chandler, Pachter, Swaroop, & Fowler, 2013)

4.1.4 Características de la Cámara:

Del mismo modo que en la variable anterior, la unificación de dos imágenes se vio afectada por las características de la cámara utilizada por diferentes razones; el ángulo de apertura de la cámara y la relación del aspecto de la misma; la primera característica se tuvo en cuenta dado el tipo de lente de la cámara el cual tiene un efecto “ojo de pez” o ultra gran angular, el cual

se refiere al ángulo de visión que cubre ésta al tomento de capturar una fotografía, la segunda característica se refiere a la proporción que existe entre el ancho y la altura de la fotografía, el cual nos permitió junto a la variable de GPS realizar un correcta proyección de las coordenadas y permitir “mosaicing” de manera más acertada. Por lo anterior, se seleccionó la mayor calidad y ángulo de visión, el cual permitió obtener un mayor detalle y así evitar al máximo la pérdida de información luego de los procesos realizados durante el trabajo de grado. (Fielding, 2000)

Basado en el análisis de variables se definieron los métodos de “mosaicing” y georreferenciación, en los cuales se tuvo en cuenta los puntos importantes que se detallan posteriormente y se muestran en la siguiente ilustración:



Ilustración 10. Vista General de los Métodos de la solución

4.2 Método de “Mosaicing”

En el desarrollo del trabajo de grado se tuvo en cuenta dos procesos; el primero detalla la forma en la cual se realizó la unión de las fotografías. En un mosaico típico existen 3 etapas generales; el registro de imágenes, la reproyección y el “blending” o fusión. Dentro de la tercera etapa se pueden realizar diferentes tipos de correcciones el “Bundle Adjustment” y “Blending Comparison” o “Multiband Blending” que no se tendrán en cuenta dado alcance del proyecto y el “Parallax Removal” o “Straightening” que se realizara en luego de con base en la homografía. Para cumplir con las etapas generales del método se definieron diferentes pasos: obtención de puntos relevantes, extracción de descriptores, unión de puntos comunes, filtrado de puntos, y finalmente obtención de matriz de homografía y proyección de imágenes. Los anteriores pasos se tomaron del proceso SURF (*Speeded Up Robust Features*) el cual se basa en SIFT, sin embargo este ofrece una velocidad mayor de cálculo al igual que una mayor

robustez ante las posibles transformaciones de las imágenes; para cada uno de estos se presentara una pequeña descripción en el contexto del proyecto. (Shum, 1997)

4.2.1 Obtención de Características

Inicialmente, se definen puntos clave (intereses) de una imagen como un pedazo de información que es relevante para el procesamiento, ya sea un punto, un borde o un objeto completo. En general debe contener las siguientes características: tener una posición bien definida en el espacio de la imagen, la estructura local de vecindad alrededor del punto de interés debe ser abundante en términos de contenido de información de tal manera que simplifique su procesamiento, ser estable bajo perturbaciones locales y globales de la imagen (como iluminación o brillo) lo cual genera gran fiabilidad.

La obtención de características clave se refiere al método que permitió el cálculo de abstracciones de la información de la imagen y la toma de decisiones locales para cada uno de los pixeles de la fotografía y determina si existen características específicas o no. Estas serán subconjuntos de la imagen (aisladas, continuas o regiones conectadas).

El detector SURF se basa principalmente en la matriz Hessiana (cuyo funcionamiento no se explicara detalladamente), ya que usa una aproximación de ésta. La razón, es el buen rendimiento en cuanto a la velocidad de cálculo y la precisión. (DOMINGUEZ, 2009)

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix}$$

En algunos casos el cambio de la información de pixeles en una imagen no era suficiente por lo cual se utilizó la escala de grises y así se logró obtener una variación más grande, encontrando los puntos clave de una manera más óptima.

4.2.2 Extracción de Descriptores:

La extracción de características o descriptores es una manera de reducir la dimensionalidad de la fotografía. Se utilizó porque los datos de entrada eran muy grandes dada la alta calidad de las fotografías capturadas y al termino de varias iteraciones se convertiría en demasiado grande para ser procesados y dados algunos análisis se convierte en notoriamente redundante (muchos datos, pero poca información), por lo anterior, los datos de entrada se convierten en un conjunto

reducido de características de vector (funciones de representación: agrupan las características de varios pixeles en un solo vector con tamaño y dirección). A este método se le conoce como extracción de descriptores; los cuales deberán ser obtenidos de forma cuidadosa para que así contengan información relevante basada en los datos de entrada y así se logre reducir el tamaño original de los datos en un grupo de datos más pequeño que permite mayor velocidad y menor complejidad de procesamiento. Lo primero que se realiza es construir una región cuadrada alrededor del punto clave (teniendo en cuenta la orientación), este se reduce en regiones más pequeñas para cada una de las cuales se calcula las características propias, utilizando la respuesta tanto del Haar en horizontal como en vertical (basado en la orientación del punto de interés original) se da una mayor robustez realizando una ponderación gaussiana. (Taro Suzuki, 2009)

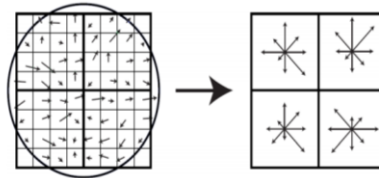


Ilustración 11. Vectores característicos

Una vez obtenido el vector se suma cada subregión generada y se conforma un conjunto de entradas para el vector de descriptores.

4.2.3 Unión y filtrado de puntos comunes

El siguiente paso consiste en conectar los puntos clave hallados en las dos imágenes que se están procesando; cada punto de una imagen será comparado con todos los puntos de la otra por medio de la distancia euclidiana entre las descriptores pertenecientes a cada uno; se debe restringir a un solo punto por cada imagen, es decir, no podrán existir asociaciones de uno a muchos en ningún caso, por lo cual se utiliza la menor de todas las distancias encontradas para este proceso (el vecino más cercano) además esto ayuda a evitar falsos positivos (emparejamientos incorrectos). La cantidad de puntos es restringida y directamente proporcional al tamaño de los datos de ingreso, por lo cual se debe realizar un ajuste adicional para tener control sobre esta variable. (C. Miravet, 2010)

4.2.4 Obtener Matriz de Homografía

En el paso final se utiliza la matriz de homografía, la cual es una transformación proyectiva que determina la relación entre las dos fotografías, más específicamente entre una lista de pares de puntos. Dada la naturaleza de captura de la fotografía no es posible estar 100% seguro que las fotografías secuenciales se capturen a la misma altura exacta en centímetros e incluso milímetros; esta matriz realiza diferentes ajustes como los mostrados en la siguiente ilustración, los cuales permiten ajustar la variación de altura generada por las condiciones climáticas de toma de fotografías.

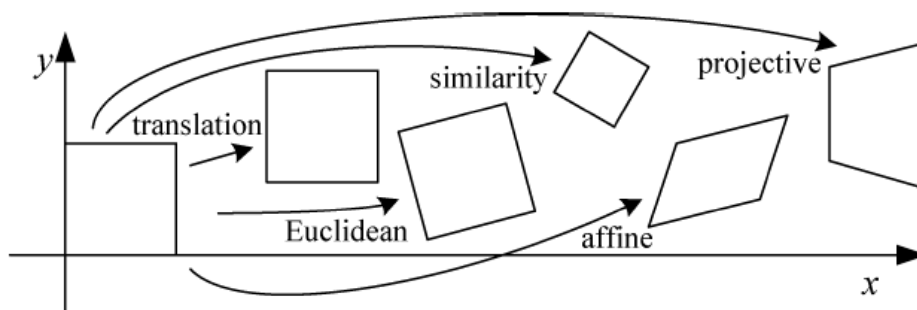


Ilustración 12. Transformaciones en Matriz de Homografía (F.C. Wun, 2010)

A diferencia de una correlación entre imágenes, una homografía es una transformación que conserva la naturaleza de los elementos que contiene, es decir, relaciona punto a punto de cada fotografía. (DOMINGUEZ, 2009).

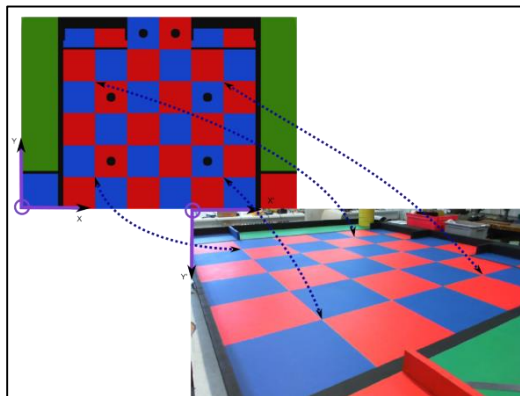


Ilustración 13. Relación de puntos entre dos imágenes

Por lo tanto, se entiende a la homografía como “transformación invariable h que mapea elementos de un espacio P hacia otro P' de forma que tres puntos colineales en el primero lo sigan siendo en el segundo”.

$$x' = H \cdot x, \quad H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix}$$

La anterior fórmula muestra como cualquier vector x de la primera fotografía cumple que $x' = H * x$, sabiendo que H es la matriz de homografía.

Para los puntos de esta matriz se utiliza RANSAC (*Random Sample Consensus*), un método de emparejamiento robusto que muestra como resulta la solución más acertada entre una serie (o conjunto) de opciones mínimas obtenidas aleatoriamente; para el cálculo se necesitan mínimo tres emparejamientos, la idea de este método es que estos tres subconjuntos locales garanticen una probabilidad superior al 99%; para cada uno de estos, se calcula la matriz de homografía, se realiza una “votación” fijando un umbral (o *threshold*) para separar los pares buenos de los malos, es decir, si el error en distancia es menor al fijado. Una manera de reducir la carga de procesamiento computacional se basa en la premisa de porcentaje de “votos”, es decir, cuando una homografía recibe más del 95% de los “votos” se considera como la respuesta definitiva y se evita continuar procesando la información. Basado en esta matriz obtenida se construye la imagen final, no se realiza una transformación de afinidad ya que queremos unificar dos imágenes y solo proyectar un plano en otro, el resultado es el mosaico (o “*mosaicing*”) de las dos fotografías secuenciales en proceso. (D. Doermann, 2003)

4.3 Método de Georreferenciación

El segundo proceso a tener en cuenta en este trabajo de grado detalla la forma en la cual se georreferenció el mosaico resultante del proceso anterior. Para este se definieron diferentes pasos: análisis de altura del UAV, cálculo del área y finalmente georreferenciación del mosaico como tal. Los anteriores pasos se basaron en las variables analizadas inicialmente, las cuales permitieron una mayor calidad en el detalle de la posición exacta en la superficie terrestre; para

cada uno de los pasos mencionados se realiza una pequeña descripción aplicada al contexto del proyecto, a continuación se presenta una perspectiva general del método. (Mackern, 2004)

4.3.1 Análisis de Altura

Para el paso inicial del proceso se tuvo en cuenta la altura de UAV y el ángulo de apertura del lente ya que estos dos datos permiten tener una mejor descripción de la relación con el aspecto terrestre en sí. La apertura del lente muestra cual es el campo de visión capturado por la cámara, más específicamente por el lente, que se utilizó y basado en la distancia a la superficie que estamos capturando (para este caso la altura del UAV con la superficie terrestre) podemos obtener luego de la corrección que se realizó a la imagen cual es distancia vertical de la fotografía. El Campo de visión panorámico: 1,4 mm, en la cámara GoPro Hero 3+ Black, permite un grado de apertura de 94,4 en vertical y 122.6 en horizontal. La diferencias entre el campo de visión se pueden observar en la imagen a continuación, en la cual a mayor valor menor la distancia capturada por el lente.



Ilustración 14. Ángulos de apertura de un lente, tomada de (Calcom, 2014)

4.3.2 Calculo de Área

En el siguiente paso y basado en los resultados anteriores se procede a calcular el área total cubierta por la fotografía, para esto se toma como base el siguiente planteamiento trigonométrico.

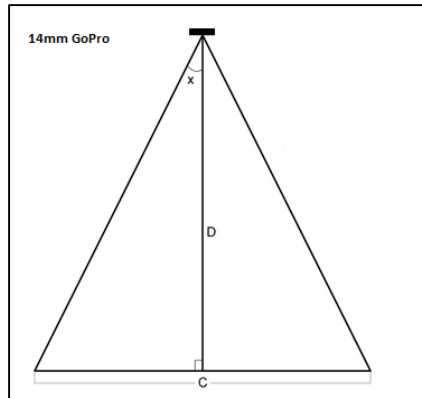


Ilustración 15. Campo de visión

EL valor D corresponde a la distancia con la superficie, es decir, la altura del UAV con respecto a la tierra; x corresponde a la mitad del ángulo de visión del lente que se está utilizando (GoPro Hero 3+ Black), este valor se calcula inicialmente para la distancia vertical de la imagen (Angulo: 94,4). La variable a calcular sería C, utilizando las distancia y ángulos que conocemos podemos calcularla, más específicamente $C/2$.

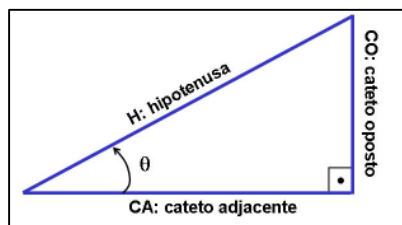


Ilustración 16. Triángulo de Pitágoras (INove, 2014)

Al tener el valor de C, que corresponde a la distancia vertical de la superficie en la fotografía capturada procedemos a calcular la relación de centímetros por pixel que tendríamos, que sería igual a distancia en la imagen / alto imagen (valor en pixeles); este valor será utilizado para la posterior georreferenciación.

