

**CONSULTORIA EN ESTUDIOS FOTOGRAMETRICOS DE RESTITUCION Y EXPLORACION EN LA
EMPRESA QUIMBAYA RESOURCES EXPLORATION.**



**JHON EIDER RUIZ RUIZ
CODIGO: 04051131**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VIAS Y TRANSPORTE
POPAYÁN**

2012

JHON EIDER RUIZ

**CONSULTORIA EN ESTUDIOS FOTOGRAMETRICOS DE RESTITUCION Y EXPLORACION EN LA
EMPRESA QUIMBAYA RESOURCES EXPLORATION.**



JHON EIDER RUIZ RUIZ

**INFORME FINAL COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**Director de pasantía
ING. ALEXANDRA ROSAS**

**Jefe de departamento:
ING. EFRAIN SOLANO FAJARDO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VIAS Y TRANSPORTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

POPAYAN

2012

JHON EIDER RUIZ

TABLA DE CONTENIDO

- 1. INTRODUCCION**
- 2. OBJETIVOS**
 - 2.1 OBJETIVO GENERAL**
 - 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**
- 3. JUSTIFICACION**
- 4. EMPRESA RECEPTORA**
 - 4.1 APLICACIONES**
 - 4.2 MISION**
 - 4.3 VISION**
 - 4.4 PROCESOS Y PRODUCTOS QUE OFRECE QRE**
 - 4.4.1 FOTOGRAFIA AEREA DIGITAL**
 - 4.4.2 AEROTRIANGULACION Y AJUSTE DE BLOQUES**
 - 4.4.3 FOTOGRAMETRIA TERRESTRE**
 - 4.4.4 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA 3D**
 - 4.4.5 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**
 - 4.4.6 FOTOGRAMETRIA DIGITAL**
 - 4.4.6.1 VENTAJAS**
 - 4.4.6.2 CAMPO EN EL QUE SE DESARROLLA LA FOTOGRAMETRIA**
 - 4.4.6.2.1 AGRICULTURA**
 - 4.4.6.2.2 DEFENSA**
 - 4.4.6.2.3 TELECOMUNICACIONES**
 - 4.4.6.2.4 PLANEAMIENTO URBANO Y REGIONAL**
 - 4.4.6.2.5 MEDIO AMBIENTE**
 - 4.4.6.2.6 MINERIA**
 - 4.4.6.2.7 GAS Y PETROLEO**
 - 4.4.6.2.8 VISUALIZACION EN 3D**
 - 4.4.6.2.9 CATASTRO**
 - 4.4.6.2.10 RECURSOS HIDRAULICOS**
- 5. MARCO TEORICO**
 - 5.1 FOTOGRAMETRIA Y FOTOGRAFIA AEREA**
 - 5.1.1 FOTOGRAMETRIA**
 - 5.1.1.1 HISTORIA DE LA FOTOGRAMETRIA**
 - 5.1.1.2 CONCEPTOS BÁSICOS Y CLASIFICACIÓN**
 - 5.1.2 FOTOGRAMETRÍA AÉREA**
 - 5.1.2.1. REALIZACIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO**
 - 5.1.2.2 VISIÓN ESTEREOSCÓPICA**

AEROTRIANGULACIÓN

5.1.2.3. APOYO TOPOGRÁFICO DEL VUELO Y

5.1.2.4. RESTITUCIÓN

5.2 MODELOS DE ELEVACION DIGITAL (DEM)

5.2.1 ¿QUÉ ES UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM)?

5.2.2 TIPOS DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

5.2.3 MÉTODOS DE GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

5.2.4 PARA QUÉ SIRVEN LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

5.3 SISTEMAS DE REFERENCIA

5.3.1 WGS84

5.3.2 ED50

5.3.3 ETRS89 en España

5.3.4 MAGNA-SIRGAS

5.4 COMO FUNCIONA EL SISTEMA GPS

5.4.1 TRIANGULACIÓN

5.4.2 DISTANCIAS

5.4.3 TIEMPO

5.4.4 POSICIÓN

5.4.5 CORRECCIÓN

5.5 PRINCIPALES COMPONENTES, TIPOS DE RECEPTORES Y MÉTODOS

5.5.1 SEGMENTOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA GPS

5.5.2 TIPOS PRINCIPALES DE EQUIPOS GPS

5.5.3 PRINCIPALES TIPOS DE MÉTODOS GPS

5.6 ¿QUÉ ES LA CORRECCIÓN DIFERENCIAL?

5.6.1.1 CORRECCIÓN DIFERENCIAL EN TIEMPO REAL

5.6.1.2 CORRECCIÓN DIFERENCIAL A POST PROCESO

5.6.1.3 CORRECCIÓN DIFERENCIAL INVERSA

5.6.2 TIPOS DE CORRECCIÓN DIFERENCIAL

5.6.2.1 CORRECCIÓN DE PSEUDODISTANCIA (1)

5.6.2.2 CORRECCIÓN POR POSICIÓN

5.7 STARFIRE™ NETWORK

- 5.7.1 METODOLOGÍA
 - 5.7.2 CONFIABILIDAD
 - 5.7.3 APLICACIONES
 - 5.7.4 RED STARFIRE™
6. METODOLOGIA
- 6.1 TRABAJO DE OFICINA
 - 6.2 TRABJO DE CAMPO
 - 6.3 Procedimiento realizado en la generación de orto fotos.
7. PROYECTOS EJECUTADOS EN LA EMPRESA DURANTE LA PASANTIA CAMPO ABARCO Y MORICHE EN PUERTO BOYACA
- 7.1.1 OBJETIVO
 - 7.1.1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS
 - 7.1.2 ZONA DE ESTUDIO
 - 7.1.3 EQUIPO Y SOFTWARE UTILIZADO
 - 7.1.4 METODOLOGIA DE PROCESAMIENTO
 - 7.1.4.1 RECOPIACION DE ANTECEDENTES
 - 7.1.4.2 ADQUISICION DE FOTOGRAFIAS AEREAS DIGITALES A COLOR
 - 7.1.4.3 ESPECIFICACIONES DEL VUELO
 - 7.1.4.4 ESPECIFICACIONES DE TOMA
 - 7.1.4.5 TRABAJO DE CAMPO POSICIONAMIENTO
 - 7.1.4.6 ESPECIFICACIONES DE PROCESAMIENTO
 - 7.1.4.7 AEROTRIANGULACION
 - 7.1.4.8 ESTEREOCORRELACION
 - 7.1.4.9 ORTOFOTOMOSAICO
 - 7.1.4.10 MODELO DIGITAL DE ELEVACION
 - 7.1.4.11 CURVAS DE NIVEL CADA 1m
 - 7.1.4.12 RESTITUCION DIGITAL
 - 7.1.4.13 CANTIDAD DE OBRA
 - 7.1.4.14 PRODUCTOS A ENTREGA
 - CONCLUSIONES
- 7.2 CUENCA DEL PUTUMAYO
- 7.2.1 OBJETIVO
 - 7.2.2 ZONA DE ESTUDIO
 - 7.2.3 EQUIPO Y SOFTWARE UTILIZADO
 - 7.2.4 METODOLOGIA PROCESAMIENTO
 - 7.2.4.1 RECOPIACION DE ANTECEDENTES
 - 7.2.4.2 ADQUISICION DE FOTOGRAFIAS AEREAS DIGITALES A COLOR

7.2.4.3 ESPECIFICACIONES DEL VUELO

7.2.4.4 ESPECIFICACIONES DE TOMA

7.2.4.5 ESPECIFICACIONES DE PROCESAMIENTO

7.2.4.6 AEROTRIANGULACION

7.2.4.7 ESTEREOCORRELACION

7.2.4.8 ORTOFOTOMOSAICO

7.2.4.9 CURVAS DE NIVEL CADA 10m

7.2.4.10 RESTITUCION DIGITAL

7.2.4.11 ESTRUCTURACION DE LA INFORMACION

7.2.4.12 CANTIDAD DE OBRA Y TIEMPO DE EJECUCION

7.2.4.13 PRODUCTOS A ENTREGAR

CONCLUSIONES

8. INDICADORES DE CUMPLIMIENTO

9. CONCLUSIONES

10. RECOMENDACIONES

11. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCION

Los conocimientos adquiridos en la Universidad del Cauca en la carrera de Ingeniería Civil son la recopilación del amplio mundo en el cual se mueve el campo de las obras civiles y teniendo en cuenta que cada día surgen nuevas aplicaciones y nuevos métodos de trabajo convierten a los softwares (Programas de computador) en los encargados de hacer que los procesos sean más rápidos y efectivos; es por esa razón, que a diario aparecen empresas con tecnologías innovadoras como la geomática, que ponen a nuestro alcance sus servicios y debido a las necesidades del medio causadas por la interacción de aspectos físicos, geográficos, sociales, culturales, entre otros, es necesario conocer las tendencias tecnológicas aprovechar sus bondades y obtener el mayor beneficio aplicándolo en proyectos que ayudan a la toma estratégica de decisiones .

La Empresa Quimbaya Resources Exploration en la cual se ha ejecutado la pasantía, realiza proyectos de geomática requeridos por otras empresas con el fin de realizar: seguimientos de obra, planes de manejo ambiental, aprovechamiento de recursos naturales, ordenamiento territorial y otras aplicaciones.

El trabajo como pasante en la empresa tuvo una aplicación específica en el campo de la fotogrametría digital ejecutándose trabajos de oficina en el manejo y procesamiento de la información que se lleva a cabo para dar como resultado el origen de mapas topográficos, modelos de elevación digital y orto fotos. Así como también se realizaron labores de campo relacionadas con el manejo de GPS de alta precisión para la georeferenciación de imágenes.

Gracias a todas estas labores desempeñadas en la empresa Quimbaya, se puso en práctica conocimientos adquiridos en el aula universitaria obteniendo como resultado un alto grado de manejo de la Fotogrametría digital.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL:

- Adquirir experiencia en la aplicación de modelos automatizados para extraer información del terreno utilizando la ciencia de la fotogrametría cuyos productos servirán para la toma de decisiones en varios campos de las ciencias de la tierra incluida la ingeniería civil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Afianzar las competencias adquiridas en la carrera de ingeniería civil, mediante la participación activa en los procesos de producción de datos fotogramétricos empleados por la empresa QRE.
- Utilizar herramientas computacionales empleadas específicamente en los procesos automatizados de producción cartográfica.
- Aplicar herramientas de control de calidad y cuantificación de la exactitud posicional aplicados durante los procesos de producción cartográfica

3 JUSTIFICACION

La tecnología espacial ha evolucionado en las últimas décadas de tal manera que los procedimientos de adquisición de datos del terreno en forma análoga y la interpretación en forma manual ha dado paso con la masificación de los computadores, a procedimientos de captura digitales y la automatización de los procesos de producción e interpretación. La ingeniería civil no es ajena a estos cambios y se beneficia de la tecnología al disponer de fuentes de entrada del terreno de áreas más extensas que las que pueden proveer los equipos tradicionales, presentados en forma digital para su manipulación computacional y obtención de información derivada para los estudios de planificación y diseño de las obras de ingeniería. Sin embargo, es necesario establecer comparaciones con la metodología tradicional dada por los métodos topográficos y conocer el alcance, las aplicaciones, precisiones, bondades y limitaciones de las nuevas tecnologías basadas en las imágenes.

La empresa QUIMBAYA RESOURCES EXPLORATION (QRE) realiza proyectos de captura de datos del terreno por medio de imágenes satelitales, fotografías aéreas y puntos tomados directamente en el terreno con GPS y de acuerdo a los requerimientos de sus clientes procesan y entregan información digital o impresa de imágenes, bases de datos y sistemas de información geográfica.

Bajo este criterio se ha logrado desarrollar como estudiante del Programa de Ingeniería Civil el Trabajo de grado en modalidad pasantía para optar al título, en la empresa QUIMBAYA RESOURCES EXPLORATION (QRE), desarrollando actividades descritas de manera muy general como sigue a continuación:

- Asistente en la elaboración de modelos de elevación digital, orto fotos y restituciones en la empresa QRE ubicada en la ciudad de Bogotá DC durante el año 2011.
- Manejo de equipos GPS sf 20-40 y sf 2050, con las diferentes tomas de datos, en la toma de puntos de control en los campos petroleros ABARCO y MORICHE en el departamento de Boyacá y en la toma de puntos de control en el proyecto CAUCAS en el departamento de Cauca y Nariño.

4 EMPRESA RECEPTORA

EMPRESA QUIMBAYA RESOURCES EXPLORATION



Quimbaya
Resources
Exploration

Calle 37 No. 15-40
Email: quimbay@cable.net.co
www.quimbaya.com.co
Tel: + 57 (1) 2889707
Bogotá D.C.

Quimbaya Resources Exploration es una empresa Colombiana fundada el 13 de marzo de 1997. Presta servicios de asesoría y consultoría en sensores remotos, Fotogrametría digital, Sistemas de Información Geográfica (SIG), tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), fotografías aéreas a color y en blanco & negro aplicados en la gestión de los recursos naturales.

Quimbaya Resources Exploration cuenta con una planta pluridisciplinaria de amplia experiencia, quienes coordinan y orientan los esfuerzos de un grupo mucho mayor de profesionales y asesores en el campo de las ciencias de la tierra. Estas personas se vinculan a los proyectos una vez se identifiquen los perfiles más acordes al trabajo requerido.

4.1 APLICACIONES: Se sirve a las empresas del sector petrolero, minero, medio ambiente, gas, defensa, recursos naturales, planeamiento urbano y de rutas.

4.2 MISIÓN: Generar conocimiento sobre los recursos naturales a partir de procesamiento digital de imágenes de satélite, fotografías aéreas, fotogrametría, GPS, SIG, con alta calidad y profesionalismo, así contribuimos en el desarrollo de nuevas tecnologías.

4.3 VISIÓN: Mediante la investigación, capacidad técnica, rendimiento de entrega, calidad y fiabilidad que son las piedras angulares del servicio proporcionado por QRE, unido a la inversión en equipo avanzado, software y personal capacitado, garantizamos alcanzar el éxito en cada uno de nuestros objetivos propuestos.

4.4 PROCESOS Y PRODUCTOS QUE OFRECE QRE

4.4.1 FOTOGRAFÍA AÉREA DIGITAL



Realiza toma de fotografías aéreas Convencionales (Desde cámaras métricas) y toma de fotografías Digitales con el Sistema ADC100 (Aerofotografía Digital Calibrada).

4.4.2 AEROTRIANGULACIÓN Y AJUSTE DE BLOQUE

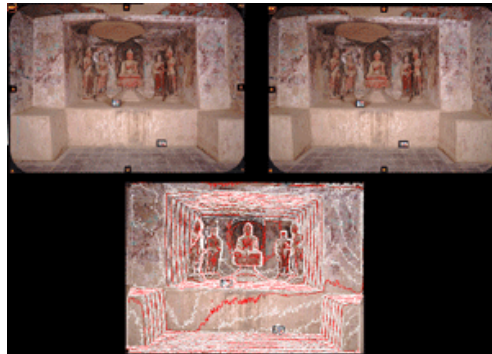


AEROTRIANGULACION

En que consiste? Consiste en extender control a todos los modelos estereoscópicos a partir de puntos de fotocontrol; se realiza con software especializado. Quimbaya Resources Exploration utiliza el software de Aerotriangulación **VirtuoZo AAT**. Objetivo Principal: Producir puntos suficientes en el modelo fotogrametrico para asegurar que cada modelo pueda ser orientado con exactitud para la compilación requerida en estéreo, sea en orto foto o sea la línea que corresponda en la forma digital o análoga. La determinación de coordenadas exactas puede ser considerada como el subproducto del proceso de triangulación aérea. Que permite hacer la aerotriangulación?? Permite hacer todas las tareas de marcado y transferencia digital de puntos de aerotriangulación inclusive entre modelos de diferentes bandas y a distintas escalas.

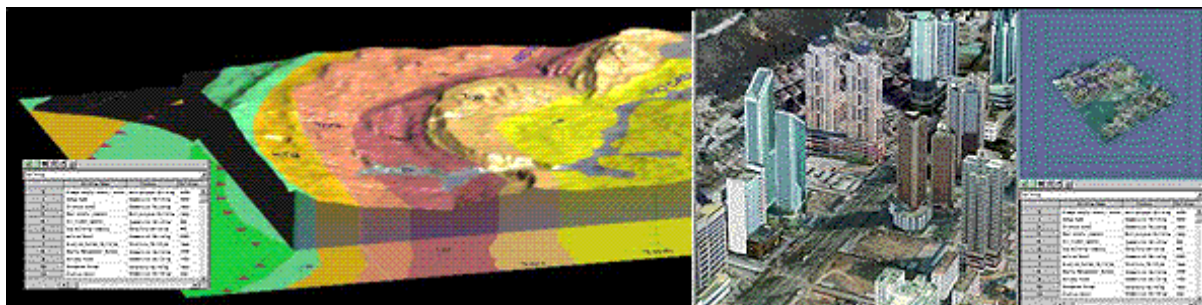
Las coordenadas foto o modelo de los puntos observados son exportados a software de ajuste como el software **Patb**; con coordenadas instrumentales para cada línea de vuelo.

4.4.3 FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE



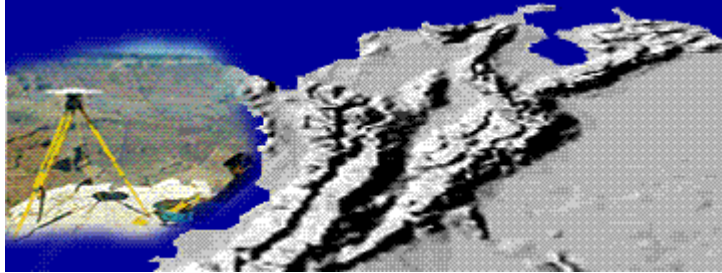
La fotogrametría terrestre consiste en realizar actividades de captación grafica por medio de fotogrametría utilizando como sensor una cámara métrica terrestre. Las finalidad es obtener mediciones precisas entre objetos y componentes de objetos; empleado para servicios especializados de mediciones y control de deformaciones, restauración de patrimonio arquitectónico, ingeniería civil, restauración de monumentos y arqueología, QRE está en capacidad de adquirir las imágenes y desarrollar proyectos de preservación del patrimonio cultural de estatuas y monumentos, así como la generación de museos y galerías virtuales.

4.4.4 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICA 3D



Desarrollamos Sistemas de Información Geográfica con el software IMAGiS que comprensivamente integra Modelos de Elevación Digitales (DEM), Orto foto Digitales, Gráfica Digital De la trama (DIBUJO) y la Gráfica de Línea Digital (DLG) para crear la realidad virtual, basada en GIS.

4.4.5 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL



La ubicación de mas satélites en orbita, ha permitido en los últimos tiempos una mayor precisión y exactitud de los (GPS) o sistemas de posicionamiento Global, que “Leen” o interpretan por triangulación satelital, la localización de un punto sobre la tierra. La fotogrametría se beneficia con ello puesto que la orto rectificación de imágenes se apoyan directamente sobre dichos puntos. Se recomienda efectuar las mediciones con receptores GPS geodésicos de dos frecuencias con observaciones de mínimo una (1) hora por punto, con equipos Ashtech Dimensión, puesto que la precisión en la localización tanto horizontal (Norte y Este) como en la altura es decimétrica. La determinación de los puntos de fotocontrol se determinan teniendo en cuenta técnicas de Aerotriangulación para reducir el número de puntos requeridos; este procedimiento permite alcanzar una exactitud más alta a través del área entera del proyecto, asegurando un buena detección-borde entre las fotos.QRE cuenta con los equipos y el personal calificado para proveer al proyecto en desarrollo los puntos de fotocontrol.

4.4.6 FOTOGRAMETRÍA DIGITAL



Es la Ciencia y arte de obtener o realizar mediciones correctas en base a fotografías, a fin de determinar las características métricas y geométricas de los objetos fotografiados, como por ejemplo, tamaño, forma y posición. La compañía realiza todo el proceso fotogramétrico Digital.

4.4.6.1 Ventajas:

- Reducción del tiempo de medición en terreno.
- Alta exactitud de las mediciones al tomar las fotografías con cámaras muy precisas y elaborarlas empleando métodos rigurosos en equipos de gran precisión basados en tecnologías computarizadas.
- Posibilidad de adaptación a diferentes momentos y con etapas de precisión distintas.
- Control visual de las evaluaciones por medio de la superposición de las fotos métricas.
- Completa objetividad y confiabilidad de los resultados de las mediciones. Medición de coordenadas 3D (x,y,z).
- Determinación de coordenadas de imagen y la evaluación posterior, abre nuevos caminos para una multiplicidad de usos.
- Rapidez, costo, cantidad de información obtenible, seguridad, versatilidad y control evolutivo de movimientos.
- Gran productividad del trabajo, las mediciones se realizan directamente en las imágenes fotográficas independientemente de la accesibilidad y de las inclemencias del tiempo.

4.4.6.2 CAMPOS DE APLICACION DE LA FOTOGRAMETRIA DIGITAL

4.4.6.2.1



APLICACIONES

Presta una solución completa para adquirir, actualizar y procesar imágenes de satélite y fotografías aéreas con las cuales podrá realizar:

- Mapeo de áreas agrícolas.

- Agricultura de precisión.
- Fiscalización de plantíos.
- Catastro de propiedades.
- Regiones de plantío.
- Detección de fitopatologías.
- Evaluación de requerimientos de agua.

4.4.6.2.2



APLICACIONES

Generación de cartografía digital, rápida, precisa y actual; Para intereses de la seguridad nacional, civil y comercial.

- Operaciones de mantenimiento de la paz y observación del cumplimiento de los tratados.
- Implementación de planes de contingencia en emergencias.
- Estrategias de cubrimiento.
- Búsqueda y seguimiento.
- Planeación de rutas de acceso.
- Control de la topografía.

4.4.6.2.3



APLICACIONES

Generación de cartografía digital, rápida, precisa y actual.

- Trazado y optimización del tendido de redes.
- Distribución de recursos y planificación de contingencias.
- Ubicación estratégica de antenas de telecomunicación.
- Localización y planificación de emergencias.

4.4.6.2.4



APLICACIONES

Ofrecemos a municipios e instituciones diversas, la generación de cartografías rápidas y precisas, útiles en:

- Información, inventario y monitoreo territorial.
- Planificación urbana y regional (Estrategias de desarrollo).
- Cartografía topográfica en grandes escalas.
- Ubicación de instalaciones, ej. carreteras, tuberías, líneas de transporte de energía y otros.
- Censos, fiscalidad y avalúo de bienes, turismo y esparcimiento.

- Planificación u optimización de las rutas de acceso con fotogrametría.
- Cuantificación del terreno y cálculos volumétricos de la mina.
- Modelos de elevación del terreno (DTM) rápidos y muy precisos.
- Procesamientos y clasificación digitales avanzados, integrados con GPS.

4.4.6.2.7



APLICACIONES

Las industrias del Petróleo y Gas son las más favorecidas con ésta tecnología, puesto que la rapidez y exactitud de las orto fotos, los DEM, la visualización 3D, cumplen con las expectativas geológicas de superficie y son herramientas inmejorables que permiten:

- Creación de mapas geológicos, geomorfológicos y ambientales.
- Distribución areal de formaciones, seguimiento de pliegues (sinclinales y anticlinales).
- Verificación de existencia de inconsistencias y/o discontinuidades en la masa rocosa (fallas geológicas locales y regionales).
- Permiten la medición de superficies y pendientes (caras de bancos, taludes, rampas, etc.)
- Registro de características físicas y espaciales de objetos geológicos, Por ejemplo: intrusiones y disposición de grandes fallas, etc.
- Elaboración de cartas temáticas, modelos digitales, perfiles longitudinales y transversales.
- Inspección de procesos de desprendimientos, mediciones de control y/o seguimientos de desplazamientos y deformaciones.
- Reconstrucción de masas, utilizando fotos no métricas disponibles, con el fin de localizar los cambios que se han producido.

- Medición de rocas colgantes inaccesibles, o procesos de subsidencia, con el fin de documentar y evaluar la situación.
- Determinación de volúmenes.

4.4.6.2.8



APLICACIONES

Visualice todos sus datos en perspectiva, imágenes virtuales en tres dimensiones, con control en cada punto de sus tres coordenadas (x,y,z).

- Realice interpretaciones tridimensionales cuantitativas de múltiples disciplinas: Geología, Geomorfología, Hidrografía, Catastro, Seguridad, etc.
- Desarrolle sus proyectos arquitectónicos y realice visitas virtuales.
- Medición de pendientes y escarpes.
- Comprensión del espacio en proyectos diversos.
- Visualización de las rutas en áreas escarpadas.
- Planificación de rutas aéreas.

4.4.6.2.9



APLICACIONES

Las empresas que utilizan la fotogrametría tradicional, ahora tienen en Quimbaya Resources Exploration, la fotogrametría digital, que permite en menos tiempo lograr trabajos con igual precisión y en lugares topográficos particulares, mejores resultados.

- Soluciones para actualizaciones catastrales.

- Captura de información predial.
- Actualización a partir de estereomodelos y orto imágenes.
- Toma de fotografías aéreas.
- Generación de informes.
- Soporte digital, orto fotos y planos.