4.3.3 Georreferenciación del mosaico

Finalmente, con base en las atapas anteriores se realiza la georreferenciación; para este proceso es necesario que le usuario compare los datos del log generado por el software de telemetría del drone (4 capturas por segundo) versus los del GPS en tierra y genere la coordenada final, para asociar este valor generado con la imagen se verifican los metadatos de la fotografía inicia (la primera de izquierda a derecha e el mosaico) según la hora minuto y segundo se obtendrá la coordenada correspondiente. Luego se realizaran diferentes pasos, el primero y dadas las condiciones del hardware utilizado se realiza un cambio de coordenadas en decimal a grados, es decir, de grados decimales (DDD): 41.40338, 2.17403 se transforman en grados, minutos y segundos (DMS): 41° 24' 12.1674", 2° 10' 26.508".

El siguiente paso es realizar una proyección cartográfica que permite establecer una relación entre los puntos de la tierra y los de una superficie; los puntos (coordenadas) se localizan basados en una red de meridianos y paralelos que cubren la tierra como una malla. (Chandler, UAV cooperative control, 2012)

Dada la forma de la tierra se utilizó la proyección cilíndrica de Mercator (ideada por Gerardus Mercator en 1569), la cual ha sido muy utilizada desde el siglo XVIII dada su correcta aproximación y exactitud. Aunque no existe una forma única de conversión dado que la tierra no es ni esférica ni cilíndrica se utiliza la Base de Datos de Parámetros Geodésicos OGC-EPSSG la cual brinda para Colombia el WGS 84 / UTM zone 19S [EPSG:32719] como la última versión (IOGP, 2014). A continuación, se realiza el cálculo de equivalencia con respecto la posición en la cual se realizaron las pruebas, se analizara la latitud (mas no la latitud geocéntrica), la distancia con respecto a la latitud no tiene mayor variación si nos movemos desde el ecuador a los polos ya que los meridianos son aproximadamente del mismo valor (dada la forma de la tierra) por lo tanto se divide el largo del meridiano en 360 grados y se basa en la distancia en el ecuador que es 40.075 Kilómetros (en el extremo es de 40.008Km), de lo cual se obtiene:

Tabla 1. Equivalencias

Coordenada	Equivalencia
Cada grado	111.325 kilómetros
Cada minuto	1.855,42 Metros
Cada segundo	30.92 Metros

A diferencia de la latitud, la longitud varía dependiendo el que lugar nos encontremos, debido a que los paralelos disminuyen su tamaño a medida que se acercan a los polos hasta convertirse en cero (Polo norte y sur); para la ciudad de Bogotá (lugar en cual se realizaron las pruebas) obtenemos que se encuentra en la latitud 74 grados con una distancia de 12.756 Kilómetros (en el polo es 12.715 Km) por lo tanto un grado equivale a 111,131, un minuto a 1.634,59 y un segundo a 27,24 Metros. Con esto valores se realiza la correcta georreferenciación del artefacto generado.

V - PROTOTIPO DEL APLICATIVO

En el capítulo anterior, se realizó la descripción de los métodos matemáticos a utilizar y las bases sobre las cuales fueron definidos, estos contemplaban el “*mosaicing*” y la georreferenciación; a continuación se muestra el desarrollo de la especificación de requerimientos de sistema (SRS) referentes al prototipo de software que se desarrolló el cual soporta los procedimientos relacionados al trabajo de grado. Un mayor detalle de este artefacto se puede encontrar en el [anexo 1 - SRS](#).

5.1 Desarrollo del Prototipo – Documentación

5.1.1 Propósito

El documento SRS buscó describir la especificación de requerimientos para el producto Generación de mosaicos georreferenciados (en adelante U.A.V.-SOFT), con el objetivo de establecer las funcionalidades del mismo. Son presentados los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema a desarrollar, estableciendo su impacto e importancia. También se establece el orden de desarrollo del proyecto y un diagrama del dominio que presenta en un nivel de detalle muy amplio la composición del sistema.

5.1.2 Alcance

Se tiene un prototipo funcional de la aplicación **UAV-SOFT**, específicamente para un grupo de 3 imágenes, el cual generó un mosaico y una lista de puntos asociados georreferenciados partiendo de las características de la imagen y restricciones de hardware utilizado por los usuarios. Esto permite el tratamiento, análisis y modificación de mosaicos, por medio de la personalización de la información que guía al usuario a cumplir los objetivos definidos por él. Para ello, el SRS refleja las herramientas utilizadas durante el desarrollo del proyecto, las características esenciales que se tuvieron en cuenta para la ejecución del prototipo, la toma de requerimientos y la especificación de cada uno de ellos.

5.1.3 Perspectiva de la aplicación

El prototipo está conformado por una plataforma *stand-alone* y un servidor de telemetría. UAV-SOFT genera mosaicos de imágenes georreferenciadas para el usuario de fotos aéreas, partiendo de sus características y restricciones de captura. Incluye georreferenciación de puntos personalizados. En esta sección se detallan las diferentes interfaces del sistema, así como el proceso de interacción con el usuario, restricciones y requerimientos.

5.1.4 Restricciones

Las restricciones sobre los diferentes aspectos de desarrollo del proyecto que directamente influyen en el proceso de implementación, deben ser tenidas en cuenta para un posterior y correcto funcionamiento, los cuales son:

Tabla 2. Restricciones de desarrollo

Tipo de Restricción	Restricciones
Requisitos de lenguaje	El sistema va a estar desarrollado en el idioma español principalmente, ya que va a ser lanzado en Bogotá, Colombia.
Usuario	El producto debe ser entregado en las fechas especificadas. El producto debe contar con las funciones especificadas inicialmente.
Interfaz de usuario	Se espera que la interfaz sea consistente y fácil de usar para los usuarios, que sea amigable y no presente errores de ningún tipo.
Legales	El software empleado para el desarrollo de este proyecto será en su mayoría de software libre. El contenido del software desarrollado para el proyecto será de propiedad del estudiante Kevin Lauritzen Vasquez Largo
Persistencia	Toda la información será persistida en el sistema de almacenamiento MySQL.
Sistema operativo	El sistema operativo para la plataforma <i>stand-alone</i> será Windows 7 o Windows 8
Software	Se requiere que el usuario tenga instalados los plugin de java, además se deben instalar los controladores asociados al <i>drone</i> que se esté utilizando, para nuestro caso PL-2303 USB-to-Serial, OpenSSL 1.0.0I Light, Windows Driver Package – GoPro (WInUSB) Universal Bus devices, 3D Robotics (usbser), FTDI CDM Driver Package – VCP Driver.

5.1.5 Operaciones

Para la operación de cada una de las plataformas, se debe tener en cuenta el tipo de interacción que el usuario del sistema vaya a realizar. Con ello, tenemos la siguiente clasificación:

Usuario UAV:

- **Modo Estabilizado:** Modo de uso general de los usuarios para vuelo, se tiene total autonomía del vehículo, puede ser manipularlo en cualquier dirección de los tres ejes (X, Y o Z), es un modo de vuelo básico; sin embargo, la dada la cantidad de motores del vehículo (en nuestro caso 4 o 6 rotores) presenta mayor estabilidad y facilidad de manejo.

- Modo Air-hold: En este modo (controlado por software de telemetría) se mantiene la altura del vehículo constante y permite realizar desplazamiento en los ejes X y Y al cual no es útil para la captura de imágenes del proyecto.
- Modo GPS: Como su nombre lo indica este modo es asistido por GPS (es recomendable tener más de 5 satélites, para reducir la tasa de error del mismo), donde el usuario puede controlar la altura del UAV pero el punto en coordenadas X y Z permanece constante (teniendo en cuenta como se mencionó antes la tasa de error de este).

Usuario Stand-Alone:

- Modo Carga y Generación de Mosaicos: Modo de uso específico para los que ya han capturado las imágenes, en este se pueden cargar, modificar o eliminar imágenes al igual que ubicar puntos de control, generar mosaicos de imágenes y georreferenciar los mismos.

5.1.6 Modelo de dominio

A continuación se detalla el sistema UAV-SOFT, por medio de la representación de sus componentes y relaciones que lo conforman. Se muestra el flujo de negocio, resaltando los servicios que ofrece y los recursos necesarios para satisfacerlos.

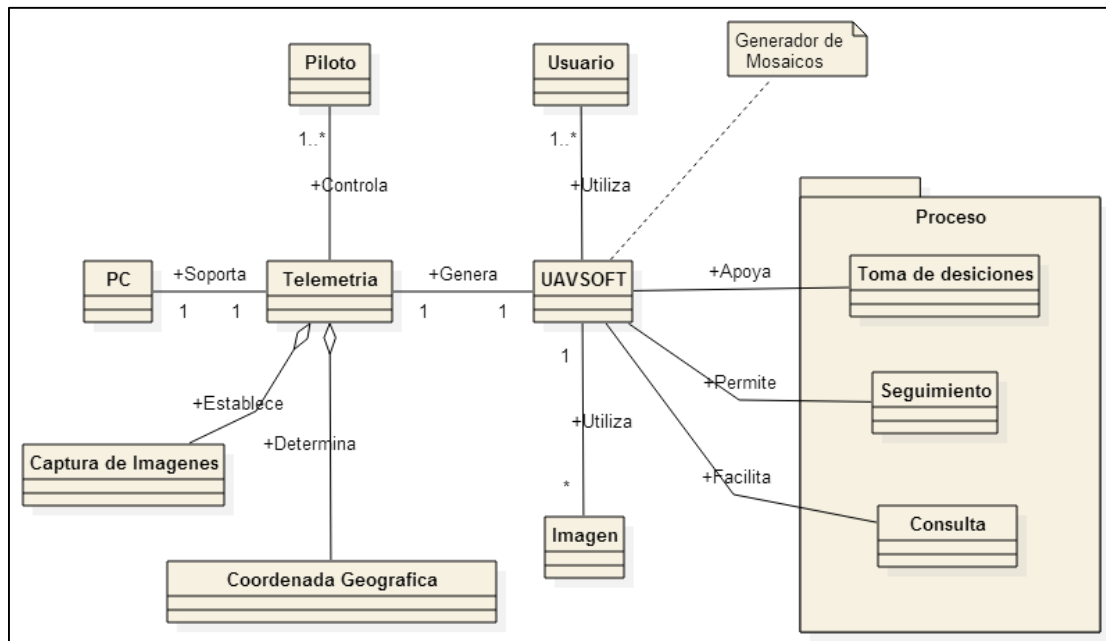


Ilustración 17. Modelo de dominio

UAVSOFT: Es el sistema base del proyecto. Es el encargado de proveer los servicios personalizados a los usuarios de imágenes con base en el conocimiento de las mismas, sus características, coordenadas y preferencias representados por un Perfil Usuario. Adicionalmente, es el encargado de la interacción entre los diferentes servicios con el fin de articularlos y así enriquecer cada uno y proveerle al cliente una mejor solución. El sistema ofrece 3 servicios a los usuarios. Igualmente, se divide en 3 modelos, teniendo en cuenta el contexto de captura, generación y procesamiento final.

Finalmente, el sistema tiene 2 tipos de usuario inicialmente, los cuales se definen y se dividen en:

- Usuario: es el usuario del aplicativo estándar y/o usuario de la aplicación *stand-alone*, que se carga y procesa en el sistema teniendo acceso a los servicios principales del mismo.
- Piloto: es el profesional en el manejo de UAVs que tiene acceso a la plataforma de telemetría para verificación de datos, creación de rutas, *way-points*, registro de coordenadas e ingreso al sistema y seguimiento de restricciones de vuelo.

5.1.7 Requerimientos

A continuación se muestra una lista con los requerimientos relevantes que se analizaron para el desarrollo de este trabajo de grado

Tabla 3. Lista de Requerimientos

Código-Req	Especificación Requerimiento	Justificación	F : Funcional U : Facilidad de "Uso" R : Fiabilidad P : Rendimiento S : Soporte + : (Implem, Interfaz, Empaq, ...)
R01	Cargar la conjunto de coordenadas geográficas	Es necesario disponer de los límites geográficos de la zona de estudio representados en el mapa	F
R02	Cargar grupo de imágenes para "mosaicing"	Es necesario disponer de un conjunto de imágenes con puntos en común para realizar la representación en el mapa	F
R03	Adicionar información de coordenadas geográficas a los mosaicos	Se debe poder georreferenciar los mosaicos de imágenes o una imagen única	F
R05	Presentar una o más capas seleccionadas	Capas innecesarias para el usuario, pueden generar ruido en el mosaico	F
R06	Hacer Zoom (acercar, alejar) en el mosaico	Es de vital importancia revelar mayor detalle según el interés del usuario	F
R11	Mover el mosaico hacia (abajo, arriba, derecha o izquierda)	Para centrar el punto de interés en el mapa es indispensable el desplazamiento	F
R15	El sistema debe buscar los puntos en común de las imágenes	Se deben encontrar puntos en común de dos imágenes	F
R17	El sistema debe permitir proyectar las imágenes de una imagen	Se deben encontrar el ángulo de la imagen para completar el mosaico	F
R23	El sistema debe almacenar la foto y relacionarla con el mosaico en curso.	Se deben guardar las imágenes a procesar	F
R25	El sistema debe borrar toda información relacionada con un mosaico eliminado.	Se deben eliminar las imágenes a procesar	F
R29	El sistema de captura debe utilizar diferentes sensores de captura	Se deben georreferenciar las imágenes	S
R33	Consulta 2 (Mosaico): Consultar un mosaico de imágenes a partir del identificador del mismo	Es la consulta más común entre los usuarios para visualizar el resultado de un proceso	U

5.1.8 Priorización

La priorización de requerimientos funcionales y no funcionales del sistema, fue determinada durante las reuniones de levantamiento de requerimientos y con los criterios de categorización de requerimientos definida por los estándares seguidos y el estudiante Kevin Vasquez Largo. Los criterios que se analizaron para determinar la prioridad de los requerimientos funcionales fueron:

- Importancia dentro de la funcionalidad de la aplicación.
- Impacto en el desarrollo del prototipo.
- Esfuerzo de implementación.

Los criterios que se analizaron para determinar la prioridad de los requerimientos no funcionales fueron:

- Importancia dentro de la funcionalidad de la aplicación.
- Riesgo para la arquitectura.

De esta manera se determinó que cada requerimiento se debía clasificar dentro de las siguientes prioridades:

Tabla 4. Escala de prioridad de un requerimiento

PRIORIDAD	DESCRIPCIÓN
Alta	Requerimiento indispensable para uno o más <i>stakeholders</i> . Debe incluirse en versiones tempranas del producto para no afectar el desarrollo general del prototipo.
Media	No es indispensable para el desarrollo general del proyecto, pero brinda funcionalidades importantes y puede afectar la satisfacción de algún <i>stakeholder</i> .
Baja	No es indispensable su desarrollo. No genera mayor impacto en el desarrollo del prototipo y no afecta a los <i>stakeholder</i> .

5.2 Desarrollo del Prototipo – Diseño

Luego de realizada la documentación necesaria y teniendo como resultado el SRS, se procedió al desarrollo del documento de arquitectura de software (SAD) en el cual se definió la arquitectura a implementar. Un mayor detalle de este artefacto se puede encontrar en el [anexo 4 - SAD](#).

5.2.1 Propósito

El propósito de este artefacto es proporcionar una descripción global del sistema, con base en cada una de las vistas presentes en la arquitectura. Adicionalmente identificar los casos de uso arquitecturalmente significantes y detallar las estrategias a utilizar para implementar los requerimientos no funcionales del sistema. A continuación se presenta un esquema del modelo usado para la descripción de la arquitectura:

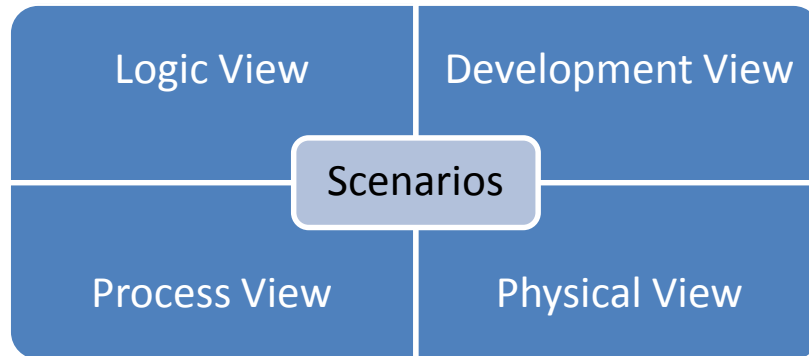


Ilustración 18. Modelo 4+1

5.2.2 Apreciación Global

El proyecto será desarrollado bajo el modelo de vistas 4+1 de Kruchten con un enfoque en un ambiente académico dentro de la asignatura Trabajo de Grado de la carrera de Ingeniería de Sistemas, su distribución es la siguiente:

- Vista lógica
- Vista de procesos
- Vista de despliegue (física)
- Vista de desarrollo

Adicionalmente, el documento incluyó apartados con la manera en que el sistema cumple los requerimientos de seguridad, los no funcionales (RNF) y las estrategias que empleará para tal fin; en adición a las cuatro vistas base del modelo.

En términos generales, el contexto de UAV-SOFT radica en la implementación y manejo de 2 aplicaciones. Ambas aplicaciones esta dadas para manejo *stand-alone*, sin embargo la aplicación telemetría (que ya se encuentra desarrollada) se comunica con los diferentes

elementos del UAV a diferencia del generador de mosaicos que se encuentra un poco más aislado.

Dado que el sistema es desarrollado en Java, el mosaico final posee una ventana de visualización, por lo tanto es importante resaltar que es necesaria una infraestructura apropiada. En esta sección son descritas cada una de las vistas necesarias para establecer la arquitectura del sistema.

5.2.3 Vista de Lógica

Esta vista se centra en la funcionalidad o los servicios que serán ofrecidos al usuario por el sistema (Requerimientos funcionales), contiene las abstracciones clave del problema al cual se le da solución. Es decir, esta vista permite, a grandes rasgos, mostrar los diferentes componentes del sistema de una manera tal que se muestren las dependencias entre estos y en dado caso de necesitar más información, la especificación de estos.

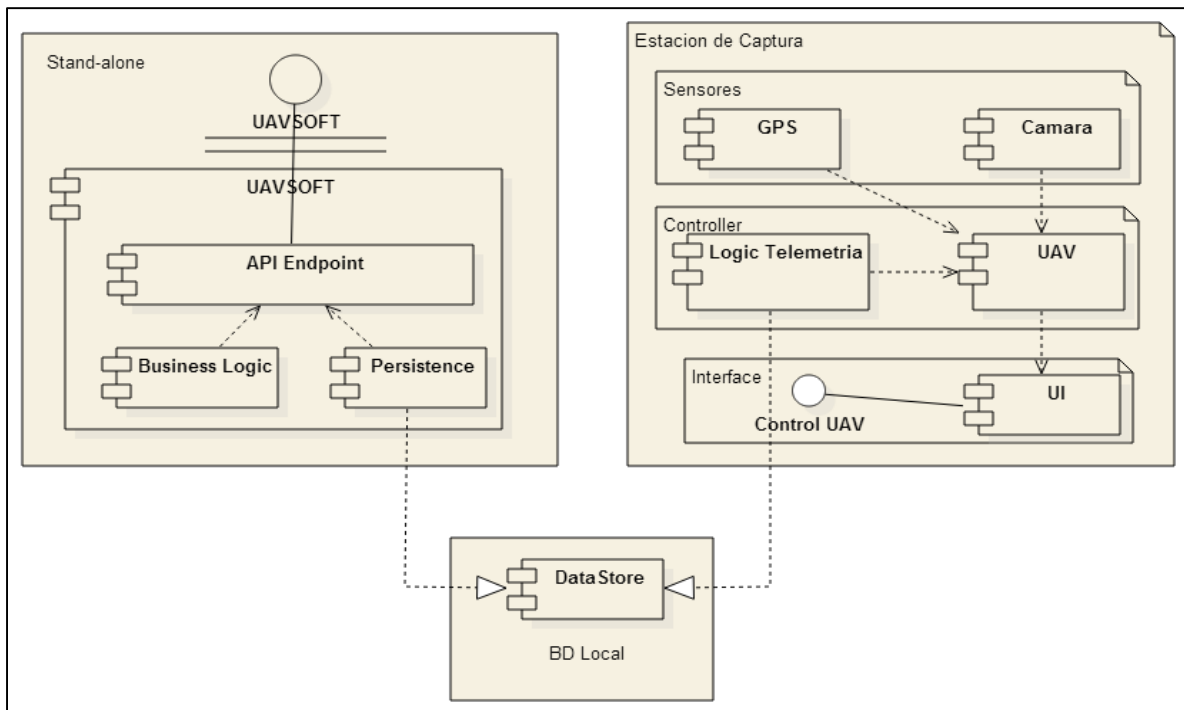


Ilustración 19. Vista Lógica

5.2.4 Vista de Desarrollo

La vista de Desarrollo muestra una perspectiva del programador y su asociación con el desarrollo de software. El diseño se compone de un desarrollo y la utilización de una herramienta libre para manejar la telemetría la cual no se detalla en esta vista: El desarrollo de la aplicación *stand-alone* y Misión Planner o asctec-autopilot. A continuación se presenta una descripción de general de cada uno de los elementos que conforman el diseño de esta aplicación:

Mosaico de navegación: Estructura jerárquica que proporciona una representación esquemática del código java.

Generación de mosaicos: Diferentes imágenes visibles conectadas por puntos de control relevantes.

Visualización por capas: Posible selección de cuáles capas de información son visibles y cuáles no.

Ventanas emergentes de información: Cuadros con la información de los atributos más importantes en cada una de las capas de información.

Representación de información geográfica: Partiendo de la base de datos relacionada se generan las cuadrículas gráficas para identificar en un mapa.

Visualización de consultas: Permite una interacción directa con el cliente para la selección de información específica en la base de datos local de las imagines generadas.

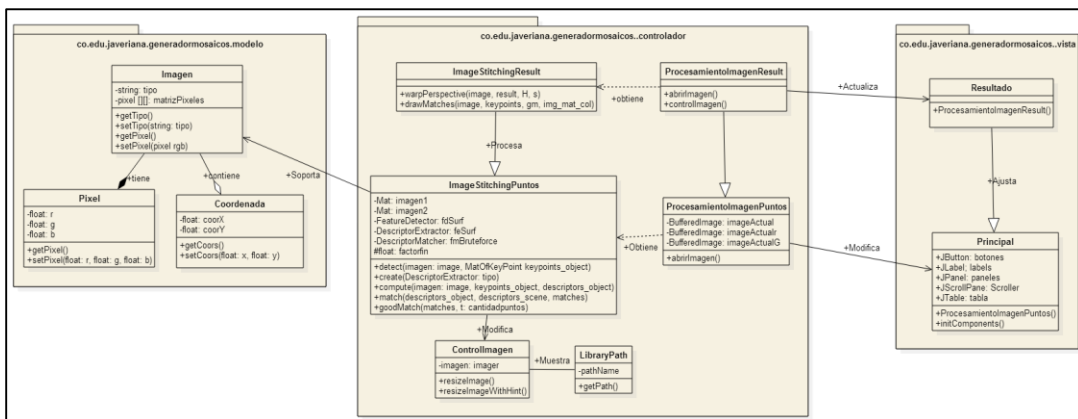


Ilustración 20. Vista de Desarrollo

5.2.5 Vista de Despliegue

Esta vista se centra en la distribución o topología de los componentes de software mapeados a los componentes de hardware; también permite evaluar requerimientos no funcionales como el rendimiento, la disponibilidad y la escalabilidad. El sistema UAVSOFT solo usa una interfaz con el usuario que es la vista generada, lo que permite separar toda la lógica de negocio. El modelo vista-controlador es acoplado entonces al desarrollo realizado.

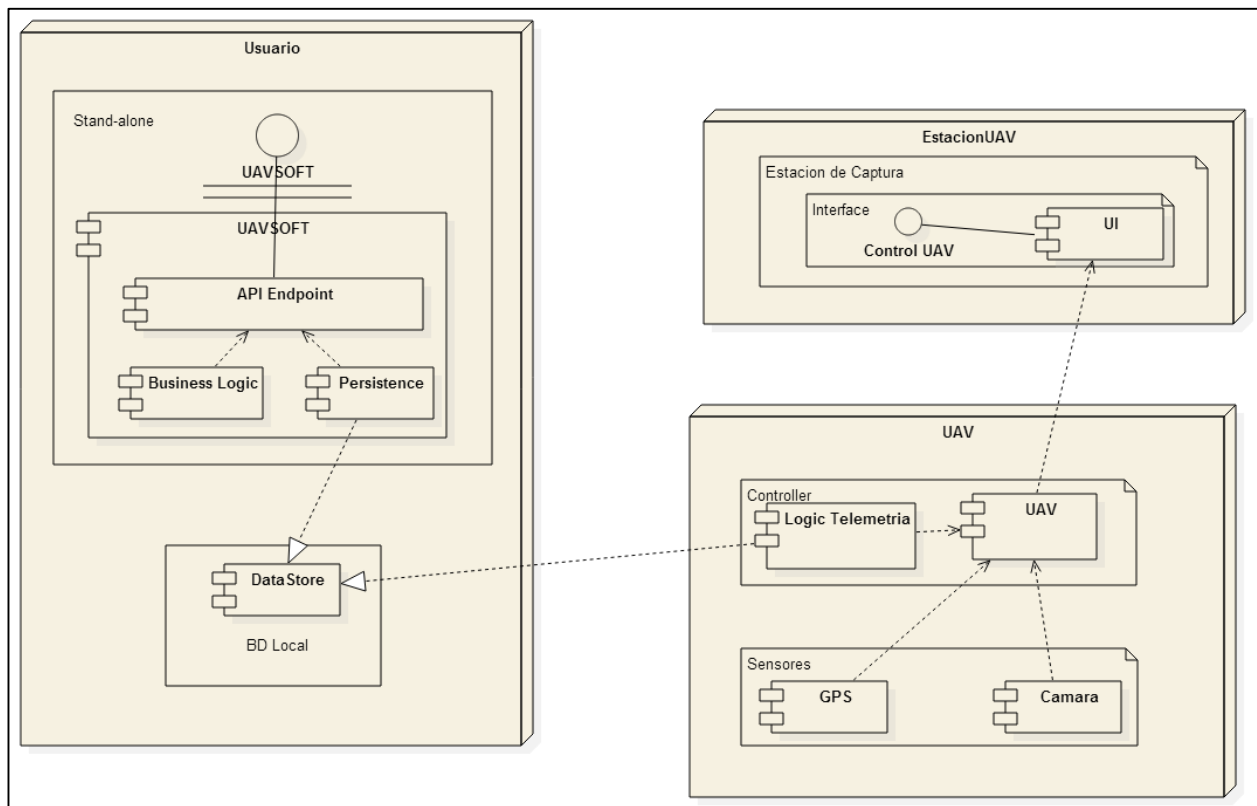


Ilustración 21. Vista de Despliegue

5.3 Prototipo Funcional

El trabajo de grado “Generación de mosaicos georreferenciados a partir de imágenes adquiridas desde Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs)” es soportado por el software desarrollado GMG (UAV-SOFT), el cual ayuda al desarrollo del concepto uavmetria (medición de datos sobre fotografías de alta calidad) que permite apoyar la toma de decisiones sobre cualquier terreno ya que proporciona un insumo óptimo para este proceso. Un mayor detalle de este artefacto se puede encontrar en el [anexo 7 – Manual de Usuario](#)

5.3.1 Funcionamiento

La aplicación GMG recibe como entrada dos fotografías aéreas tomadas desde el UAV, estas fotografías tiene imágenes de la vista aérea de un área en común cualquiera, por lo cual la herramienta es versátil (en la medida en que su uso se puede aplicar a cualquier tipo de área, cumpliendo con las condiciones establecidas en el guía de captura). Es necesario que las fotografías tomadas sean totalmente planas y no presentes ninguna variación, como por ejemplo efecto ojo de pescado, para este caso se debe utilizar software especializado para la corrección pertinente. A través de la aplicación de software es posible unificar dos o más imágenes (de forma secuencial), teniendo en cuenta un número mínimo puntos comunes existentes entre ellas y su escala de grises en caso de ser necesario; las imágenes (capturadas previamente por el usuario) deber cargarse en orden de izquierda a derecha (para conservar el orden de construcción del mosaico); la aplicación de software desarrollada se encarga de calcular los puntos relevantes, filtrar en los comunes según la cantidad ingresada por el usuario, generar la matriz de homografía y generar el mosaico; luego se georreferencia el resultado obtenido con un método matemático basándose en la altura, coordenadas iniciales y grados de separación deseados. Finalmente el software muestra al usuario el mosaico (de dos o más imágenes) y su correspondiente georreferenciación.