4.4.6.2.10



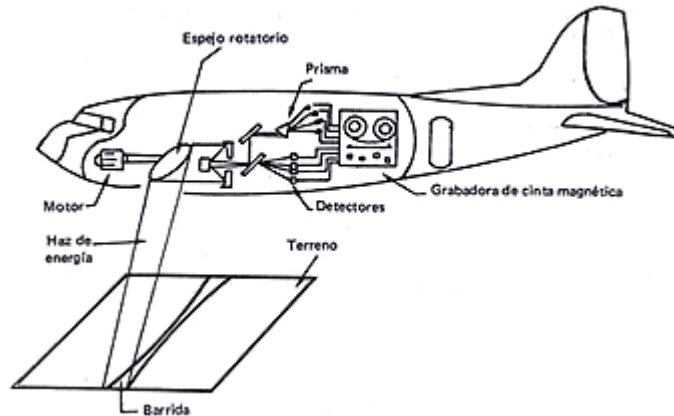
APLICACIONES

Actualmente la búsqueda y conservación de los recursos hídricos son un compromiso mundial. La facultad de los sensores remotos, tanto satelitales como los de radar, de detectar los cursos y fuentes de agua, nos permiten:

- La generación de bases cartográficas para cuantificar el recurso hídrico.
- Medición multitemporal de represas, manantiales, lagos y lagunas.
- Detección estacional de cursos de agua.
- Planificación en la prevención de desastres por cambio de intensidad en el flujo de los ríos.
- Evaluación de daños y planeación de la ayuda en casos de inundación.
- Análisis de masas nubosas y su evolución.
- Predicción de desastres naturales de origen climático.
- Delineación de campos irrigados.
- Inventarios de lagos.
- Oceanografía y Recursos Marítimos.
- Determinación de modelos de turbidez y circulación.
- Cartografía térmica de la superficie del mar.

5 MARCO TEORICO

5.1 FOTOGAMETRÍA Y FOTOGRAFÍA AÉREA



5.1.1 Fotogrametría

La palabra 'Fotogrametría' comienza a tener uso general en los EE UU cerca del año 1934 cuando se creó la Sociedad Americana de Fotogrametría, si bien el término ya se usaba en Europa algunas décadas atrás. La palabra deriva de 3 palabras griegas; "photos" que significa luz "gramma" que significa dibujo o escritura, y "metron", que significa medir. Según la etimología de "fotogrametría", pues, se llega a esta definición: "medir gráficamente por medio de la luz.

En la década de 1966 el ámbito de la disciplina se amplía por una nueva aplicación o herramienta: "los sensores remotos". La fotogrametría es realmente un sensor remoto, pues la toma fotográfica captura información de los objetos. El sensor remoto tiene que ver con una imagen obtenida fuera del rango visible normal, con la utilización de cámaras no convencionales que registran la escena con uno o varios sensores tomando información fuera del espectro visual. Estos sensores especiales trabajan generalmente por barridos electrónicos, usando radiaciones como microondas, radar, infrarrojo térmico, ultravioleta y radiaciones multispectrales. Se aplican diversas técnicas especiales en orden para procesar e interpretar la imagen proveniente de los sensores remotos; con el propósito de producir mapas convencionales, mapas temáticos, de recursos forestales, geografía, geología, y otros. Es tan importante la aplicación de los sensores remotos que la Sociedad Americana de Fotogrametría publicó un manual de Sensores Remotos en 1976. Además, el nombre oficial de la sociedad cambió para llamarse de ahí en adelante Asociación Americana de Fotogrametría y Sensores Remotos.

En 1979 se dio una nueva definición de Fotogrametría: Fotogrametría es una mezcla de arte, ciencia y tecnología por la que se obtiene información de objetos físicos y del

medio ambiente, a través de registros, medición e interpretación de imágenes fotogramétricas y de cualquier otro patrón de energía electromagnética u otro fenómeno. A partir de ese momento, el concepto de medición va implícito en el término de fotogrametría. Su aplicación más conocida es la compilación de mapas topográficos, es decir, mapas de líneas que se crean a partir de la información recopilada por medio de fotos aéreas o espaciales con instrumentos analógicos, analíticos o digitales. Sus principios básicos no cambian, sea para la confección de un mapa topográfico, para un estudio de deformaciones ambientales, para

modelos de deformación ambiental en ingeniería o bien para estudios médicos. Para producir un mapa, las mediciones se hacen sobre las fotografías que reemplazan al terreno, en todo o en parte; por eso cuando se usan fotografías se aplican los términos "relevamiento aéreo " o "aerofotogrametría".

La fotogrametría se ha convertido en una de las principales formas de incorporar información a un mapa o a un sistema SIG (Sistema de Información Geográfica), debido al buen compromiso que mantiene este método entre coste económico, velocidad de ejecución y precisión.

5.1.1.1 Historia de la Fotogrametría

En la historia de la fotogrametría se pueden distinguir tres etapas: la fotogrametría ordinaria, la estereofotogrametría analítica y la estereofotogrametría automática.

Ya antes del invento de la fotografía, Lambert, matemático, físico y filósofo de origen francés, estableció en 1759 los fundamentos para resolver el problema de la restitución perspectiva. A partir de 1858 el francés Laussedat, consiguió obtener planos exactos de edificios y pequeñas extensiones de terreno a partir de la fotografía, siendo este el primer inicio de la fotogrametría, que en su día se conoció con el nombre de fotogrametría ordinaria.

Este método tuvo en vigor hasta principios del siglo XX; el inconveniente más grande que tenía este sistema era a la identificación de un mismo punto en dos fotografías tomadas desde distintos punto de vista.

Aunque se continuaba trabajando con la fotogrametría, se tropezaba con dificultades significativas, ya que la restitución de un punto implicaba una gran cantidad de cálculos, hasta que en 1901 Pulfrich aplico el principio de la visión en relieve para efectuar medidas estereoscópicas por medio de un aparato de su invención que se denominó estereocomparador, y con el cual se deducían las coordenadas punto por punto; dando comienzo a la segunda etapa.

En 1909 se dio el paso definitivo para la consagración de la fotogrametría terrestre, gracias al teniente austriaco Von Orel al construir el aparato denominado estereoautógrafo, primer aparato utilizado para la construcción y dibujo automático de planos, en el caso de ejes ópticos horizontales.

La tercera etapa comienza con el desarrollo de la aviación la Primera Guerra Mundial y la necesidad de ambos bandos de obtener fotografías aéreas del campamento contrario. En la fotogrametría aérea la cámara esta en movimiento, y para poder efectuar la restitución, es preciso conocer el punto exacto en que se impresiono el fotograma.

Para solucionar este obstáculo después de diversos ensayos, se tuvo que volver al antiguo teorema de Terrero-Hauck, lo que permitió conseguir la orientación relativa de cada dos fotografías consecutivas por métodos exclusivamente óptico y mecánicos.

La fotogrametría no ha eliminado a la topografía; por el contrario, a pesar de los avances realizados en los métodos fotogramétricos para eliminar las operaciones topográficas que sirven de base a los levantamientos de la fotogrametría, esta base que enlaza el terreno con la cámara fotogramétrica ha de existir.

5.1.1.2 Conceptos básicos y clasificación de la fotogrametría

Fotogramas

Un fotograma es una vista aérea en la que además de las señales que permiten determinar su centro, se impresionan, mediante signos o abreviaturas convencionales, diversos datos que interesan conocer para su utilización posterior, como son: distancia focal, posición del nivel, altura del vuelo, hora en que se ha tomado la vista, etc.

Principios de la fotogrametría

El objeto de la fotogrametría es pasar de la proyección cónica que constituye el fotograma a la proyección ortogonal que es el plano topográfico. El conocimiento de las coordenadas de algunos puntos identificados en el fotograma, así como las direcciones del eje de la cámara fotogramétrica, resuelve el problema de la restitución.

División de la fotogrametría

La fotogrametría puede ser tanto terrestre como aérea. En la fotogrametría terrestre, el punto de vista es fijo, y se determina sus coordenadas así como la orientación del eje de la cámara.

En la aérea por el contrario, el punto de vista esta en movimiento y son desconocidas sus coordenadas así como la dirección del eje de la cámara; por ello es más fácil realizar las restituciones en la terrestre y más sencillas las cámaras utilizadas

Método de la fotogrametría

1.-Fotografiar los objetos:

Será necesario una previa planificación del vuelo y de las tomas de fotografías (se hace en la fase de proyecto de vuelo), tras la planificación se procede a la obtención de imágenes (Vuelo), y a un posterior procesado.

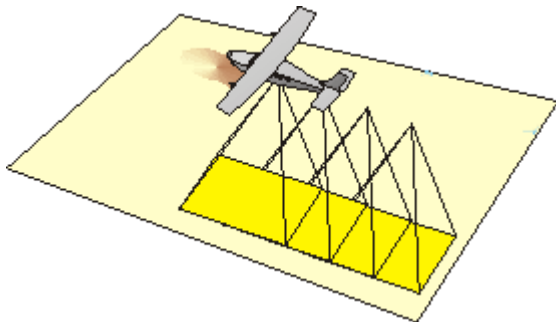
2.-Medir las imágenes:

Reconstruir los haces en la fase de orientación interna, reconstruir su posición en el espacio en la fase de orientación externa: orientación relativa (proceso mediante el cual se forma un modelo), orientación absoluta (proceso mediante el cual el modelo estereoscópico se desplaza en el espacio. Una vez orientado y posicionado el haz se procede a reconstruir el objeto (restitución)

3.-Medir el objeto y reducir las medidas a algún tipo de representación, siendo necesario el uso de un restituidor analógico o digital.

5.1.2 FOTOGRAMETRÍA AÉREA

Trazado de mapas a partir de fotografías aéreas



El principio de la fotogrametría aérea se basa en un avión que avanza disparando fotos consecutivas, cada cierto intervalo. La fotogrametría se ha convertido en una de las principales formas de incorporar información a un mapa o a un sistema SIG (Sistema de Información Geográfica), debido al buen compromiso que mantiene este método entre coste económico, velocidad de ejecución y precisión.

Para ello se utilizan fotogramas aéreos de eje vertical tomados desde un avión sobrevolando la zona de estudio. Posteriormente, y tras diversos trabajos topográficos de campo que se comentan posteriormente, esas imágenes servirán para trazar mapas.

La implementación de la fotogrametría en mapas se podría resumir en cuatro fases:

5.1.2.1. Realización del vuelo fotogramétrico.

5.1.2.2. Aplicación de los principios de la visión estereoscópica

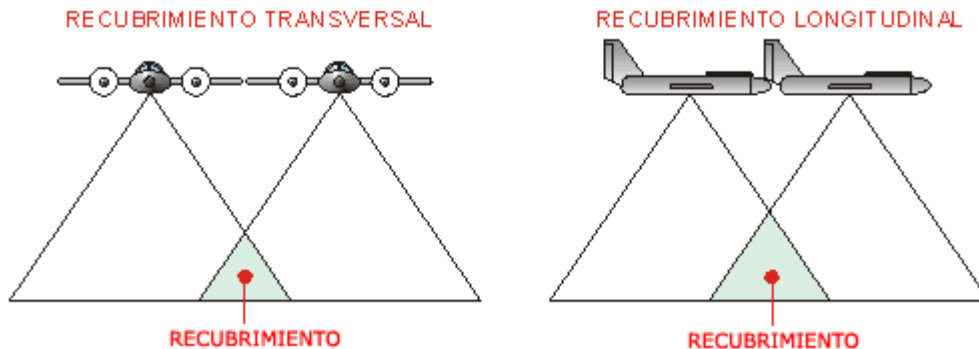
5.1.2.3. Apoyo topográfico del vuelo y Aerotriangulación.

5.1.2.4. Restitución.

5.1.2.1. Realización del vuelo fotogramétrico

Consiste en sobrevolar el territorio con un avión, y tomar fotografías de eje vertical, recubriendo el territorio con fotogramas que se solapen tanto longitudinal como transversalmente.

Como normal general, estos solapes suelen ser del 60% en el eje longitudinal y del 20% en el eje transversal, aunque dependiendo de la utilidad del vuelo estos porcentajes pueden variar notablemente. Las fotografías consecutivas tienen que tener zonas comunes entre sí.



Las fotografías resultantes deben tener una desviación en su centro muy reducida con respecto a la vertical del avión, para que puedan ser útiles.

Por otro lado, las cámaras que se utilizan para este tipo de trabajos, denominadas cámaras métricas, son unas cámaras especiales de funcionamiento similar a las convencionales pero con una calibración muy exacta de sus parámetros ópticos, de los cuales el más importante es la distancia focal, definida como la distancia desde el centro del objetivo hasta el plano focal donde se ubica la película.

Las fotografías aéreas resultantes de un vuelo fotogramétrico no tienen una escala exacta, al ser el resultado de una perspectiva cónica y por el efecto ondulante del terreno. Así, cada punto dentro de una foto tiene su propia escala, dependiendo del lugar con respecto al centro de la foto y de la altura del terreno. No obstante, sí puede hablarse de una escala media de los fotogramas, que aunque no exacta es aproximada. Esta escala media mantiene una estrecha relación con los conceptos distancia focal y altura media del vuelo, de la forma:

$$\frac{f}{H} = \frac{1}{E}$$

Donde:

f = Distancia focal.