En seguida, se muestra una guía de uso correcto de la aplicación en un computador, es necesario haber finalizado en su totalidad el manual de instalación teniendo en cuenta todos los conceptos allí descritos.

5.3.2 Área de trabajo

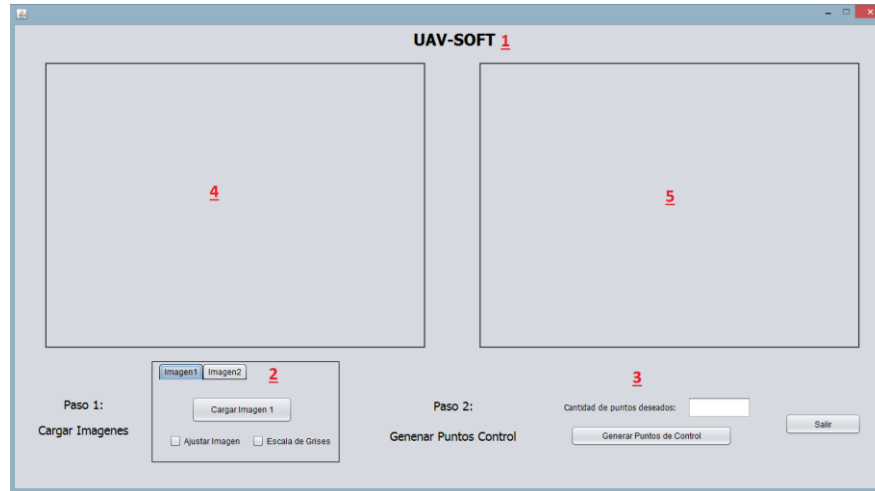


Ilustración 22. Área de Trabajo 1

1. Nombre de la aplicación
2. Zona de carga de fotografías y control de fotografías, (tamaño cualquiera o ajuste 570 x 428px).
3. Ingreso de datos y generación de puntos.
4. y 5. Zona de visualización de fotografías.

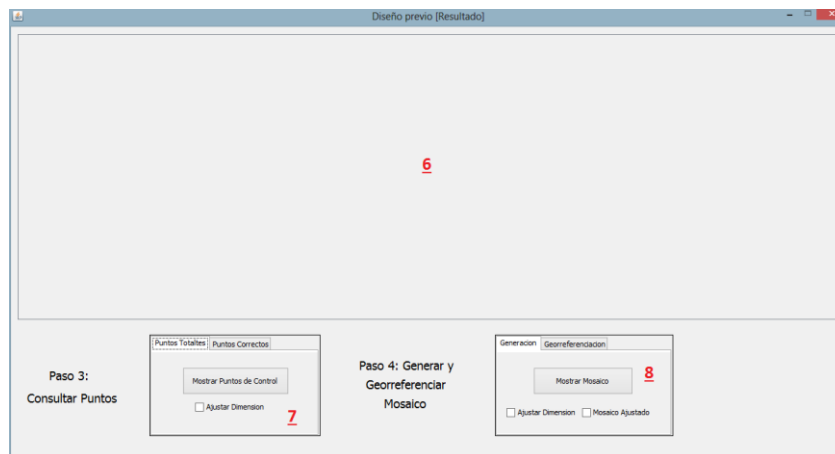


Ilustración 23. Área de trabajo 2

6. Zona de visualización de mosaicos (tamaño cualquiera o ajuste 1227 x 419px).
7. Carga y control de imágenes de puntos de las fotografías.
8. Zona de ingreso de datos y georreferenciación de mosaicos.

VI - RESULTADOS Y REFLEXIÓN SOBRE LOS MISMOS

6.1 Resultados

En capítulos anteriores se definieron los métodos a utilizar (análisis), requerimientos del prototipo (SRS) y el diseño (SAD); el resultado fue la implementación de un software que nos permitió generar un mosaico georreferenciado por medio de UAVs. A continuación, se muestran las pruebas realizadas que permitieron alcanzar los objetivos del trabajo de grado con base en la validación realizada.

Se realizaron diferentes pruebas enfocadas al alcance de cada una de las versiones que se desarrollaron, inicialmente se realizó la unión básica de dos imágenes, luego se realizó el “*mosaic*ing” de dos fotografías capturadas de manera correcta y finalmente se realizó la georreferenciación. Un mayor detalle de este artefacto se puede encontrar en el [Anexo 8 – Plan de Pruebas](#).

6.1.1 Prueba I

El propósito de esta prueba fue comprobar la correcta “unión” visual por medio de la versión 1.0 software desarrollado, de dos imágenes. Esta prueba busco identificar el error que se pueda dar por la cantidad de puntos que se tengan en cuenta al igual que las uniones realizadas. Dadas las condiciones de hardware que se tenían, fue necesario realizar la corrección del efecto ojo de pescado producido por la cámara GoPro Hero 3 + Black debido a su lente gran angular; dado que estas características se encontraban fuera del alcance del trabajo de grado y no se contemplaron en las variables iniciales fue necesario utilizar el GoPro Studio, herramienta provista por el mismo proveedor, la cual entre otras funciones permite eliminar este efecto, un mayor detalle se puede observar en la guía de vuelo y alistamiento de insumos para el desarrollo.

Para esta prueba; se identificaron diferentes etapas, en primer lugar se realizó una identificación de puntos relevantes basadas en SURF, luego se realizaron las asociaciones de puntos basadas en el mismo método y finalmente se hallara la matriz de homografía resultante para esta unificación. La prueba consistió en realizar el proceso de generación y finalmente realizar una comprobación visual del resultado. El resultado de esta prueba inicial nos generó algunos

errores debido a que se realizó un match entre todos los puntos sin tener en cuenta la restricción de cantidad de asociaciones por punto, por lo tanto se identificaron los siguientes puntos:

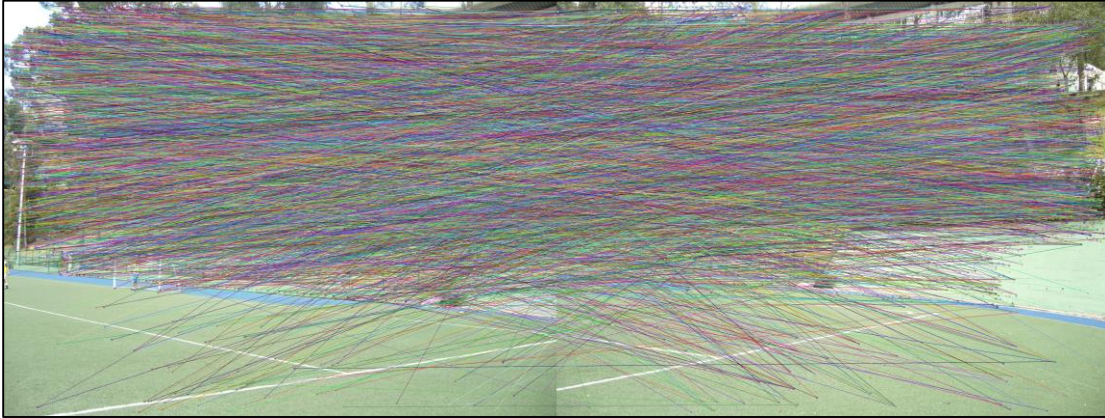


Ilustración 24. Prueba I, paso 1

Por consiguiente al realizar el filtro de puntos correctos se combinaron relaciones de 1 a muchos:

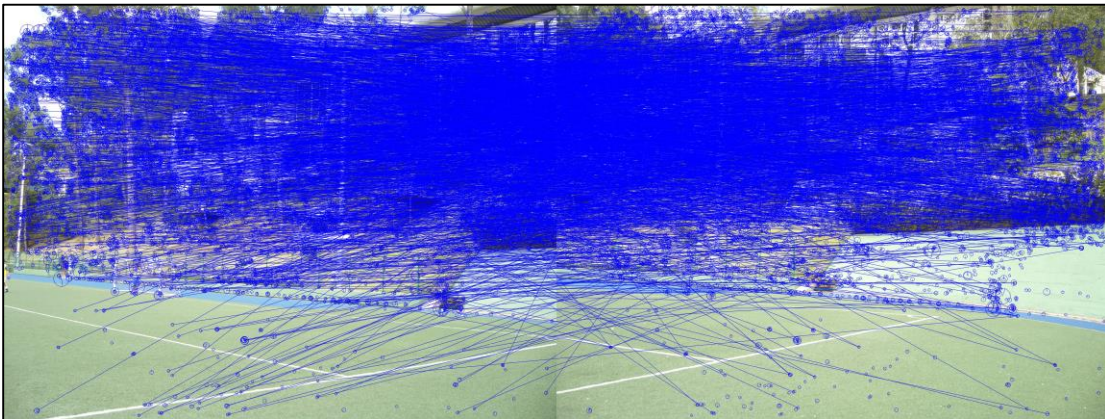


Ilustración 25. Prueba I, paso 2

Y finalmente se generó el mosaico con una proyección errada y se obtuvo el siguiente resultado.



Ilustración 26. Prueba I, paso 3

6.1.2 Prueba II

El propósito de esta prueba es comprobar los ajustes realizados a la correcta “unión” visual por medio de la versión 1.1 software desarrollado, de dos imágenes capturadas. Esta prueba busco corregir el error que se presentó en la prueba I, además dada la cantidad de puntos que se utilizaron analizar las uniones realizadas. El problema presentado en la prueba inicial se debió a que el SURF (que fue la opción seleccionada) trabaja sobre un dato único, es decir, el realizo un proceso para cada uno de los datos del pixel (R, G y B) por lo cual encontró el triple de puntos a los seleccionados y tuvo un mayor error, se realizó un promedio entre estos tres valores para generar un solo dato por pixel y asegurar que un pixel no presentara más de una relación. El proceso fue el mismo a la prueba I, el resultado fue:

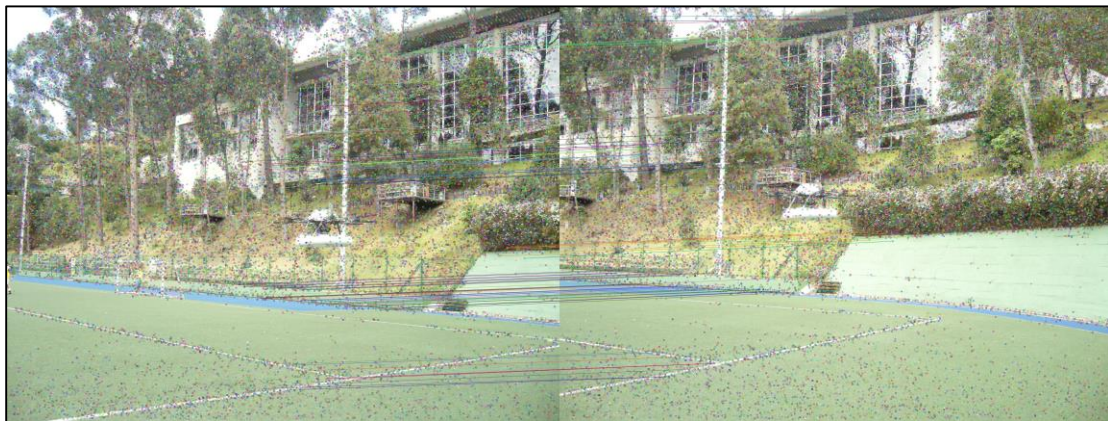


Ilustración 27. Prueba II, paso 1

Una imagen inicial en la cual se identificaron todos los puntos clave, como se puede observar ya no se realizan uniones de todos con todos, únicamente las correctas que fueron filtradas a continuación:



Ilustración 28. Prueba II, paso 2

Este match de puntos no brindo un mosaico correcto que cumplió con los objetivos deseados:



Ilustración 29. Prueba II, paso 3

6.1.3 Prueba III

El propósito de esta prueba fue comprobar la correcta “unión” visual por medio de la versión 2.0 software desarrollado, de dos fotografías capturadas de forma correcta. Esta prueba busco identificar el error que se pueda dar por las condiciones de la superficie terrestre.

Para este proceso; se tuvo en cuenta que principalmente que: se realiza en un ambiente controlado, el UAV estaba a una altura estable para la captura y totalmente perpendicular a la superficie, finalmente se debe realizar una corrección de las fotografías debido al lente de la cámara utilizada.

Las entradas de la prueba son dos fotografías en formato válido, teniendo en cuenta el tamaño mínimo requerido, además fueron fotografías secuenciales de superficie terrestre. Se obtuvo el siguiente resultado:

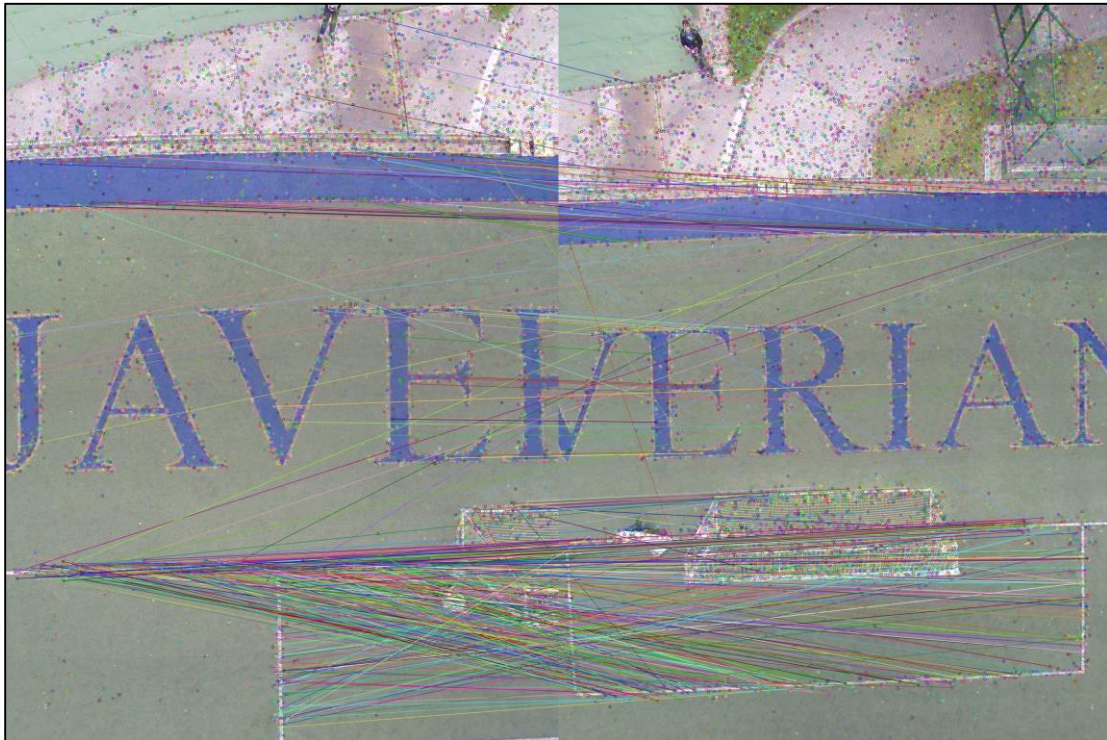


Ilustración 30. Prueba III, paso 1

En el resultado de esta prueba se observó que dada las características del terreno, más específicamente la homogeneidad que se observa, presenta errores debido a que realizó una relación de puntos incorrecta que se identificaron en diferentes píxeles de cancha sintética; al realizar el filtro obtuvimos:

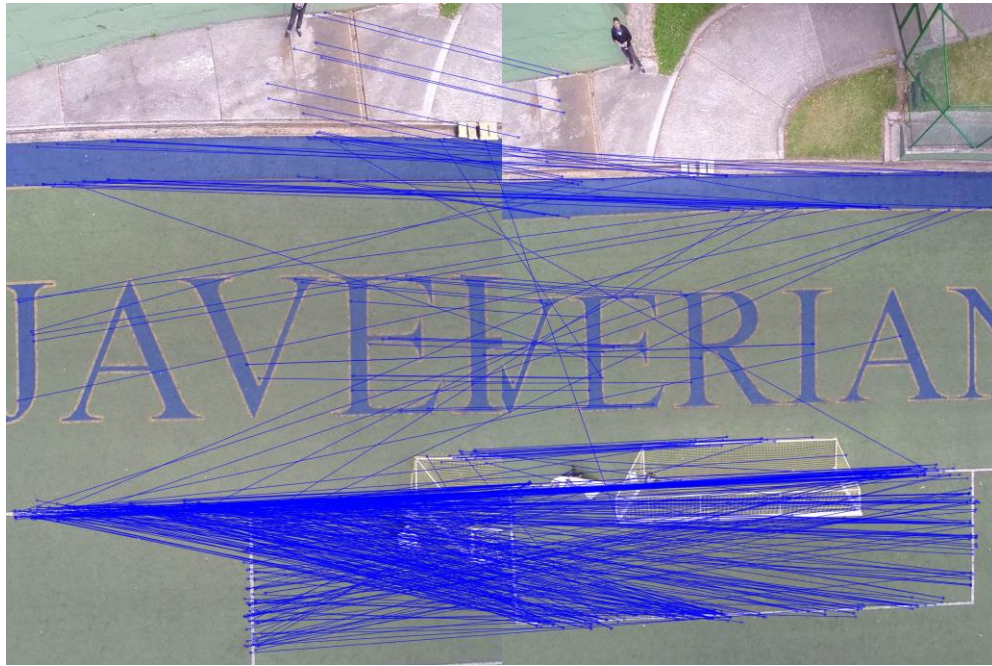


Ilustración 31. Prueba III, paso 2

Al realizar el proceso de “mosaicng”, se pudo observar que el filtro no elimino los pares de puntos erróneos obteniendo el siguiente mosaico:



Ilustración 32. Prueba III, paso 3

Basados en el resultado de esta prueba y dado el análisis respectivo se notó una diferencia entre las fotografías tomadas que obligo a cambiar las condiciones de captura; en primer lugar se debe realizar una corrección de la fotografía dado el lente que se utilizó, en segundo lugar el porcentaje de solapamiento debe ser mayor o igual al 30% y finalmente se identificó que en este porcentaje de solapamiento los objetos deber permanecer estáticos dado que un cambio en ellos modifica la relación obtenida en la matriz de homografía.

6.1.4 Prueba IV

El propósito de esta prueba fue comprobar la correcta “unión” (de manera visual) realizada de dos fotografías por el software desarrollado en su versión 2.2, estas imágenes se basan en la técnica de captura correcta y teniendo en cuenta los ajustes obtenidos en la prueba anterior. Se buscó identificar si las variables a tener en cuenta eran las correctas y verificar si el error que se dio por la metodología utilizada era el aceptable.

Para este proceso; se tuvo en cuenta que principalmente que: Se realizó en un ambiente abierto, el UAV estaba a una altura estable (entre 10 y 20 metros) para la captura y totalmente perpendicular a la superficie, cámara GoPro Hero3+ Black con estabilizador Tarot, se realizó una corrección de las fotografías debido al lente de la cámara utilizada, se tuvo mínimo dos GPS para obtener el punto exacto de vuelo, datos de ubicación para control interno. El resultado de la prueba fue:

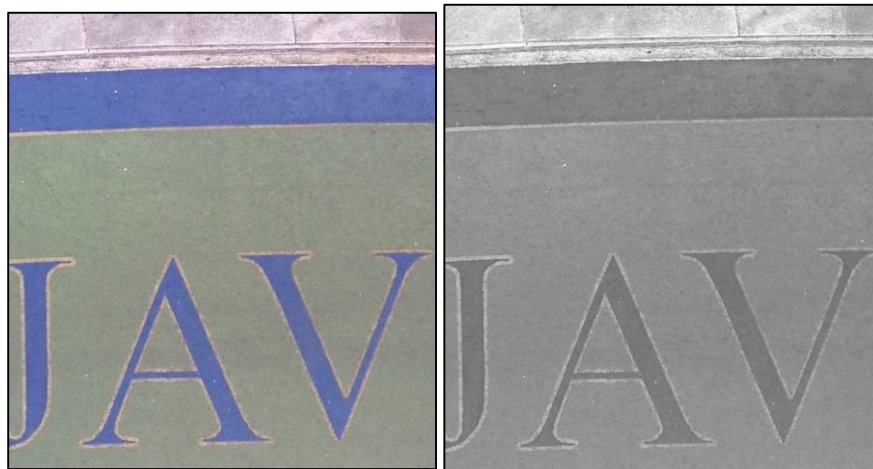


Ilustración 33. Prueba IV, paso 1

En primer lugar y teniendo en cuenta la homogeneidad en las características del terreno se realizó un proceso de cambio a escala de grises en las fotografías corregidas de entrada, lo cual nos permitió realizar una mejor diferenciación y asociación en los puntos de ambas imágenes; esto nos permitió obtener:

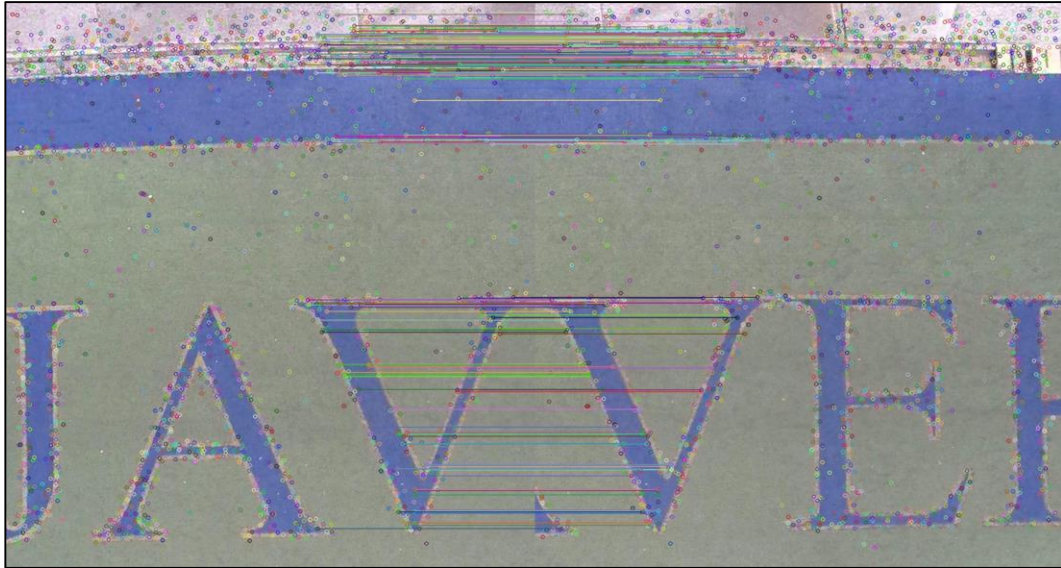


Ilustración 34. Prueba IV, paso 2

A esta imagen se le realizó el filtro de puntos clave no relacionados y el resultado fue:

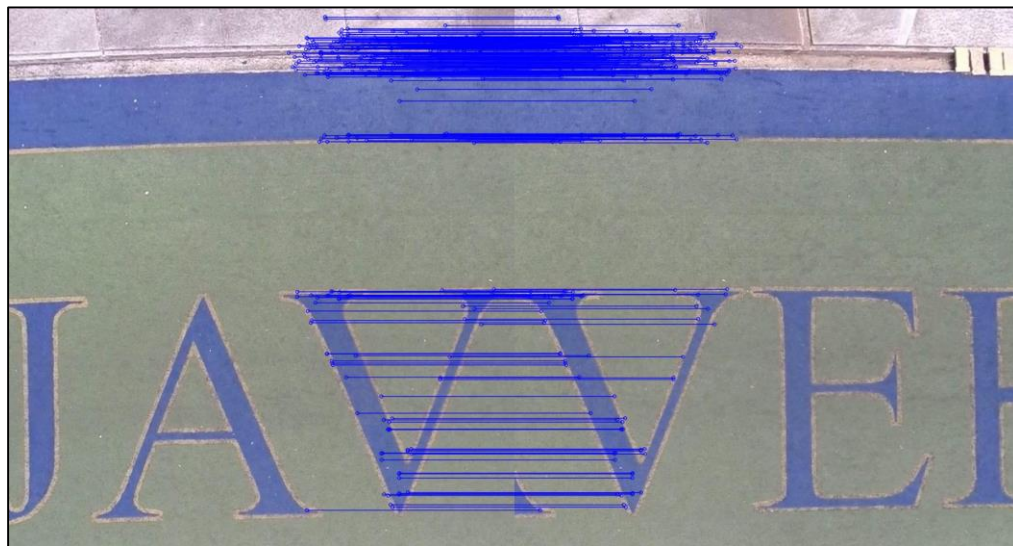


Ilustración 35. Prueba IV, paso 3

Como se puede observar los pares puntos finales asociados son correctos; se encuentran estabilizadas las variables de porcentaje de solapamiento, alturas iguales, corrección de la imagen por la condiciones del lente utilizado. El resultado final de esta prueba fue:



Ilustración 36. Prueba IV, paso 4

Como se puede observar la creación del mosaico se realizó de forma correcta, la parte “negra” de la foto corresponde al porcentaje de solapamiento entre las dos fotografías.



Ilustración 37. Prueba IV, paso 5

Se realiza la salida con y sin solapamiento para obtener una imagen con menos pixeles vacíos.

6.1.5 Prueba V

El propósito de esta prueba fue comprobar la correcta “unión” (de forma visual) del software desarrollado, de más de dos fotografías capturadas de forma correcta (según parámetros definidos) y de manera secuencial; para este caso se utilizaron 3 fotografías. Esta prueba busco identificar las variables a tener en cuenta que no se hubieran considerado y el error que se pueda dar por la metodología utilizada para capturar las imágenes al igual que el error acumulado por el proceso de iterar sobre los resultados varias veces.