H = Altura media del vuelo.

E = Denominador de escala.

Esta expresión básica en fotogrametría es fundamental a la hora de planear un vuelo. Dependiendo de la focal de la cámara que se vaya a utilizar y de la escala media de los fotogramas que se desee obtener, hay que volar a una altura u otra.

A la vez, la escala media de los fotogramas está ligada a la utilidad que se pretenda dar al vuelo; Generalmente la finalidad del vuelo es formar cartografía a partir de restitución fotogramétrica, en cuyo caso hay que tener en cuenta la escala de la cartografía que se persigue. Aunque no hay una fórmula fija que relacione la escala media de las fotos con la escala de la cartografía a restituir, puede decirse que normalmente esta es $\frac{1}{4}$ de la escala media de los fotogramas, pero no tiene por qué ser así necesariamente. Por poner un ejemplo, para generar cartografía a escala 1/5.000, se puede encargar el vuelo a escala media 1/20.000, pero también es factible con un vuelo a escala media 1/15.000. Si se quieren reducir costes, será más ventajoso realizar el vuelo más alto (menor escala aproximada, en este caso 1/20.000) porque se cubrirá el territorio con menos fotogramas, y serán necesarios menos trabajos de apoyo; Pero si se pretende utilizar el vuelo resultante para tareas de fotointerpretación (reconocimiento de fotografías), como suele ser el caso en temas de medio ambiente, muy frecuentemente, por ejemplo, quizá sea más ventajoso realizar un único vuelo a escala media 1/15.000, que sirva para ello además de para realizar la restitución.

Los fotogramas resultantes de un vuelo fotogramétrico deben contener, además de la información gráfica del territorio de análisis, la siguiente información:

- * Organismo contratante del vuelo.
- * Empresa que realiza el vuelo.
- * Zona del vuelo.
- * Fecha.
- * Hora.
- * Escala aproximada de los fotogramas.
- * Número de pasada.
- * Número de foto.
- * Información sobre la cámara métrica (distancia focal, modelo).
- * Marcas fiduciales (marcas ubicadas en las esquinas de la foto que son la referencia para calcular el centro geométrico de la misma. Son un elemento imprescindible para la posterior restitución).

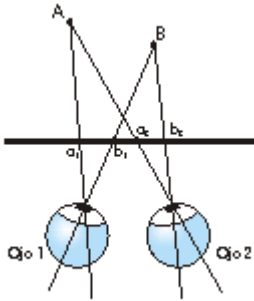
- * Nivel para comprobar la verticalidad del fotograma.
- * Altimetro, con indicación de la altura aproximada sobre el nivel del mar.

Dado que las fotografías de un vuelo fotogramétrico se ordenan en pasadas y en números consecutivos dentro de cada pasada, estos dos datos son fundamentales de cara a encontrar fotos de una zona concreta. Para ello se utiliza el denominado gráfico de vuelo, que no es otra cosa que un mapa que lleva grafiada la distribución de las fotos con respecto al territorio.

A continuación se analiza la necesidad de recubrimiento común entre los fotogramas; la clave de esta cuestión se encuentra en lo que se denomina visión estereoscópica.

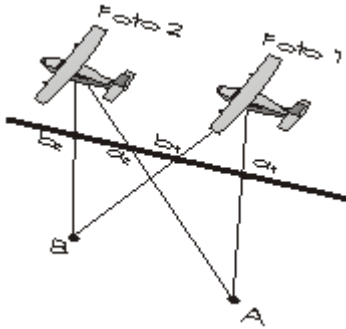
5.1.2.2 Visión estereoscópica

Cuando se ven los objetos en relieve se debe a que los dos ojos del ser humano proporcionan al mismo tiempo dos visuales del mismo objeto, desde dos puntos de vista ligeramente distintos que intersectan. Estas dos imágenes son mezcladas en el cerebro, y como consecuencia puede apreciarse una tercera dimensión.



Este principio de estereoscopia natural sirve también a la cartografía para poder extraer la tercera dimensión a partir de imágenes bidimensionales. En realidad, lo que se hace en un vuelo fotogramétrico es sustituir el trabajo de los ojos por el de una cámara métrica que va instalada en el avión, y sustituir la distancia interpupilar por la distancia entre disparos consecutivos.

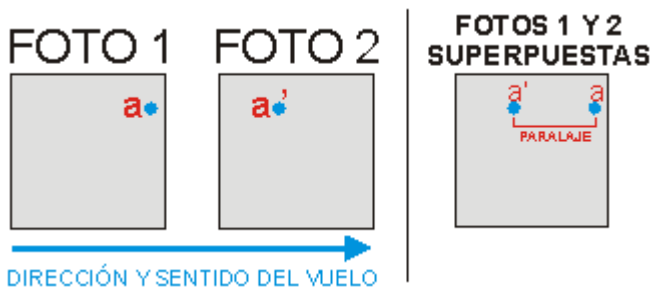
Posteriormente, aparatos denominados estereoscopios (además de los restituidores de los que después se habla) permiten ver las imágenes. Si sustituimos lo que ven los ojos por lo que 've' la cámara métrica a bordo del avión, la estereoscopia también da lugar a imágenes en tres dimensiones. Para que se pueda reproducir el mecanismo de la estereoscopia, se deben cumplir dos condiciones esenciales: que cada ojo (o cámara) vea sólo la perspectiva que le corresponde, y que las visuales tengan intersección entre sí. Con respecto a este último requisito, la intersección se produce cuando los fotogramas tienen zonas en común, por lo cual resulta indispensable el llamado 'recubrimiento' estereoscópico.



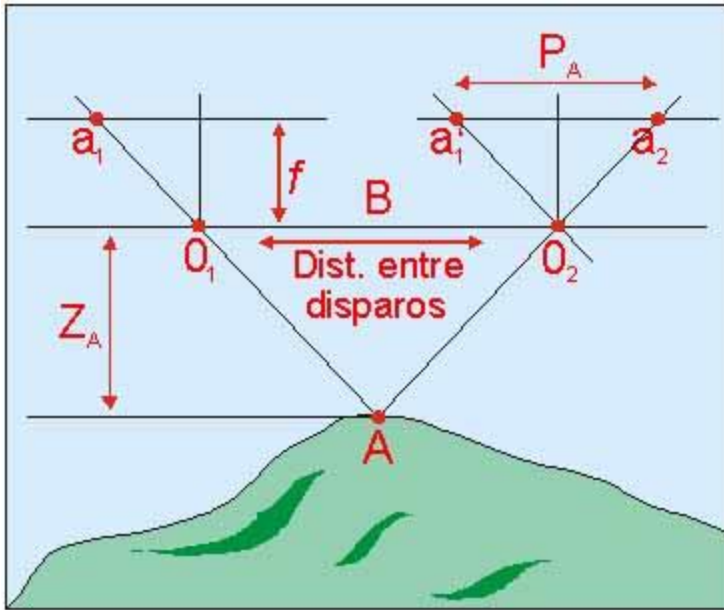
No obstante, un solo fotograma también contiene cierta información tridimensional limitada, que podemos extraer utilizando el punto de fuga de las verticales de la perspectiva, el punto de fuga de las sombras, y el ángulo de elevación del sol sobre el horizonte; a este procedimiento de explotar esta información tridimensional limitada con el uso de una sola foto se le conoce como 'explotación métrica' de un fotograma aislado, siendo un procedimiento que se utiliza más en el ámbito de la fotointerpretación que en el de la cartografía propiamente dicha.

La incorporación de una segunda perspectiva de la misma zona incrementa notablemente la información tridimensional, con la incorporación del concepto de 'par estereoscópico' (dos fotografías consecutivas).

Entre fotografías consecutivas que contienen objetos comunes, se pueden medir paralajes, los cuales se pueden definir como el desplazamiento aparente en la posición de un objeto fijo causado por el movimiento de la cámara métrica en el avión durante el vuelo.



La evaluación de estos paralajes es la base de la fotogrametría de eje vertical. He aquí su fundamento geométrico:



Fundamento geométrico de la fotogrametría
 Donde:

A = Punto evaluado en el terreno.

O₁ = Disparo foto 1

O₂ = Disparo foto 2.

a₁ = Punto representado en la fotografía 1.

a₂ = Punto representado en la fotografía 2.

Z_A = Distancia vertical entre el punto evaluado del terreno y el plano del vuelo.

B = Distancia recorrida por el avión entre dos disparos consecutivos.

f = focal de la cámara métrica.

P_A = Paralaje del punto evaluado (a medir sobre la fotografía).

Los triángulos A O₁ O₂ y O₂ a₁' a₂ son semejantes, luego:

$$\frac{Z_A}{f} = \frac{B}{P_A} \quad Z_A = \frac{B \cdot f}{P_A}$$

En consecuencia, si se evalúan paralajes de puntos con elevación desconocida junto con paralajes de puntos con elevación conocida, se puede evaluar el desnivel existente.

Estos puntos conocidos se obtienen de los trabajos de apoyo en campo, que son la segunda etapa de la secuencia de trabajo.

5.1.2.3. Apoyo topográfico del vuelo y Aerotriangulación

Consiste en realizar un trabajo de campo en el que utilizando diversos métodos e instrumental topográfico se procede a identificar en términos de coordenadas X Y Z varios puntos sobre el terreno.

A los puntos identificados se les denomina puntos de apoyo, que más tarde en la fase de restitución servirán de base para dotar de coordenadas al resto de elementos presentes en cada par estereoscópico.

A partir de la observación de puntos con coordenadas bien conocidas, como pueden ser las redes de vértices geodésicos, se aplican diversos métodos topográficos que permiten conocer las coordenadas de los puntos que hemos seleccionado para que nos sirvan de apoyo.

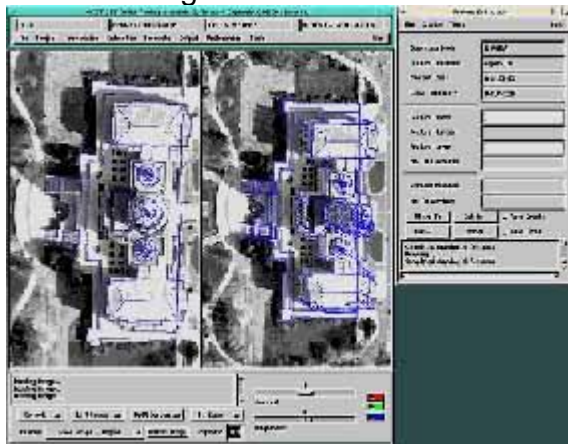
El número de puntos de apoyo es variable en función del tipo y precisión del trabajo, así como del uso de técnicas de asistencia al apoyo con la aerotriangulación.

5.1.2.4. Restitución

La restitución es la última etapa dentro de la secuencia de trabajo en fotogrametría. En ella se junta todo el trabajo anterior (vuelo y apoyo) para trazar los mapas propiamente dichos.

La restitución consiste en la formación de forma muy precisa de los pares estereoscópicos en un proceso que se denomina orientación de imágenes, y en la extracción posterior de los elementos contenidos en ellas mediante unos aparatos llamados estereo-restituidores.

La tecnología de restitución ha evolucionado de los primeros restituidores analógicos a los analíticos y por fin a los de última generación digitales, que en realidad ya no son más que un ordenador con el software adecuado. Extracción de un edificio con un restituidor digital.



Mientras los analógicos y los analíticos se basaban en los negativos de las fotos para realizar el proceso de restitución, los digitales realizan una copia digital de las fotos (escaneado) que divide en millones de puntos (píxels) la foto.

Esta tecnología fotogramétrica totalmente digital presenta dos incrementos de la efectividad muy importantes frente a la tecnología de restituidores analíticos:

* Por un lado, la extracción de la orografía y la formación de modelos digitales del terreno está altamente automatizada y se realiza de forma mucho más rápida.

* Por otro lado, la tecnología digital presenta grandes mejoras a la hora de formar ortofotos.

Al igual que en el caso de los últimos restituidores analíticos, los digitales obtienen la geometría de la restitución directamente en formato digital, con lo cual la incorporación a los Sistemas de Información Geográfica no precisa de ningún paso de digitalización adicional. Como ya se ha señalado anteriormente, la fotogrametría es una de las principales formas de incorporar información a un Sistema de Información Geográfica.

No obstante, hay que tener en cuenta que se trata de una metodología sujeta a ciertas restricciones de precisión; así, para levantamientos de una gran precisión (normalmente en el ámbito de la ingeniería civil) la resolución que la fotogrametría proporciona -sobre todo en el eje Z- no es suficiente, debiendo en esos casos recurrir a otros métodos más precisos como la topografía clásica (teodolitos, triangulación).
(REF 1)

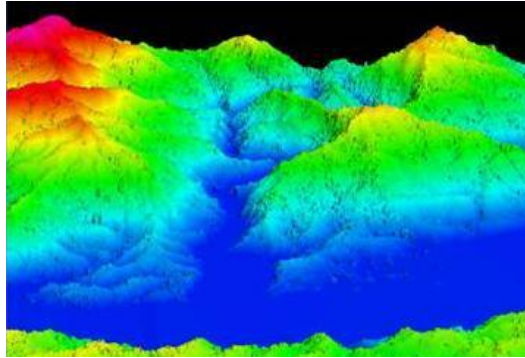
5.2 MODELOS DE ELEVACION DIGITAL (DEM)

5.2.1 ¿Qué es un modelo digital de elevación (DEM)?