Para este proceso; se tuvo en cuenta principalmente que: se realiza en un ambiente abierto, el UAV estaba a una altura estable (entre 10 y 20 metros) para la captura y totalmente perpendicular a la superficie, cámara GoPro Hero3+ Black con estabilizador Tarot, finalmente se debe realizar una corrección de las fotografías debido al lente de la cámara utilizada. Se obtuvieron ráfagas de 10 fotos por segundos y se realizó un desplazamiento de 1 metro/segundo, los datos del GPS fueron capturaos en grupos de 4 coordenadas por segundo. Las imágenes totales del proceso fueron:

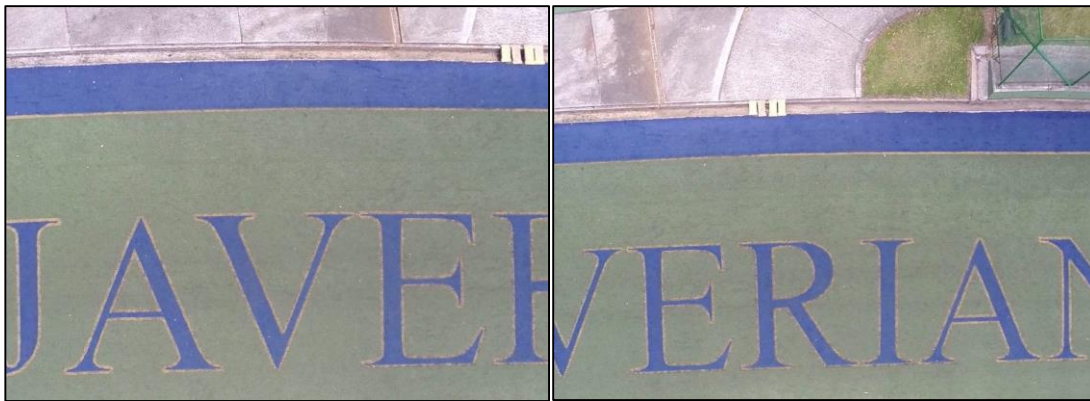


Ilustración 38. Prueba V, paso 1

Se realizó el proceso de cambio a escala de grises:

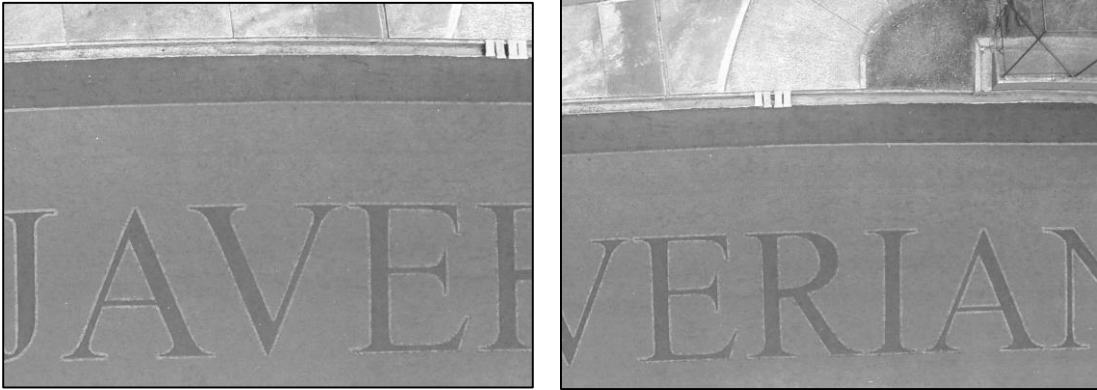


Ilustración 39. Prueba V, paso 2

La imagen de la izquierda es el resultado de la primera iteración en cual ya se unificaron dos imágenes:

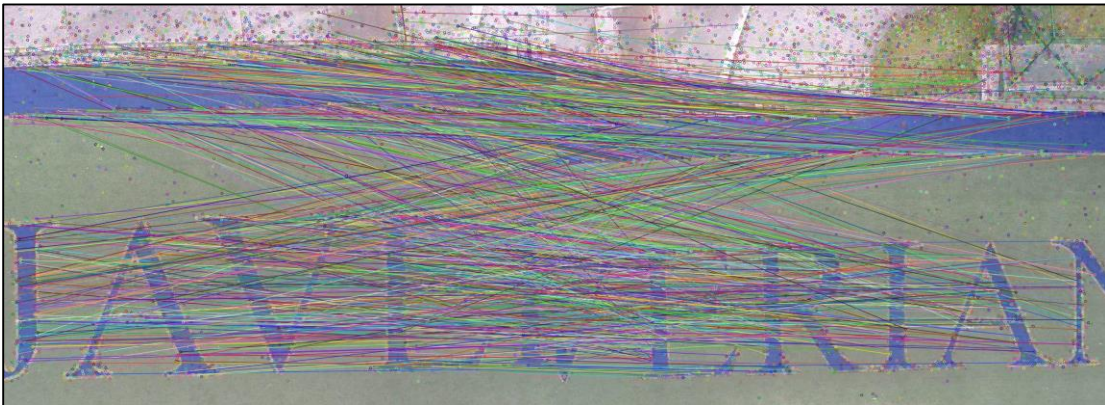


Ilustración 40. Prueba V, paso 3

Dada la resolución de la imagen se requiere un mayor número de puntos, el cual se calcula basado en la sugerencia sobre los pixeles,



Ilustración 41. Prueba V, paso 4

Se realizó el filtrado de puntos clave no relacionados (pero relevantes) y se generó el mosaico,



Ilustración 42. Prueba V, paso 5

A este mosaico se realizó el ajuste de porcentaje de solapamiento,



Ilustración 43. Prueba V, paso 6

Finalmente se ingresaron las coordenadas, se realizó el cambio de formato de las mismas y se proyectaron basado en un método matemático al cual se ingresan como parámetros la altura y distancia de separación de coordenadas, este tiene un error de 0.01 metros, el resultado fue:

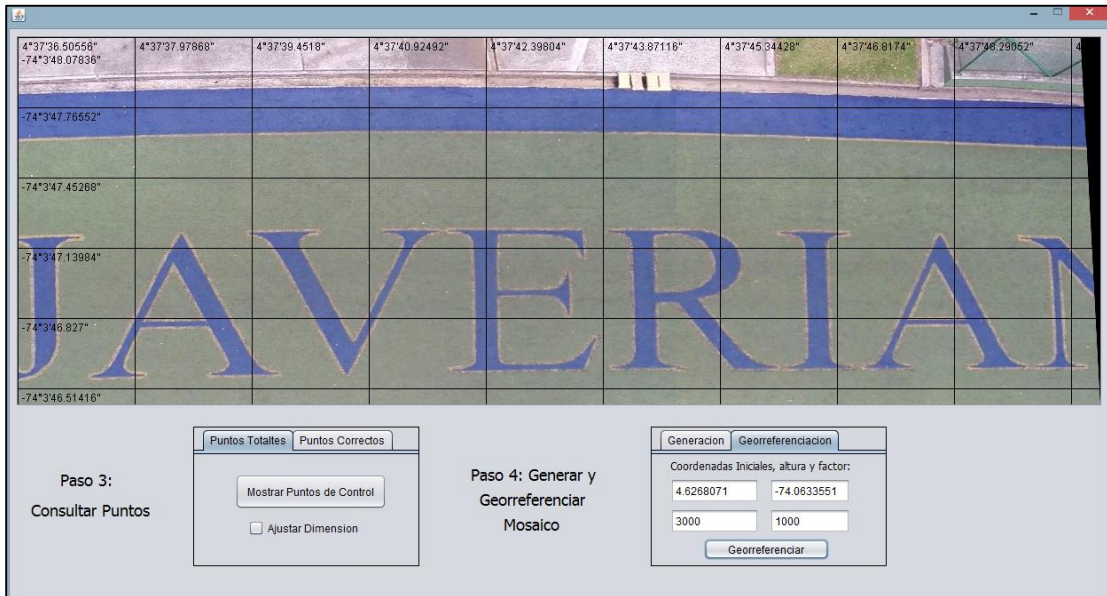


Ilustración 44. Prueba V, paso 7

6.2 Comparación

El resultado de este trabajo de grado fue comparado con los aplicativos de propósito similar más utilizados:

6.2.1. GIMP

El primer aplicativo utilizado se encuentra basado en lenguaje Python, para la generación de mosaicos se apoya en el *plugin pandora*; la principal diferencia es que este aplicativo únicamente permite unificar las imágenes uniéndolas de forma manual;

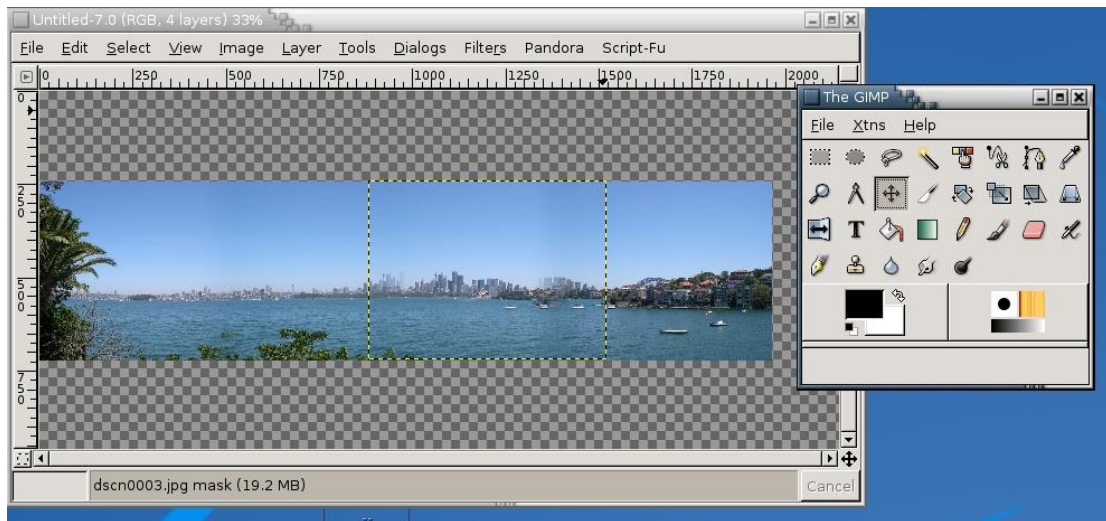


Ilustración 45. GIMP – Pandora

Aunque permite realizar suavizado de la imagen y otros ajustes a la misma la unificación como tal es bastante rudimentaria.

6.2.2 HUGIN

Es uno de los aplicativos más completos, tiene una gran variedad de opciones; la primera diferencia radica en la corrección de la fotografía, el proceso realizado para quitar el efecto “ojo de pez” es bastante acertado, sin embargo, el software utilizado en este proyecto es propio de GoPro por lo cual su corrección es mejor.

La segunda diferencia radica en los metadatos de la fotografía; es decir, este software basado en c++ tiene en cuenta variables importantes, sin embargo, en caso de no tenerlas la “generación automática” no es muy acertada,

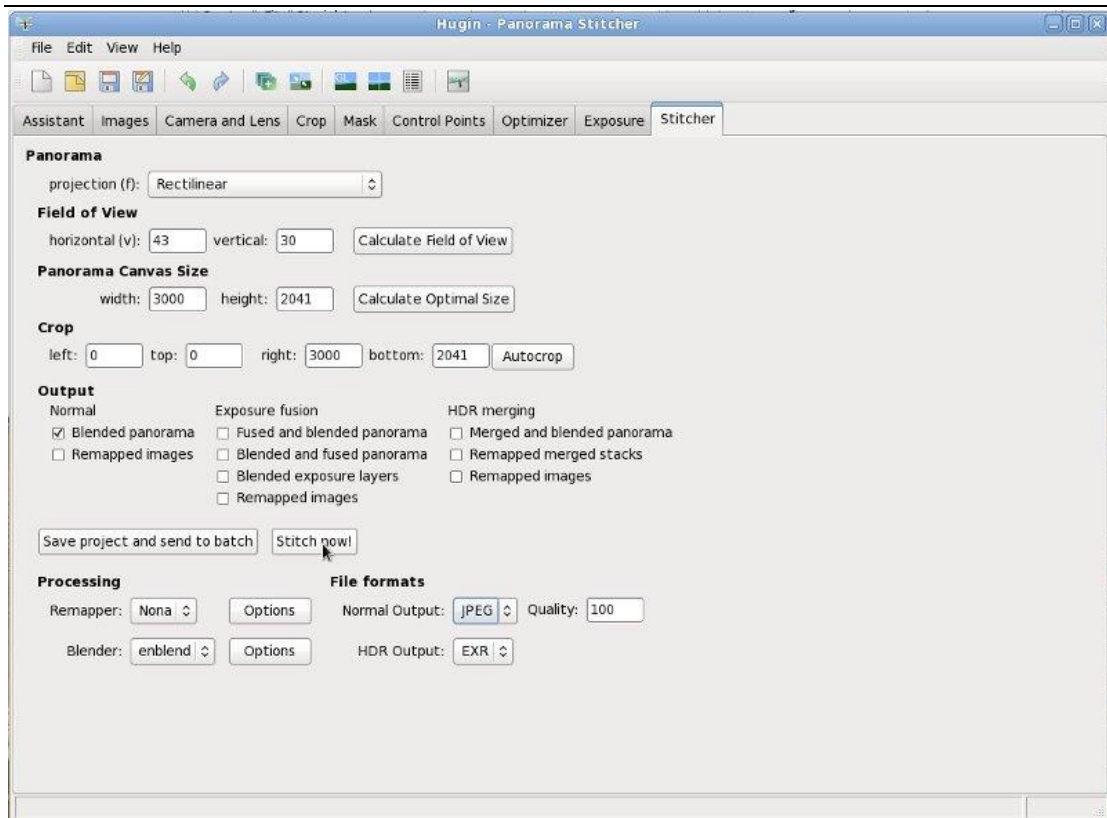


Ilustración 46. HUGIN Parámetros

Como se puede observar en la imagen anterior, la variable “proyección” permite realizar diferentes capturas de las fotografías no solo perpendiculares a la superficie (punto a favor), sin embargo, y basado en este mismo parámetro seleccionado requiere diferentes valores de entrada como el campo de visión, tamaño del canvas, entre otros, los cuales no son de fácil acceso en algunos casos y por lo tanto limita la generación del mosaico. Y finalmente, este software no permite realizar una georreferenciación del mosaico construido.