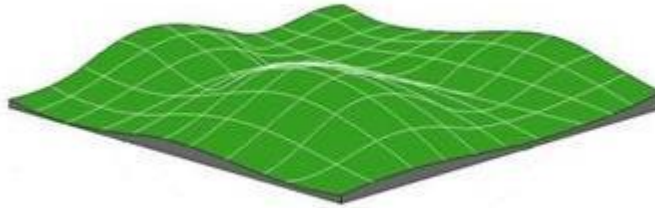
Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos.



Modelo digital de elevación con vista en perspectiva



Representación de un modelo digital de elevación en formato raster

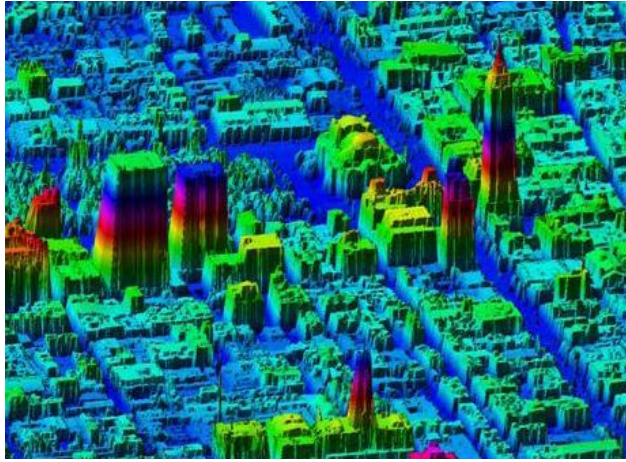
5.2.2 Tipos de modelos digitales de elevación

se cuenta con diferentes métodos y soluciones tecnológicas que permiten proporcionar un número infinito de puntos o de información geográfica para tal fin mediante el uso de sistemas computarizados con la finalidad de obtener y caracterizar las formas del terreno, dicho modelo se denomina “Modelo Digital de Elevación” (MDE).

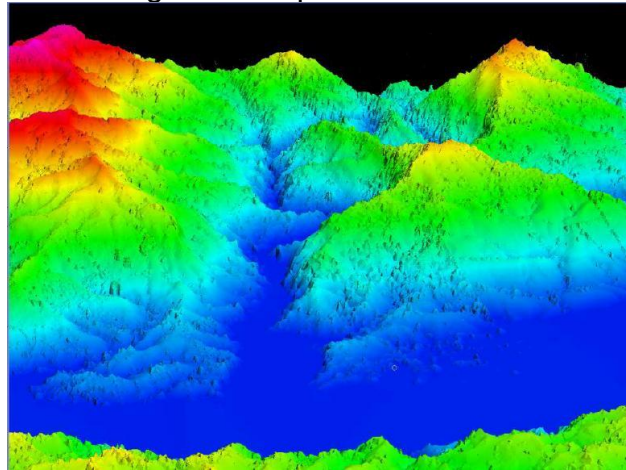
Al existir dos tipos, superficie y terreno, a través de los modelos digitales de elevación es posible conocer la existencia, disposición, forma y posición de los elementos que conforman un espacio geográfico y que pueden ser de origen natural o antrópico.

Los Modelos Digitales de Elevación son de dos tipos:

Modelo digital de superficie (MDS) que representa todos los elementos existentes o presentes en la superficie de la tierra (vegetación, edificaciones, infraestructura y el terreno propiamente.

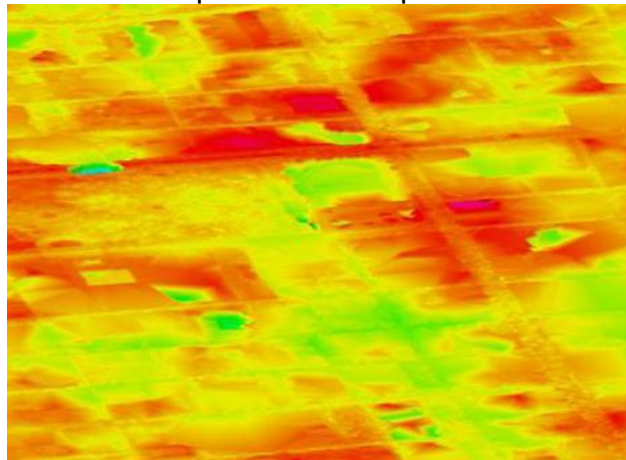


Modelo Digital de Superficie Distrito Federal

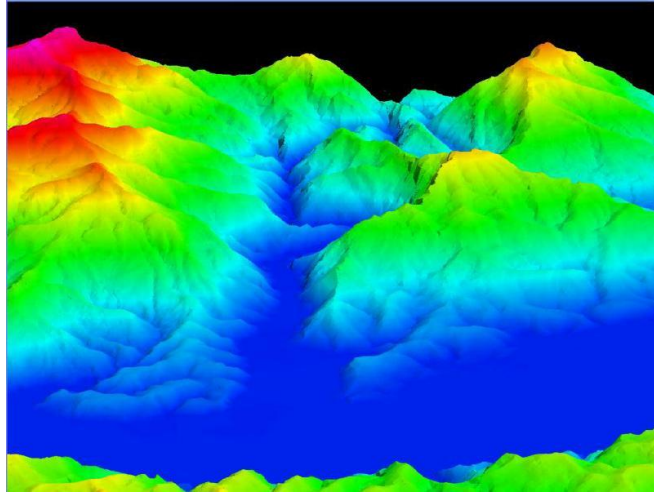


Modelo Digital de Superficie de Chiapas

El modelo digital del terreno (MDT) recrea la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos ajenos al mismo como son la vegetación, edificaciones y demás elementos que no forman parte del terreno.



Modelo Digital de Terreno del Distrito Federal



Modelo Digital de Terreno de Chiapas

Ambos tipos de modelos digitales de elevación se realizan utilizando una variedad de fuentes de datos y mediante el uso de técnicas especializadas o métodos de obtención, así como el empleo de soluciones tecnológicas y cuya elección depende de la aplicación que se le va a dar al modelo resultante, además del objetivo que se pretende alcanzar y de la exactitud que se requiere del modelo.

5.2.3 Métodos de generación de modelos digitales de elevación

Los métodos para la generación de los Modelos Digitales de Elevación pueden dividirse en dos grupos:

Métodos directos. Estos se obtienen a partir de mediciones que se realizan directamente sobre el terreno real, en los cuales podemos citar:

La toma directa de datos por medio de levantamientos topográficos con estación total o con GPS.

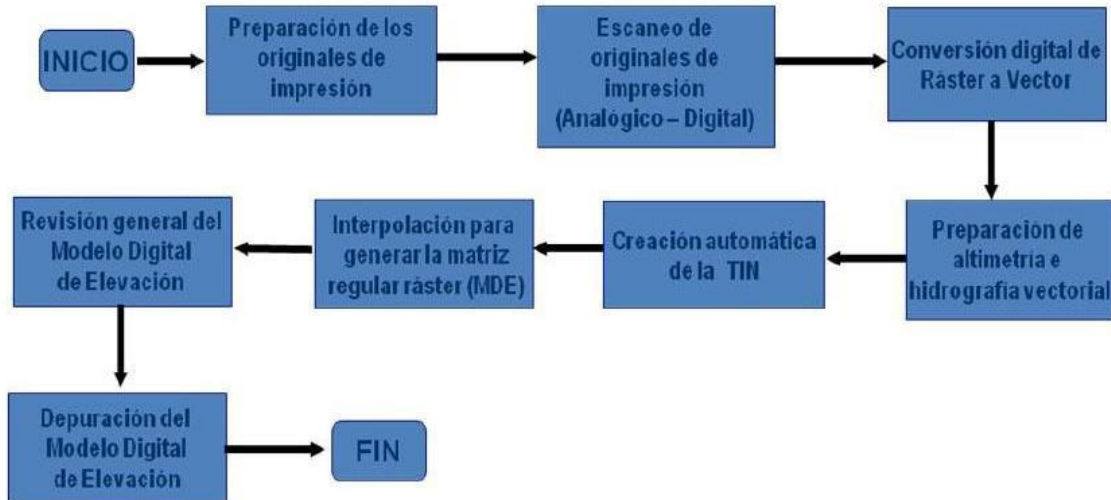
Uso de altímetros transportados desde una plataforma aérea como el radar o láser.

Métodos indirectos. Cuando se utilizan documentos analógicos o digitales elaborados previamente para generar un modelo digital de elevación, en los cuales podemos citar:

La digitalización de curvas de nivel y puntos de altura de la cartografía topográfica realizada mediante procesos convencionales de conversión automática (mediante escáner y vectorización) o manual (uso de tableta digitalizadora o en pantalla).

Restitución fotogramétrica numérica, analítica y digital (procesos fotogramétricos).

Diagrama de flujo del proceso de generación de modelos digitales de elevación de curvas de nivel digitalizadas



5.2.4 Para qué sirven los Modelos Digitales de Elevación y quién los puede utilizar

Los Modelos Digitales de Elevación son ampliamente utilizados en aplicaciones relacionadas con el uso y manejo de recursos naturales, de las cuales pueden distinguirse grandes categorías de aplicaciones que utilizan los modelos como son geodesia y fotogrametría, ingeniería civil, planeación y manejo de recursos naturales, ciencias de la tierra, en aplicaciones militares, cartografía especializada, prevención y atención a desastres naturales, entre otras .

Geodesia y fotogrametría.- En éstos campos, el propósito principal es el de producir modelos de alta calidad para otras aplicaciones como ingeniería civil, y cartografía, además de emplearse en la captura de datos fotogramétricos, determinación del geoide, métodos de control de calidad, como fuente de comprobación de mediciones del terreno, edición de datos del terreno, producción de ortofotografías, cartografía topográfica.

Ingeniería civil.- Los Modelos Digitales de Elevación pueden ser usados, en ingeniería civil, en aplicaciones tales como en el diseño para la construcción de infraestructura diversa, minas a cielo abierto, el cálculo de perfiles (secciones de perfil) y los cálculos de volúmenes (llamado también de “corte y relleno”). Son usados en aplicaciones tales como diseño de carreteras, presas y otro tipo de infraestructura.

Manejo y planeación de recursos naturales.- Este campo, el de mayor uso de los Modelos Digitales de Elevación, involucra disciplinas tales como planeación urbana y ambiental, teledetección, ciencias del suelo, agricultura, meteorología y climatología.

Aplicaciones típicas serían, entre otras: estudios de impacto ambiental, prevención de desastres, localización de sitios industriales, corrección geométrica y auxiliar en la clasificación de imágenes de satélite, estudios de rentabilidad, desarrollo de estrategias de cosecha, modelos de flujo de viento y dispersión de contaminantes.

Ciencias de la tierra.- Las aplicaciones en Ciencias de la Tierra (geología, hidrología, geomorfología, glaciología) requieren de funciones específicas para el modelaje de las discontinuidades del terreno, principalmente redes de drenaje, de las que se requiere una representación muy precisa de ellos. Algunas aplicaciones serían: monitoreo de cuencas de drenaje para monitoreo de inundaciones y control de contaminantes, modelamiento de flujos hidrológicos, simulaciones para la creación de cuencas hidrológicas, interpretación y cartografía geológica.

Aplicaciones militares.- El terreno es uno de los componentes más importantes en el análisis del ambiente militar en escala local y mediana. Los usos militares de los modelos incluyen operaciones de planeación de sitio similares a la de ingeniería civil: análisis del terreno para manejo de campo de batalla, intervisibilidad entre puntos, análisis de tráfico, guía de misiles y redes de comunicación y animación para simuladores de vuelo para entrenamiento de pilotos.

Aplicaciones cartográficas.- A partir de un Modelo Digital de Elevación se genera el Relieve Sombreado, con esta variante la visualización es un importante componente para comprender, analizar o explicar la distribución de fenómenos en la superficie de la tierra. El análisis del relieve sombreado es una técnica que se utiliza para generar de forma automática mapas de relieve sombreados.

El sombreado estima valores de reflectancia de la superficie a partir de la posición del sol a cualquier altitud y en cualquier azimut, en el que se puede variar la orientación de la iluminación para dar énfasis a las estructuras en direcciones particulares para visualizar detalles de modelos de drenaje, infraestructura y otros rasgos. **(REF3)**

5.3 SISTEMAS DE REFERENCIA

Un sistema de referencia geodésico es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Son utilizados en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre. Estos sistemas son necesarios dado que la tierra no es una esfera perfecta.

Dentro de estos cabe distinguir los llamados sistemas locales, que utilizan para su definición un elipsoide determinado y un punto datum, y los sistemas globales cuyos parámetros están dados por una terna rectangular (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro terrestre. Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y

altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado. En la realidad tanto el centro como los ejes son inaccesibles en la práctica.

5.3.1 Sistemas de referencia geodésicos

Estos son algunos ejemplos de los sistemas geodésicos más utilizados:

WGS84, Sistema geodésico mundial que data de 1984.

ED50, Datum europeo de 1950.

ETRS89, Sistema de referencia terrestre europeo de 1989 muy similar al WGS84.

NAD83, Datum estadounidense de 1983 el cual es muy similar al WGS84.

PSAD56, Datum provisional sudamericano de 1956.

SIRGAS, Sistema de Referencia Geocéntrico para las América

5.3.1.1 WGS84

El WGS84 es un sistema de coordenadas cartográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984).

Se trata de un estándar en geodesia, cartografía, y navegación, que data de 1984. Tuvo varias revisiones (la última en 2004), y se considera válido hasta una próxima reunión (aún no definida en la página web oficial de la Agencia de Inteligencia Geoespacial). Se estima un error de cálculo menor a 2 cm. por lo que es en la que se basa el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Consiste en un patrón matemático de tres dimensiones que representa la tierra por medio de un elipsoide, un cuerpo geométrico más regular que la Tierra, que se denomina WGS 84 (nótese el espacio). El estudio de este y otros modelos que buscan representar la Tierra se llama Geodesia.

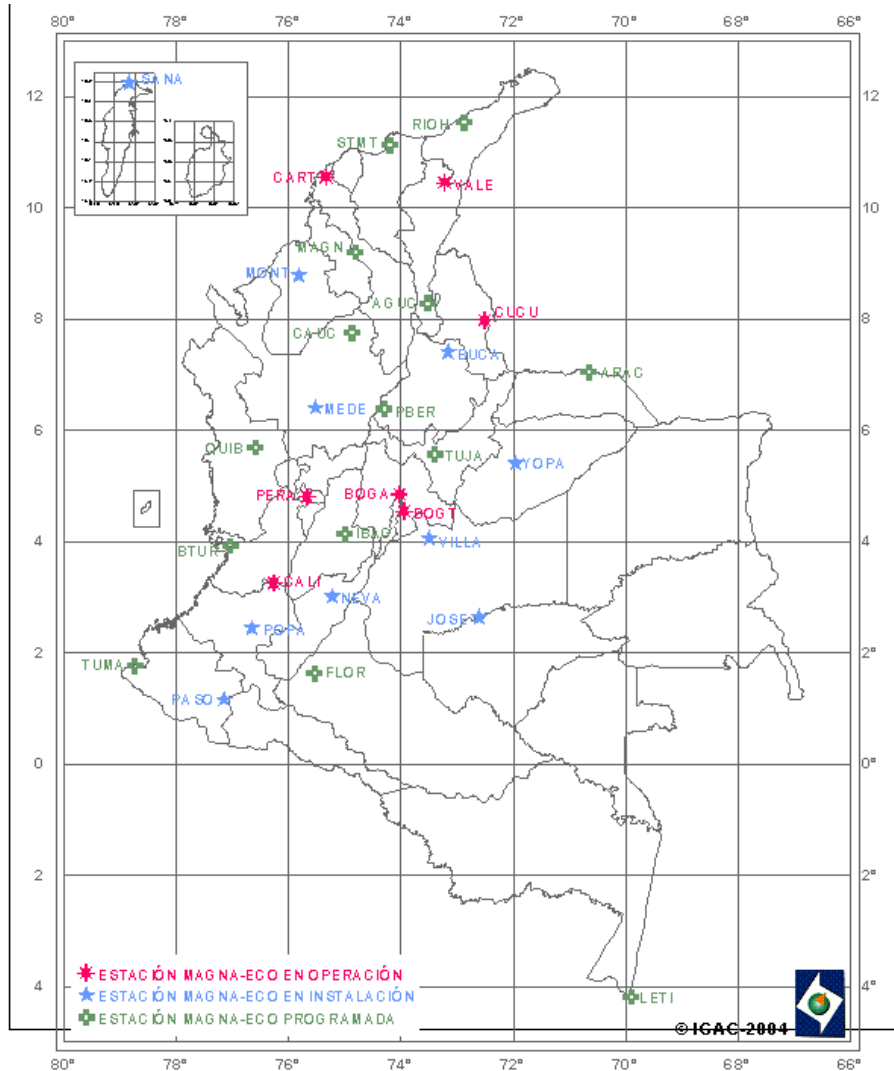
5.3.2 MAGNA-SIRGAS

(Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, densificación del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas)

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-, entidad gubernamental encargada de los sistemas geodésicos nacionales de referencia, desea que sus usuarios sean partícipes del proceso de apropiación, modernización y aprovechamiento de los avances científicos y técnicos relacionados con la generación de datos espaciales de alta calidad. En consecuencia, el IGAC promueve la adopción de MAGNA-SIRGAS como sistema de referencia oficial del país, en reemplazo del Datum BOGOTÁ, definido en 1941. MAGNA-SIRGAS garantiza la compatibilidad de las coordenadas *colombianas* con las técnicas espaciales de posicionamiento, por ejemplo los

sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), y con conjuntos internacionales de datos georreferenciados.

En la práctica, la consecuencia más relevante de la introducción de MAGNA-SIRGAS consiste en el cambio de las coordenadas geográficas de un mismo punto en aproximadamente 500 m en dirección suroeste, lo cual concierne a todos los productores y usuarios de la información geográfica en el país. Así, teniendo presente la extensa gama de individuos y organizaciones que están relacionados con la adopción del nuevo sistema de referencia, el IGAC, a través de este portal, describe los aspectos técnicos necesarios para la utilización práctica de MAGNA-SIRGAS y proporciona las herramientas básicas para que la información que aún se encuentra definida sobre el Datum BOGOTÁ se actualice mediante su vinculación al nuevo sistema.



La red **MAGNA-ECO** es un conjunto de estaciones GPS de funcionamiento continuo, que sirven como base de referencia para los levantamientos diferenciales de posicionamiento satelital, garantizando la vinculación inmediata de los puntos ocupados a **MAGNA-SIRGAS** y minimizando los costos y tiempos invertidos en las campañas de observación. La información rastreada por las diferentes estaciones es proporcionada en formato RINEX (Receiver Independent Exchange Format) a nuestros usuarios, a través del Centro de Información Geográfica y las Direcciones Territoriales,

Las coordenadas de las estaciones **MAGNA-ECO** son procesadas semanalmente con precisión milimétrica, en cooperación con el Centro de Análisis Regional del Servicio Internacional GPS (IGS-RNAAC-SIR: Regional Network Associate Analysis Center – SIRGAS), lo cual garantiza su orientación permanente dentro de mismo sistema de coordenadas al que se refieren los satélites GNSS.

(REF 4)

5.4 COMO FUNCIONA EL SISTEMA GPS

Una de las maneras más utilizadas para capturar información geográfica e incorporarla a un GIS lo constituye el sistema GPS. El término GPS procede del acrónimo de la expresión inglesa '**Global Positioning System**' (Sistema de Posicionamiento Global). Se trata de un sistema que permite calcular las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre a partir de la recepción de señales emitidas desde una constelación de satélites en órbita. Básicamente, su principal funcionalidad es que permite al usuario conocer, mediante un receptor, su posición en cualquier parte del planeta.

5.4.1 **Triangulación**. La base del GPS es la "triangulación" desde los satélites

5.4.2. **Distancias**. Para "triangular", el receptor de GPS mide distancias utilizando el tiempo de viaje de señales de radio.

5.4.3 **Tiempo**. Para medir el tiempo de viaje de estas señales, el GPS necesita un control muy estricto del tiempo y lo logra con ciertos trucos.

5.4.4 **Posición**. Además de la distancia, el GPS necesita conocer exactamente donde se encuentran los satélites en el espacio. Órbitas de mucha altura y cuidadoso monitoreo, le permiten hacerlo.

5.4.5 **Corrección**. Finalmente el GPS debe corregir cualquier demora en el tiempo de viaje de la señal que esta pueda sufrir mientras atraviesa la atmósfera.

5.4.1. La Triangulación desde los satélites(paso 1)

Aunque pueda parecer improbable, la idea general detrás del GPS es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones aquí en la tierra. Esto se logra mediante una muy, pero muy exacta, medición de nuestra distancia hacia tres satélites, lo que nos permite "triangular" nuestra posición en cualquier parte de la tierra.

Olvidémonos por un instante sobre cómo mide nuestro GPS dicha distancia. Lo veremos luego. Consideremos primero como la medición de esas distancias nos permiten ubicarnos en cualquier punto de la tierra.

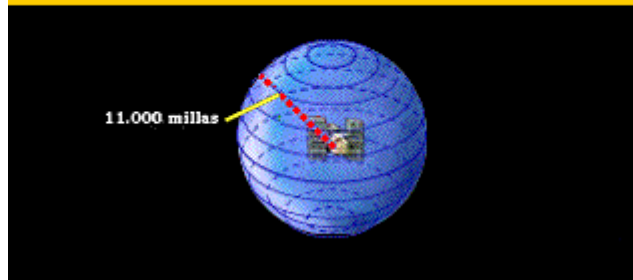
La gran idea, Geométricamente, es:

Supongamos que medimos nuestra distancia al primer satélite y resulta ser de 11.000 millas (20.000 Km)

Sabiendo que estamos a 11.000 millas de un satélite determinado no podemos, por lo tanto, estar en cualquier punto del universo sino que esto limita nuestra posición a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es de 11.000 millas.

Paso 1: Triangulación desde los Satélites

Estamos en algún punto de esta esfera

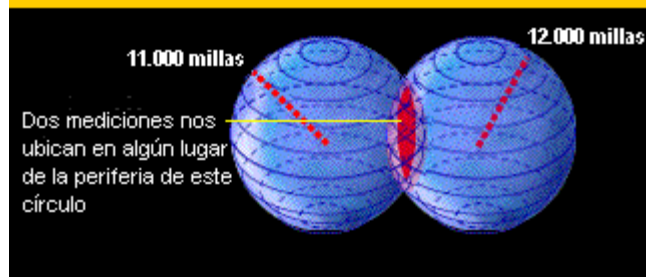


A continuación medimos nuestra distancia a un segundo satélite y descubrimos que estamos a 12.000 millas del mismo.

Esto nos dice que no estamos solamente en la primer esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 12.000 millas del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas.

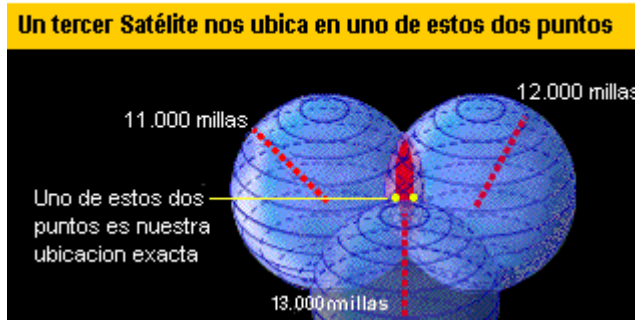
Paso 1: Triangulación desde los Satélites

Un segundo Satélite restringe nuestra ubicación



Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 13.000 millas del mismo, esto limita nuestra posición aún mas, a los dos puntos en los cuales la esfera de 13.000 millas corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas.

Paso 1: Triangulación desde los Satélites



O sea, que midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles.

Para decidir cual de ellos es nuestra posición verdadera, podríamos efectuar una nueva medición a un cuarto satélite. Pero normalmente uno de los dos puntos posibles resulta ser muy improbable por su ubicación demasiado lejana de la superficie terrestre y puede ser descartado sin necesidad de mediciones posteriores. Una cuarta medición, de todos modos es muy conveniente por otra razón que veremos mas adelante.

Veamos ahora como el sistema mide las distancias a los satélites.

En Resumen: Triangulación

Nuestra posición se calcula en base a la medición de las distancias a los satélites. Matemáticamente se necesitan cuatro mediciones de distancia a los satélites para determinar la posición exacta.

En la práctica se resuelve nuestra posición con solo tres mediciones si podemos descartar respuestas ridículas o utilizamos ciertos trucos.

Se requiere de todos modos una cuarta medición por razones técnicas que luego veremos.

5.4.2. Midiendo las distancias a los satélites (Paso 2)

Sabemos ahora que nuestra posición se calcula a partir de la medición de la distancia hasta por lo menos tres satélites. Pero, ¿cómo podemos medir la distancia hacia algo que está flotando en algún lugar en el espacio?. Lo hacemos midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar hasta nuestro receptor de GPS.