6.2.3 Google Maps (Earth)

Por otra parte y con respecto a la georreferenciación de imágenes, se comparó con esta opción existente en el mercado. La principal diferencia, claro está, radica en que este aplicativo no permite construir un mosaico; sin embargo no es el único factor diferenciador, como podemos observar a continuación la calidad de las imágenes terrestres es menor a la obtenida por este trabajo de grado, esto radica en la forma de captura aplicada, por lo tanto este software produce un resultado de menor calidad e información menos exacta.

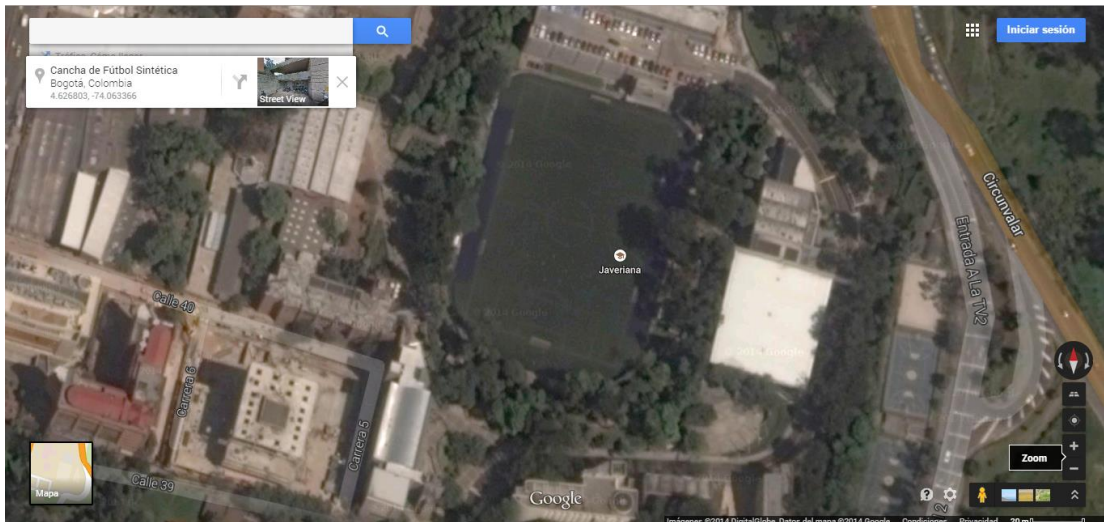
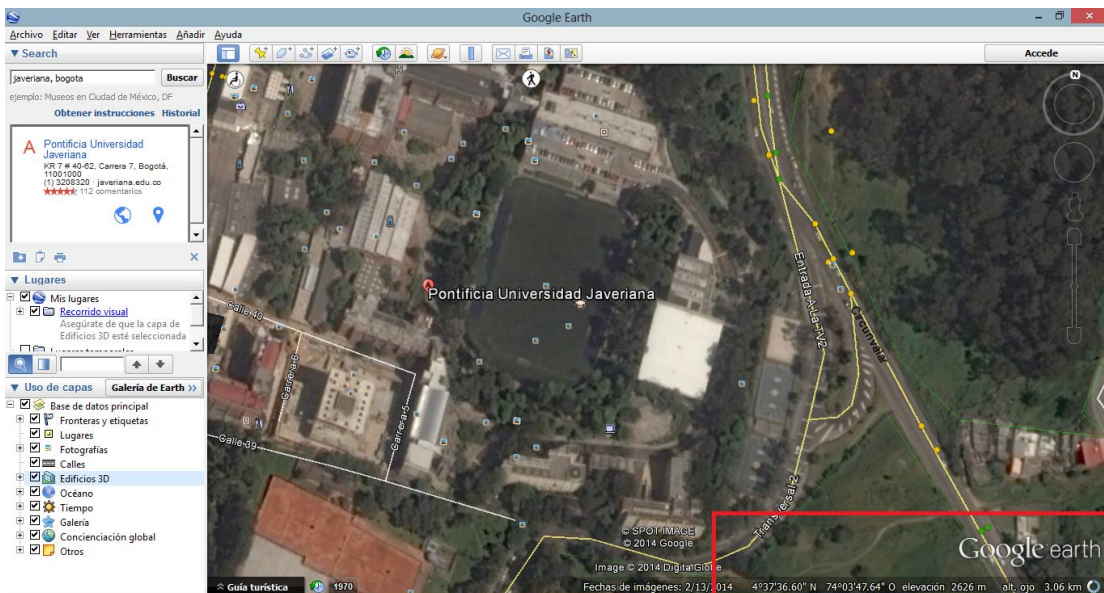


Ilustración 47. Google Maps (Google Inc., 2014)

Al tener una mayor calidad de imágenes podemos tener un mayor detalle y asociar las coordenadas de una manera más precisa, hasta llegar al detalle de cambio en coordenadas por cada centímetro.



Google Earth (Google Inc., 2014)

6.3 Reflexiones

Finalmente y apoyándonos en el prototipo de software desarrollado en su versión 3.3 que se encuentra soportado en formulaciones matemáticas que permite unificar dos o más imágenes de superficie terrestre (secuencialmente en pares), se realizó el análisis de diferentes casos de prácticos y académicos similares al igual que pruebas y versionamiento propio de este proyecto; el resultado de cada uno de estos análisis no permitió afinar el método y así se obtuvo el mosaico georreferenciado, ingresando las coordenadas de latitud y longitud, la altura del UAV que nos permite calcular el área que abarca la fotografía y la distancia de separación de coordenadas, estas dos variables deben ser proporcionales en caso contrario se podría llegar a los extremos de conseguir únicamente la coordenadas iniciales o muchas que no permitirían diferenciarlas.

6.3.1 Basado en los Objetivos

Este trabajo de grado cumplió con los objetivos propuestos. A continuación se enuncian los objetivos específicos y la forma en la que fueron cumplidos durante el desarrollo del trabajo.

1. **Objetivo:** Ubicar las posibles fuentes de datos para obtener información acerca de distintos métodos existentes para la generación y georreferenciación de imágenes.

Para el cumplimiento de este objetivo:

- Se analizaron experiencias empresariales en donde se muestran aplicaciones prácticas relacionadas con el contexto del proyecto, explicando qué son los UAVs, componentes, relaciones y funcionamiento.
 - Se consideraron diferentes experiencias académicas en las cuales se analizaron los métodos de generación utilizados y su respectiva especificación.
 - Se identificaron las diferentes técnicas generales que se utilizan tanto para unificar los proyectos y realizar una referenciación geográfica.
2. **Objetivo:** Definir características, atributos y subprocesos relevantes asociados a la generación de mosaicos geo-referenciados.

Para este objetivo se realizó un análisis de las variables principales a tener en cuenta, las cuales tienen influencia directa en los procesos principales del proyecto, el resultado general se observa en la sección 4.1.

Se realizó la especificación de requerimientos de software, definiendo las características necesarias del prototipo de software a desarrollar.

- 3. Objetivo:** Diseñar el método teniendo en cuenta la integración de las herramientas de software y hardware necesarias para la generación de mosaicos de imágenes.

Para el cumplimiento de este objetivo se entrega un documento de arquitectura de software (SAD), presentando arquitectura física y arquitectura lógica.

- 4. Objetivo:** Realizar la documentación del método, implementación e integración de las herramientas de software necesarias para producir mosaicos de imágenes geo-referenciadas.

Para este objetivo específico se realizó:

- Se implementó el prototipo de software GMG-SOFT
- Se documentaron las especificaciones del prototipo implementado.
- Adicionalmente se entrega el código fuente del prototipo implementado.

- 5. Objetivo:** Verificar la eficacia del método propuesto y de las herramientas de software implementadas a partir de un conjunto de imágenes capturadas, procesadas e integradas en un mosaico.

Para este objetivo específico se realizó:

- Se desarrolló el plan de pruebas propuesto
- Se documentaron los resultados del prototipo implementado.
- Adicionalmente se entregan las imágenes resultantes de la validación.

VII – CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

7.1 Conclusiones

- Se puede concluir que en comparación con una imagen satelital la resolución brindada por una fotografía tomada desde un UAV es mucho mayor y de mejor calidad, esto nos brinda un mayor detalle y nos permite realizar un mejor análisis sobre la superficie terrestre. Sin embargo el uso de cámaras gran angulares puede generar distorsiones y aumentar el error, por lo cual para obtener un resultado con menos ruido se deben utilizar cámaras de lente sin efecto ojo de pescado.
- Se concluye que existe un nuevo método de generación de mosaicos cartográficos de alta calidad basados en el uso de nuevas tecnologías como los *drones* (específicamente los UAV), cámaras de alta resolución y mayor resistencia a las condiciones de vuelo.
- Basándose en este trabajo de grado y desde el área de Ingeniería de Sistemas se brinda un apoyo los procesos de medición sobre imágenes, más específicamente a los sistemas de información geográficos ya que este trabajo aporta la producción de nuevos insumos de mayor calidad los cuales permiten un mejor y más detallado análisis sobre los datos por consiguiente se apoya la toma de decisiones sobre los mismos.
- No se realizó una validación del prototipo desarrollado con usuarios finales, ya que este proceso puede ser tomado como un trabajo complementario al presente, sin embargo se realizó una verificación de la solución por medio del software implementado, comparándolo con el principal sistema que se asemeja.
- Mediante el análisis de los resultados se comprobó que es necesario tener en cuenta tanto la altura como el ángulo de apertura asociado el lente de la cámara utilizada para realizar una correcta referenciación geográfica en un mosaico de superficie terrestre, a través de esta variables al igual que las condiciones de ubicación espacial en las cuales se captura la fotografía.
- Se ha probado la solución propuesta por mediante la implementación de un prototipo, basado en Java, del cual es posible concluir que el desarrollo en esta plataforma facilita la interoperabilidad y amplía el alcance de este proyecto; además reduce la complejidad debido a que permite adaptar la lógica de otros aplicativos y utilizar los recursos de manera eficiente.

- En este trabajo de grado se analizaron las técnicas existentes que permiten comparar dos imágenes y así se extrajeron las mejores prácticas de cada una para generar una mayor eficiencia y eficacia en el procesamiento de fotografías; basado en las pruebas realizadas se pudo observar la disminución del error generado a medida que se refinaban los pasos internos.
- Este trabajo de grado permitió establecer un método matemático que permite georreferenciar un mosaico y pudo ser modelado por el software desarrollado, teniendo en cuenta las características de captura de fotografías; lo cual genera una herramienta versátil, usable y con un ambiente amigable para los usuarios, permitiendo obtener calidad en la información basado en los datos ingresados.
- Finalmente, en el transcurso de este trabajo de grado se pudo concluir que la captura de fotografías por medio de un UAV es un método que genera mayor información a un menor costo (en comparación con las demás forma existentes, por ejemplo, desde un avión o un satélite); tanto en la adquisición como en el mantenimiento se observa gran diferencia. Además, el uso de estos *drones* permite disminuir la complejidad de acceso a los lugares con topografía agresiva y dado el manejo de corto alcance del mismo las condiciones climáticas son más fáciles de sortear.

7.2 Impacto

Este trabajo de grado impacta diferentes áreas del conocimiento;

- Inicialmente y directamente a la cartografía automatizada brindando mayor calidad en sus planos
- En infraestructura es posible almacenar información gráfica que sea relativa a la conectividad de las redes de servicios públicos o privados para ayudar al desarrollo, mantenimiento y administración de las mismas.
- En gestión territorial, permitiría un fácil y rápido acceso a la información gráfica y en un futuro numérica, que permitiría un mejor análisis espacial de la misma. Apoyando proceso como alerta de desastres y pertenecientes al plan de ordenamiento territorial.
- En medio ambiente, facilitaría definir el impacto ambiental en la ejecución de proyectos; si se integra con otros sistemas y se aumenta el lapso en toma de imágenes evaluaría en tiempo real de la concentración de agentes ajenos al medio ambiente (como contaminantes, deforestación, etc.) y permitiría tomar medidas preventivas o correctivas de ser necesario.

-
- En el ámbito social, permitirían definir la ubicación y gestionar el impacto de servicios públicos como centros sanitarios, hospitales, deportivos, culturales, lugares refugio en casos de emergencias, entre otros y brindan información sobre los ya existentes en una zona. Lo anterior aumenta la productividad al optimizar recursos asignándolos de forma adecuada, precisa y eficiente.
 - El uso de UAVs en los SIG utilizados en el modelamiento del tráfico, que determinan patrones de circulación por una vía teniendo en cuenta las condiciones de tráfico y asignan un valor a los puntos definiendo en cuales puede existir un semáforo.
 - En la planimetría, la cual tiene como objetivo la representación bidimensional del terreno proporcionaría al usuario la posibilidad de proyectar cualquier trabajo sobre la pantalla sin haber estado antes en el sitio físico del proyecto; así el usuario tendría un fácil acceso información cualquier predio, como cantidad de terrenos desocupados o tamaño y volumen de los insumos que necesitaría.
 - En la cartografía digital 3D, realizando las adaptaciones de captura necesarias permitiría generar modelos tridimensional de construcciones civiles, por ejemplo, para planear la cobertura en una población ubicando los rebotes de ondas radiales entre antenas, en un aeropuerto este modelado tridimensional (o modelo de elevación digital) permitiría estudiar los espacios aéreos que intervienen al momento de diseñar y verificar la viabilidad técnica del proyecto.

7.3 Trabajos Futuros

A continuación se presentan posibles trabajos futuros relacionados con el presente trabajo de grado:

- Por medio de fotografías capturadas desde UAV y procesadas en este proyecto se generan insumos para diferentes tipos de sistemas de información geográfica; es posible modificar los elementos de captura y no solo obtener imágenes pancromáticas.
- La siguiente fase de este proyecto tiene como objetivo generar modelos de elevación digital, basándose en los fundamentos acá desarrollados. Es posible aplicar esta técnica a cualquier tipo de superficie, generando modelos urbanos de zonas como la visitada en este proyecto (USME)

lo cual permite obtener más información dadas las condiciones de esa ubicación; además se puede generar modelos rurales, es decir, de cualquier superficie terrestre.