La gran idea, Matemáticamente, es:

Toda la idea gira alrededor de aquellos problemas sobre la velocidad que resolvíamos en la secundaria, Recordemos que "Si un auto viaja a 60 kilómetros por hora durante dos horas, ¿qué distancia recorrió?

$$\text{Velocidad (60 km/h)} \times \text{Tiempo (2 horas)} = \text{Distancia (120 km)}$$

En el caso del GPS estamos midiendo una señal de radio, que sabemos que viaja a la velocidad de la luz, alrededor de 300.000 km por segundo.

Nos queda el problema de medir el tiempo de viaje de la señal (Que, obviamente, viene muy rápido)

Sincronicemos nuestros relojes

El problema de la medición de ese tiempo es complicado. Los tiempos son extremadamente cortos. Si el satélite estuviera justo sobre nuestras cabezas, a unos 20.000 km de altura, el tiempo total de viaje de la señal hacia nosotros sería de algo más de 0.06 segundos. Estamos necesitando relojes muy precisos. Ya veremos como lo resolvemos.

Pero, aún admitiendo que tenemos relojes con la suficiente precisión, ¿cómo medimos el tiempo de viaje de la señal?

Supongamos que nuestro GPS, por un lado, y el satélite, por otro, generan una señal auditiva en el mismo instante exacto. Supongamos también que nosotros, parados al lado de nuestro receptor de GPS, podemos oír ambas señales (Obviamente es imposible "oír" esas señales porque el sonido no se propaga en el vacío).

Oiríamos dos versiones de la señal. Una de ellas inmediatamente, la generada por nuestro receptor GPS y la otra con cierto atraso, la proveniente del satélite, porque tuvo que recorrer alrededor de 20.000 km para llegar hasta nosotros. Podemos decir que ambas señales no están sincronizadas.

Si quisiéramos saber cual es la magnitud de la demora de la señal proveniente del satélite podemos retardar la emisión de la señal de nuestro GPS hasta lograr la perfecta sincronización con la señal que viene del satélite.

El tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de la señal proveniente del satélite. Supongamos que sea de 0.06 segundos. Conociendo este tiempo, lo multiplicamos por la velocidad de la luz y ya obtenemos la distancia hasta el satélite.

Tiempo de retardo (0.06 seg) x Vel. de la luz (300.000 km/seg) = Dist. (18.000 km)

Así es, básicamente, como funciona el GPS.

La señal emitida por nuestro GPS y por el satélite es algo llamado "Código Pseudo Aleatorio" (Pseudo Random Code). La palabra "Aleatorio" significa algo generado por el azar.

¿Un Código Aleatorio?

Este Código Pseudo Aleatorio es una parte fundamental del GPS. Físicamente solo se trata de una secuencia o código digital muy complicado. O sea una señal que contiene una sucesión muy complicada de pulsos "on" y "off", como se pueden ver:

Paso 2: Midiendo la distancia a los Satélites



La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado por el azar. De allí su denominación de "Pseudo-Aleatorio".

Hay varias y muy buenas razones para tal complejidad. La complejidad del código ayuda a asegurarnos que el receptor de GPS no se sintonice accidentalmente con alguna otra señal. Siendo el modelo tan complejo es altamente improbable que una señal cualquiera pueda tener exactamente la misma secuencia.

Dado que cada uno de los satélites tiene su propio y único Código Pseudo Aleatorio, esta complejidad también garantiza que el receptor no se confunda accidentalmente de satélite. De esa manera, también es posible que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente. Esto también complica a cualquiera que intente interferir el sistema desde el exterior al mismo. El Código Pseudo Aleatorio le da la posibilidad al Departamento de Defensa de EEUU de controlar el acceso al sistema GPS.

Pero hay otra razón para la complejidad del Código Pseudo Aleatorio, una razón que es crucial para conseguir un sistema GPS económico.

El código permite el uso de la "teoría de la información" para amplificar las señales de GPS. Por esa razón las débiles señales emitidas por los satélites pueden ser captadas por los receptores de GPS sin el uso de grandes antenas.

Cuando comenzamos a explicar el mecanismo de emisión de las señales por el GPS y el satélite, asumimos que ambos comenzaban la emisión de la señal exactamente al mismo tiempo. ¿Pero cómo podemos asegurarnos que todo esté perfectamente sincronizado?

Ya veremos...

En Resumen: Midiendo la distancia

La distancia al satélite se determina midiendo el tiempo que tarda una señal de radio, emitida por el mismo, en alcanzar nuestro receptor de GPS.

Para efectuar dicha medición asumimos que ambos, nuestro receptor GPS y el satélite, están generando el mismo Código Pseudo Aleatorio en exactamente el mismo momento.

Comparando cuanto retardo existe entre la llegada del Código Pseudo Aleatorio proveniente del satélite y la generación del código de nuestro receptor de GPS, podemos determinar cuanto tiempo le llevó a dicha señal llegar hasta nosotros. Multiplicamos dicho tiempo de viaje por la velocidad de la luz y obtenemos la distancia al satélite.

5.4.3. Control perfecto del tiempo (Paso 3)

Si la medición del tiempo de viaje de una señal de radio es clave para el GPS, los relojes que empleamos deben ser exactísimos, dado que si miden con un desvío de un milésimo de segundo, a la velocidad de la luz, ello se traduce en un error de 300 km!

Por el lado de los satélites, el timing es casi perfecto porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

¿Pero que pasa con nuestros receptores GPS, aquí en la tierra?

Recordemos que ambos, el satélite y el receptor GPS, deben ser capaces de sincronizar sus Códigos Pseudo Aleatorios para que el sistema funcione.

Si nuestros receptores GPS tuvieran que alojar relojes atómicos (Cuyo costo está por encima de los 50 a 100.000 U\$S) la tecnología resultaría demasiado costosa y nadie podría acceder a ellos.

Por suerte los diseñadores del sistema GPS encontraron una brillante solución que nos permite resolver el problema con relojes mucho menos precisos en nuestros GPS. Esta solución es uno de los elementos clave del sistema GPS y, como beneficio adicional, significa que cada receptor de GPS es en esencia un reloj atómico por su precisión.

El secreto para obtener un timing tan perfecto es efectuar una medición satelital adicional.

Resulta que si tres mediciones perfectas pueden posicionar un punto en un espacio tridimensional, cuatro mediciones imperfectas pueden lograr lo mismo.

Esta idea es fundamental para el funcionamiento del sistema GPS, pero su explicación detallada excede los alcances de la presente exposición. De todos modos, aquí va un resumen somero:

Una medición adicional remedia el desfase del timing.

Si todo fuera perfecto (es decir que los relojes de nuestros receptores GPS lo fueran), entonces todos los rangos (distancias) a los satélites se interceptarían en un único punto (que indica nuestra posición). Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, efectuados como control cruzado, NO intersecará con los tres primeros.

De esa manera la computadora de nuestro GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal.

Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto.

Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera tenemos un reloj atómico en la palma de nuestra mano!

Una vez que el receptor de GPS aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, obtenemos un posicionamiento preciso.

Una consecuencia de este principio es que cualquier GPS decente debe ser capaz de sintonizar al menos cuatro satélites de manera simultánea. En la práctica, casi todos los GPS en venta actualmente, acceden a mas de 6, y hasta a 12, satélites simultáneamente.

Ahora bien, con el Código Pseudo Aleatorio como un pulso confiable para asegurar la medición correcta del tiempo de la señal y la medición adicional como elemento de sincronización con la hora universal, tenemos todo lo necesario para medir nuestra distancia a un satélite en el espacio.

Pero, para que la triangulación funcione necesitamos conocer no sólo la distancia sino que debemos conocer dónde están los satélites con toda exactitud.

Veremos cómo lo conseguimos.

En Resumen: Obtener un Timing Perfecto

Un timing muy preciso es clave para medir la distancia a los satélites

Los satélites son exactos porque llevan un reloj atómico a bordo.

Los relojes de los receptores GPS no necesitan ser tan exactos porque la medición de un rango a un satélite adicional permite corregir los errores de medición.

5.4.4. Conocer dónde están los satélites en el espacio (Paso 4)

A lo largo de este trabajo hemos estado asumiendo que conocemos dónde están los satélites en sus órbitas y de esa manera podemos utilizarlos como puntos de referencia.

¿Pero, cómo podemos saber donde están exactamente? Todos ellos están flotando a unos 20.000 km de altura en el espacio.

Un satélite a gran altura se mantiene estable

La altura de 20.000 km es en realidad un gran beneficio para este caso, porque algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que orbitará de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de GPS.

En tierra, todos los receptores de GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento.

El Control Constante agrega precisión

Las órbitas básicas son muy exactas pero con el fin de mantenerlas así, los satélites de GPS son monitoreados de manera constante por el Departamento de Defensa.

Paso 4: Conocer dónde están los Satélites en el espacio



Ellos utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la exacta altura, posición y velocidad de cada satélite.

Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites.

Estos errores son generalmente muy sutiles pero si queremos una gran exactitud debemos tenerlos en cuenta.

Corrigiendo el mensaje

Una vez que el Departamento de Defensa ha medido la posición exacta de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. De esa manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los GPS.

Paso 4: Conocer donde están los Satélites en el espacio

El monitoreo constante por Radar, agrega precisión



Esto significa que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de timing. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite

Con un timing perfecto y la posición exacta del satélite podríamos pensar que estamos en condiciones de efectuar cálculos perfectos de posicionamiento. Sin embargo debemos resolver otros problemas.

En Resumen: Posicionamiento de los Satélites

Para utilizar los satélites como puntos de referencia debemos conocer exactamente donde están en cada momento.

Los satélites de GPS se ubican a tal altura que sus órbitas son muy predecibles. El Departamento de Defensa controla y mide variaciones menores en sus órbitas.

La información sobre errores es enviada a los satélites para que estos a su vez retransmitan su posición corregida junto con sus señales de timing.

5.4.5. Corrigiendo Errores (Paso 5)

Hasta ahora hemos estado tratando los cálculos del sistema GPS de manera muy abstracta, como si todo el proceso ocurriera en el vacío. Pero en el mundo real hay muchas cosas que le pueden suceder a una señal de GPS para transformarla en algo menos que matemáticamente perfecta.

Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles. Veamos que es lo que debemos enfrentar.

Un Rudo Viaje a través de la atmósfera

En primer lugar, una de las presunciones básicas que hemos estado usando a lo largo de este trabajo no es exactamente cierta. Hemos estado afirmando que podemos calcular la distancia a un satélite multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío.

Una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.

Paso 5: Corrigiendo Errores



Hay un par de maneras de minimizar este tipo de error. Por un lado, podríamos predecir cual sería el error tipo de un día promedio. A esto se lo llama modelación y nos puede ayudar pero, por supuesto, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan exactamente el promedio previsto.

Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmósfera es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores GPS muy avanzados.

Un Rudo Viaje sobre la tierra

Los problemas para la señal de GPS no terminan cuando llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor GPS.

Paso 5: Corrigiendo Errores

Un rudo viaje sobre el terreno



Este error es similar al de las señales fantasma que podemos ver en la recepción de televisión. Los buenos receptores GPS utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar este problema.

Problemas en el satélite

Aún siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema.

Los relojes atómicos que utilizan son muy, pero muy, precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir minúsculas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales.

Y, aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

Algunos ángulos son mejores que otros

La geometría básica por sí misma puede magnificar estos errores mediante un principio denominado "Dilución Geométrica de la Precisión", o DGDP

Suena complicado pero el principio es simple.

En la realidad suele haber más satélites disponibles que los que el receptor GPS necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto.

Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarán a ángulos con muy escasa diferencia entre sí. Esto incrementa el área gris o margen de error acerca de una posición.

Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados, las circunferencias intersectan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error.

Los buenos receptores son capaces de determinar cuales son los satélites que dan el menor error por Dilución Geométrica de la Precisión.

¡Errores Intencionales!

Aunque resulte difícil de creer, el mismo Gobierno que pudo gastar 12.000 Millones de dólares para desarrollar el sistema de navegación más exacto del mundo, está degradando intencionalmente su exactitud. Dicha política se denomina "Disponibilidad Selectiva" y pretende asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pueda utilizar el GPS para fabricar armas certeras.

Básicamente, el Departamento de Defensa introduce cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que a su vez se traduce en errores en los cálculos de posición. El Departamento de Defensa también puede enviar datos orbitales ligeramente erróneos a los satélites que estos reenvían a los receptores GPS como parte de la señal que emiten.

Estos errores en su conjunto son la mayor fuente unitaria de error del sistema GPS. Los receptores de uso militar utilizan una clave encriptada para eliminar la Disponibilidad Selectiva y son, por ello, mucho más exactos.

La Disponibilidad Selectiva fue interrumpida por un decreto del presidente Clinton, con efecto desde el 2 de mayo de 2000. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos se reserva el derecho de reimplantarla cuando lo considere conveniente a los intereses de la Seguridad de los Estados Unidos y además dispone de la tecnología necesaria para implantarla en áreas geográficas limitadas. Estas condiciones permitieron al Presidente Clinton suspenderla.