- Este trabajo produce un mejor insumo para la agricultura de precisión, actualmente las imágenes capturadas de los terrenos tienen ciertas restricciones, como el campo de visión, o la calidad, más sin embargo el resultado de este proyecto permitiría contar con fotografías de mayor detalle y así realizar análisis de cosechas, plagas y demás fenómenos que puedan afectar una plantación.
- Los grandes avances en la tecnología cada vez se encuentran más al alcance de nuestras manos, por lo tanto, entre mejores insumos o entradas podamos tener mayor será el valor agregado del software, en el futuro se puede aplicar este software no solo a la generación de imágenes y su posterior georreferenciación, sino que además se podrán adicionar más características como tráfico en tiempo real, trabajos de logística en terrenos de difícil acceso, agricultura de precisión.

VIII - REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- A. Agarwala, M. D. (2004). *Interactive digital photomontage*. In ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH' 04).

-
- Adelson, P. B. (2004). *A multiresolution spline with application to image mosaics*. ACM Transactions on Graphics.
- Alejandra Nuñez Merchand, E. M. (2008). *Georeferenciación de localidades de colecciones Biológicas*. Mexico , D.F.: CONABIO. Recuperado el Abril de 2014
- Andersen, C. N. (2008, Sep). An Automatic System for Creating Geo-referenced Mosaics from MAV Video. *International Conference on Intelligent Robots and Systems* (págs. 22-26). Nice, France,: Acropolis Convention Center. Recuperado el Abril de 2014
- B. Bascle, A. B. (1996). *Motion deblurring and superresolution*. In Proc. ECCV.
- B. Bascle, A. B. (1996). *Motion deblurring and super-resolution from and image sequence*. In Proceedings of the 4th European Conference on Computer Vision (ECCV96).
- Beatty, J. &. (2012). *visual Models for Software Requirements*. An RML® Handbook. Microsoft Press.
- Bernhard Hofmann-Wellenhof, H. L. (2008). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. New york: SpringerWienNewYork. Recuperado el Abril de 2014
- C. Miravet, J. S. (2010). *Semiautomatic generation of mosaics. Application of Image fusion techniques*. Centro de Estudios Ambientales, Ayuntamiento de Vitoria, Division Aeroespacial. SENER Ingenieria de Sistemas, SA, 28760, Tres Cantos, Madrid. Recuperado el Abril de 2014
- Calcom. (Noviembre de 2014). *Calcom Computadoras y Accesorios*. Obtenido de <http://monitoreo.calcom.com.mx/index.htm>
- Chandler, P. R. (2012). *UAV cooperative control*. Wright-Patterson AFB, OH, USA: Flight Control Lab., Air Force Res. Lab. Recuperado el Abril de 2014
- Chandler, P. R., Pachter, M., Swaroop, D., & Fowler, J. (2013). *Complexity in UAV cooperative control*. Wright-Patterson AFB, OH, USA: Flight Control Div., AFRL/VACA,.
- Cizek, S. R. (2009). *The ethics of Google Earth: Crossing thresholds from spatial data to landscape visualisation*. Journal of environmental management, vol. 90, no. 6, pp. 2102–2117.
- D. Doermann, J. L. (2003). Progress in camera-based document image analysis. *in Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition, 1*, pp. 606–616. Recuperado el Abril de 2014
- D. Iunes, F. C.-G. (2005). *Confiabilidade intra e interexaminadores e repetibilidade da avaliação postural pela fotogrametria*. Rev Bras Fisioter, vol. 9, no. 3, pp. 327–34.

- Deriche, B. B. (1995). *Region tracking through image sequences*. In Proc. ICCV.
- DOMINGUEZ, J. M. (2009). *ESTIMACION DE LA DISTANCIA RECORRIDA EDIANTE LA UTILIZACION DE DESCRIPTORES SURF*. Madrid, España: ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR.
- DYNAMICS S.L. (15 de Julio de 2012). *Inteligencia Dynamics*. Obtenido de GRUPO INTELIGENCIA: http://www.iuavs.com/pages/aplicaciones_y_usos
- E. Crepani, J. S. (2005). *Imagens CBERS+ Imagens SRTM+ Mosaicos GeoCover LANDSAT em ambiente SPRING e TerraView: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento gratuitos aplicados ao desenvolvimento sustentável. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12*. Recuperado el Abril de 2014
- F.C. Wun, Z. (2010). *Feature vector field and feature matching*. Beijing 100190, China: National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences,.
- Feuer, M. E. (1997). *Restoration of a single superresolution image*. IP.
- Fielding, R. T. (2000). *UNIVERSITY OF CALIFORNIA, IRVINE*. Obtenido de http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm
- Gonzalez, P. R. (2008). *Estudio de la Aplicación de Metodologías Ágiles para la Evolución de Productos Software*. E_Informatica.
- Google Inc. (2014). *Conversiones Frecuentes*. Obtenido de Equivalencia de un Grado: <https://sites.google.com/site/antoniopadillac/Home/pesosymedidas/meridianosyparalelos>
- Groves, P. D. (2013). *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation System*. British Library of Congress: GNSS Technology and Applications Series. Recuperado el Abril de 2014
- Hernán, S. M. (2004). *Diseño de una Metodología Ágil de Desarrollo de Software*. Facultad de Ingeniería: Universidad de Buenos Aires.
- Hofstee, A. N. (2012). *Creating a mosaic using small format aerial photographs*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, The Netherlands.: Division of Soil Sciences and Division of Urban Planning and Management. Recuperado el Abril de 2014
- INove. (Noviembre de 2014). *Ingeniería en Sistemas de UAT Matamoros*. Obtenido de Apuntes y tareas de un estudiante de Ingeniería en Sistemas Computacionales de la UAT en Matamoros: <http://ingenieriaensistemasuat.wordpress.com/2010/01/07/funciones-trigonometricas-en-el-teorema-de-pitagoras-ejemplos/>

-
- IOGP. (Agosto de 2014). *International Association of Oil & Gas Producers*. Obtenido de <http://www.epsg.org/>
- Light Blue Touchpaper. (2014). *Security Research, Computer Laboratory, University of Cambridge*. Obtenido de How (not) to write an abstract: <https://www.lightbluetouchpaper.org/2007/03/14/how-not-to-write-an-abstract/>
- Lowe, J. B. (1997). *Shape indexing using approximate nearest-neighbor search in highdimensional spaces*. In Proceedings of the Interational Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR97).
- Lowe, M. B. (2010). *Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features*. University of British Columbia, Department of Computer Science. Vancouver, Canada: cs.ubc.ca. Recuperado el Abril de 2014
- Mackern, M. V. (2004). *Georreferenciación*. Mendoza: ANIGLA-CONICET, GESA. Recuperado el Abril de 2014
- Martín Gonzalez, P. R. (2014). *Introducción los Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de la República Oriental del Uruguay, Facultad de Ingenieria. República Oriental del Uruguay: INCO. Recuperado el Abril de 2014
- Méndez, G. (2012). *Proceso Software y Ciclo de Vida*. Universidad Complutense de Madrid: Dpto. de Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial, Facultad de Informática.
- Moreira, J. M. (2010). Nuevas tecnologías en el analisis y gestion del medio natural. *V Coloquio de Geografía Cunatitativa* (págs. pp. 65-80). Andalucía: Agencia del Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Recuperado el Abril de 2014
- N. Aydin, M. (2005). *Determining An Appropriate Approach To The Implementation Of A WfMS*. Enschede, The Netherlands: Springer.
- P. Cheeseman, B. K. (1994). *Super-resolved surface*. Technical report, NASA.
- Shum, R. S.-Y. (1997). Creating Full View Panoramic Image Mosaics and En-vironment Maps. *in Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 251–258. Recuperado el Abril de 2014
- Smal, K. A. (2014). *How To Write An Abstract*. Obtenido de Department of Economics, University of California at Irvine: http://www.galaxygoo.org/resources/abstract_writing.html
- Sobrino, J. A. (2010). *Teledetección*. Valencia, España: AEI. Recuperado el Abril de 2014
- Taro Suzuki, Y. A. (2009). Vision Based Localization of a Small UAV for Generating a Large Mosaic Image. *SICE Annual Conference 2010* (pág. 5). Advanced Research Institute

for Science and Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan: August 18-21, 2010, The Grand Hotel, Taipei, Taiwan. Recuperado el Abril de 2014

Warner, W. S. (1996). Small Format Aerial Photography. *Caitness: Whittles* (pág. 348). -: ITC Vubis. doi:25 cm. ISBN 1-870325-56-7.

Zisserman, D. C. (2010). *Automated Mosaicing with Super-resolution Zoom*. University of Oxford, Robotics Research Group. Oxford OX1 3PJ, UK.: Department of Engineering Science. Recuperado el Abril de 2014

IX - ANEXOS

Anexo 1. SRS (Software Requirement Specification)

Anexo 2. Plantilla SRS:

Anexo 3. Priorización de Requerimientos

Anexo 4. SAD (Software Architecture Document)

Anexo 5. Manual de Instalación

Anexo 6. Manual de Usuario

Anexo 7. Plan de Pruebas

ANEXO 2

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES
(Licencia de uso)

Bogotá, D.C., 02 de Febrero del 2015

Señores
Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J.
Pontificia Universidad Javeriana
Ciudad

Los suscritos:

Kevin Lauritzen Vasquez Largo , con C.C. No 1014192700

En mi calidad de autor exclusivo de la obra titulada:

Generación de mosaicos georreferenciados a partir de imágenes capturadas con vehículos aéreos no tripulados (por favor señale con una “x” las opciones que apliquen)

Tesis doctoral Trabajo de grado Premio o distinción: Si No

cual:
presentado y aprobado en el año 2014 , por medio del presente escrito autorizo a la Pontificia Universidad Javeriana para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mi obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autorizan a la Pontificia Universidad Javeriana, a los usuarios de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J., así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado un convenio, son:

AUTORIZO	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la sala de tesis y trabajos de grado de la Biblioteca.	X	
2. La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca)	X	
3. La consulta electrónica - on line (a través del catálogo Biblos y el Repositorio Institucional)	X	
4. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer	X	
5. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet	X	
6. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previo convenio perfeccionado con la Pontificia Universidad Javeriana para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

De manera complementaria, garantizo en mi calidad de estudiante y por ende autor exclusivo, que la Tesis o Trabajo de Grado en cuestión, es producto de mi plena autoría, de mi esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi creación original particular y, por tanto, soy el único titular de la misma. Además, aseguro que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mi competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Pontificia Universidad Javeriana por tales aspectos.

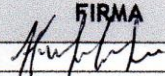
Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Pontificia Universidad Javeriana está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: Información Confidencial:

Esta Tesis o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. Si No

En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

NOMBRE COMPLETO	No. del documento de identidad	FIRMA
Kevin Lauritzen Vasquez Largo	1014192700	

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO: Ingeniería de Sistemas

ANEXO 3
BIBLIOTECA ALFONSO BORRERO CABAL, S.J.
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO
FORMULARIO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS DOCTORAL O TRABAJO DE GRADO						
Generación de mosaicos georreferenciados a partir de imágenes aéreas capturadas con vehículos aéreos no tripulados						
SUBTÍTULO, SI LO TIENE						
AUTOR O AUTORES						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
Vasquez Largo			Kevin Lauritzen			
DIRECTOR (ES) TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
Lopez Parra			Javier Francisco			
FACULTAD						
Ingeniería						
PROGRAMA ACADÉMICO						
Tipo de programa (seleccione con "x")						
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado			
X						
Nombre del programa académico						
Ingeniería de Sistemas						
Nombres y apellidos del director del programa académico						
Germán Alberto Chavarro Flórez						
TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:						
Ingeniero de Sistemas						
PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):						
CIUDAD		AÑO DE PRESENTACIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO			NÚMERO DE PÁGINAS	
Bogotá		2014			90	
TIPO DE ILUSTRACIONES (seleccione con "x")						
Dibujos	Pinturas	Tablas, gráficos y diagramas	Planos	Mapas	Fotografías	Partituras
		X			X	
SOFTWARE REQUERIDO O ESPECIALIZADO PARA LA LECTURA DEL DOCUMENTO						
<p>Nota: En caso de que el software (programa especializado requerido) no se encuentre licenciado por la Universidad a través de la Biblioteca (previa consulta al estudiante), el texto de la Tesis o Trabajo de Grado quedará solamente en formato PDF.</p>						
MATERIAL ACOMPAÑANTE						

TIPO	DURACIÓN (minutos)	CANTIDAD	FORMATO		
			CD	DVD	Otro ¿Cuál?
Vídeo					
Audio					
Multimedia					
Producción electrónica					
Otro Cuál?					
DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS					
Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. <i>(En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Sección de Desarrollo de Colecciones de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J en el correo biblioteca@javeriana.edu.co, donde se les orientará).</i>					
ESPAÑOL			INGLÉS		
Mosaicos			Mosaicing		
Georreferenciación			Georeference		
UAV			UAV		
Procesamiento de Imágenes			Imagen Processing		
Fotografía aérea			Aerial Photography		
RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS (Máximo 250 palabras - 1530 caracteres)					
<p>Este documento presenta el resultado del trabajo de grado, en el cual se desarrolló un sistema de generación y georreferenciación de mosaicos de fotografías aéreas; mediante el planteamiento de un método con bases matemáticas que permitió unificar y calcular las coordenadas a partir de los datos de entrada obtenidos por un vehículo aéreo no tripulado. Por medio de este desarrollo es posible obtener un insumo de mayor calidad para diferentes sistemas de información geográficos que existen en la actualidad.</p> <p>This paper presents the results of the thesis, in which a system for generating and georeferencing of aerial photography mosaics was developed; a mathematics supported method allowed unifying and calculate the coordinates from the input data obtained by an unmanned aerial vehicle (UAV). Through this development is possible to get a higher quality input for different geographic information systems that exist today</p>					