La línea final

Afortunadamente todos esos errores no suman demasiado error total. Existe una forma de GPS, denominada GPS Diferencial, que reduce significativamente estos problemas.

En Resumen: Corrección de Errores

La ionosfera y la troposfera causan demoras en la señal de GPS que se traducen en errores de posicionamiento.

Algunos errores se pueden corregir mediante modelación y correcciones matemáticas.

La configuración de los satélites en el cielo puede magnificar otros errores
El GPS Diferencial puede eliminar casi todos los errores

5.5 El funcionamiento del GPS: un repaso a los principales componentes, tipos de receptores y métodos

5.5.1. SEGMENTOS Y COMPONENTES DEL SISTEMA GPS

El fundamento del sistema GPS consiste en la recepción de entre cuatro y ocho señales de radio de otros tantos satélites de los cuales se conoce de forma muy exacta su posición orbital con respecto a la tierra; a la vez, se conoce muy bien el tiempo que han tardado las señales en recorrer el camino entre el satélite y el receptor. Conociendo la posición de los satélites, la velocidad de propagación de sus señales y el tiempo empleado en recorrer el camino hasta el usuario, por trilateración se puede establecer la posición en términos absolutos del receptor.

Para entender el sistema GPS se hace necesario conocer los elementos que lo forman. Dentro del sistema GPS existen tres conjuntos de componentes denominados **segmentos**:

Segmento Espacial.

Segmento de control

Segmento del usuario.

Veamos a continuación las principales características de cada uno de ellos.

SEGMENTO ESPACIAL

El Segmento Espacial está constituido por los **satélites** que soportan el sistema y las **señales de radio** que emiten. Estos satélites conforman la llamada constelación **NAVSTAR** (Navigation Satellite Timing and Ranging), constituida por 24 satélites operativos más cuatro de reserva, mantenidos por la fuerza aérea estadounidense. No hay que olvidar, que el origen de este sistema es militar y su financiación corre íntegramente a cargo del gobierno de los Estados Unidos.

Existe también una versión rusa del sistema de posicionamiento global. Se trata de un intento incompleto que inició el gobierno ruso (Constelación **Glonass**), pero que acabó abandonando por falta de financiación. Esta constelación



incompleta de satélites Glonass sólo se usa ocasionalmente como complemento al sistema GPS norteamericano en algunas aplicaciones de precisión.

Por otro lado, también existe en proyecto una versión europea modernizada del GPS que actualmente se encuentra en fase de elaboración. Liderado por la Agencia Espacial Europea, el Proyecto **Galileo** espera tener operativo todo su sistema a partir del 2008, si no hay problemas políticos o de financiación.

En medio de este escenario, el único sistema de posicionamiento global totalmente operativo a día de hoy es el norteamericano, con varias generaciones de satélites ya en órbita y funcionando, y con otra nueva generación de aparatos actualmente en fase de desarrollo que prometen mejorar considerablemente las prestaciones para antes de 2008.

Los 24 satélites y sus 4 de reserva de la constelación NAVSTAR, circundan la tierra en órbitas a una altura alrededor de los 20.200 km de la superficie (puede ser algo más o algo menos, dependiendo del satélite) y distribuidos de tal manera que en cada punto de la superficie terrestre se tiene posibilidad de leer la señal de al menos cuatro satélites. Esto es muy importante, porque se necesitan al menos cuatro satélites para conocer la posición del observador, y que estos se dispongan con un ángulo de elevación sobre el horizonte superior a 15°; no obstante, casi siempre son más de cuatro los satélites 'visibles'.



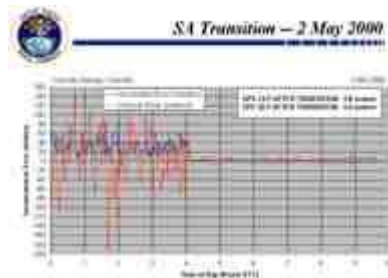
Los satélites envían señales en la región de radio del espectro electromagnético. La señal en sí es muy compleja. Está formada por varios componentes que se estructuran sobre una señal principal con frecuencia de 10'23 MHz. A partir de esta señal principal y derivada de ella, se producen los dos componentes principales de la señal: las portadoras (carriers). Estas portadoras se emiten en la banda L del espectro (definida por el rango que va de los 390 MHz a los 1.550 MHz). La banda L del espectro es la que presenta mejor transparencia atmosférica, lo cual es muy importante para la precisión del sistema.

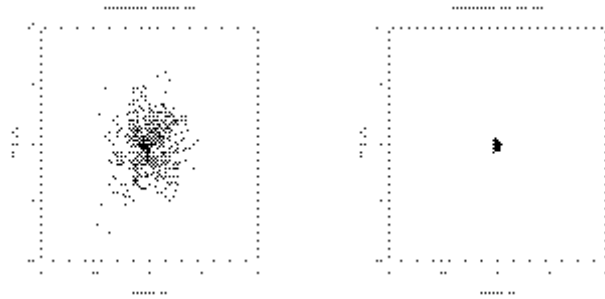
Las dos frecuencias portadoras (carriers) son denominadas L1 (1.575'42 MHz) y L2 (1.227'60 MHz). El empleo de dos frecuencias distintas se debe a que la atmósfera

proporciona un cierto retardo en la propagación de las ondas, siendo este retardo función de la frecuencia. Al utilizar dos frecuencias distintas se puede conocer ese retardo y compensarlo en consecuencia.

Sobre las dos portadoras se insertan por modulación varios códigos cifrados que rigen el funcionamiento del sistema. Estos códigos transportan en código binario la información necesaria para el cálculo de las posiciones. El más básico es el código C/A (Coarse/Acquisition), que va dentro de la señal L1 mediante modulación. Este código es leído por todos los receptores (incluidos los navegadores más sencillos). Otro código modulado sobre el conjunto de la L1 y la L2 es el denominado P (Precise), que permite un incremento muy notable en la precisión del sistema y en la velocidad de medición. En función del número de observables que un receptor es capaz de leer y analizar va el precio del mismo; por ejemplo, un receptor que sólo lee código C/A es mucho más barato que un bifrecuencia de código P.

Al ser un sistema nacido de la investigación militar y con una importancia geoestratégica obvia, el gobierno de los Estados Unidos se preocupó mucho de que pudiera garantizar el uso adecuado. En principio, se degradaba la señal intencionadamente para que los receptores civiles tuvieran un error mínimo intencionado que hiciera inapropiado su uso para aplicaciones militares. Era lo que se llamaba la Disposición Selectiva (Selective Availability) que condicionaba las lecturas a un error mínimo de 100 m. a través de la modificación de los datos de tiempo del satélite (reportados por los relojes atómicos a bordo) y alterando las efemérides de los satélites. El 1 de Mayo de 2001, la Administración Clinton decidió eliminar esta fuente de error intencionada, dada la importancia económica que estaba tomando el GPS; a partir de ese momento, la precisión del sistema se mejora notablemente, tal y como se puede ver en los siguientes gráficos, en los que se documenta el momento en que se eliminó la Disposición Selectiva (S/A):

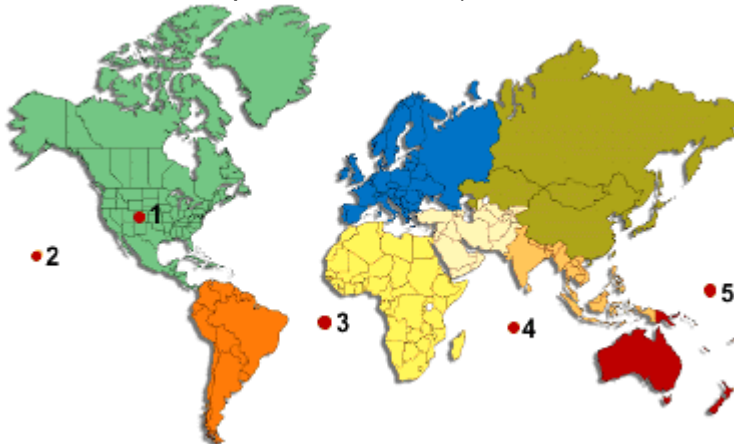




No obstante, existe otro modo de anular la señal en caso de existir un conflicto bélico en alguna región del planeta. A través del procedimiento de Anti-Spoofing (A-S), los gestores del sistema pueden encriptar totalmente la señal. Mediante el uso de un código adicional de alto secreto (denominado W), se consigue encriptar el código P, que pasa a denominarse entonces código Y; este código Y sólo se puede leer con receptores GPS militares autorizados, con lo que se garantiza la exclusividad mediante una denegación selectiva del servicio en zonas de conflicto.

SEGMENTO DE CONTROL

El segmento de control son todas las infraestructuras en tierra necesarias para el control de la constelación de satélites, mantenidas por la fuerza aérea estadounidense. Dichas infraestructuras tienen coordenadas terrestres de muy alta precisión y consisten en cinco grupos de instalaciones repartidas por todo el planeta, para tener un control homogéneo de toda la constelación de satélites (recorre los números del mapa con el cursor):



Estas infraestructuras realizan un seguimiento continuo de los satélites que pasan por su región del cielo, acumulando los datos necesarios para el cálculo preciso de sus órbitas. Dichas órbitas son muy predecibles, dado que no existe fricción atmosférica en el entorno donde se mueven los satélites; a las predicciones de las órbitas de los

satélites para el futuro se les conoce con el nombre de **Almanaques**, cuyo cálculo depende también del segmento de control.

Sin embargo, aunque muy predecibles, las órbitas también tienen una degradación debido a una serie de factores: desigual densidad de la gravedad terrestre, mareas gravitatorias provocadas por el alineamiento de la luna y los planetas, viento solar, etc. Todos estos factores conllevan pequeñas degradaciones sobre las órbitas que hay que tener en cuenta para que el sistema GPS sea preciso. Por ello, aquellas estaciones del segmento de control que están dotadas de antenas de referencia tienen también la función de subir a los satélites las correcciones de órbita para sus sistemas de navegación.

Dichas correcciones son transmitidas en la banda S, y una vez recibidas por cada satélite son incorporadas a los mensajes de navegación que el satélite emite para ser captados por el receptor del usuario. A estas órbitas recalculadas con los datos de corrección (suministrados por las estaciones de tierra) y su información de tiempo se les denomina **efemérides**. El usuario no experimentado no ve por ninguna parte rastro de las efemérides, pero hasta el navegador más sencillo las está utilizando en el momento en que estamos midiendo.

SEGMENTO DEL USUARIO

El segmento del usuario está constituido por el hardware (equipos de recepción) y el software que se utilizan para captar y procesar las señales de los satélites. Es quizá la parte que más nos interesa a nosotros como usuarios del sistema GPS, puesto que del tipo de instrumental y métodos utilizados depende la precisión alcanzada.

El tipo de receptores va unido íntimamente al tipo de método elegido para la medición, y a su vez a la naturaleza de la aplicación que queramos realizar. Así, carece de sentido utilizar un receptor avanzado de doble frecuencia si no es en combinación con un método relativo, pues de no ser así estaríamos utilizando un equipo que puede valer entorno a 24.000 Euros para conseguir la misma precisión que un lector de 300 Euros. Por ello, equipos, métodos y aplicaciones son indisolubles para el especialista.

5.5.2. TIPOS PRINCIPALES DE EQUIPOS GPS

Caracterizar todos los tipos de equipos GPS que existen en el mercado es casi imposible a día de hoy, dado el gran dinamismo del mercado y el amplio abanico de productos. Además, dicha clasificación puede realizarse por múltiples criterios, como por ejemplo en función de la arquitectura (receptores secuenciales, continuos o multiplex), en función del método de funcionamiento (correlación de código o análisis de fase de la portadora), o en función de las aplicaciones a las que se destine.

Para aplicaciones GIS, podemos destacar los siguientes tipos de receptores:

NAVEGADORES CONVENCIONALES

Los navegadores son los tipos de receptores GPS más extendidos, dados su bajo costo y multiplicidad de aplicaciones. Consisten en receptores capaces de leer el código C/A, que pueden tener incluso capacidad para leer señales diferenciales vía radio o conexión software y también capacidad para representar cartografía sencilla en una pantalla de cristal líquido.

Permiten conocer las coordenadas en varios formatos y conversión de baja precisión a datum locales desde WGS84 (el sistema geodésico de referencia en GPS). También permiten la navegación asistida con indicación de rumbos, direcciones y señales audibles de llegada en rutas definidas por el usuario a través de puntos de referencia (waypoints).

En aplicaciones GIS, pueden ser utilizados para referenciar puntos a representar sobre cartografías pequeñas-medias, pero generalmente no son muy aptos porque no permiten trabajar con bases de datos geográficas definidas por el usuario ni permiten un almacenamiento de datos alfanuméricos personalizado.

A cambio, presentan la ventaja de que el usuario no tiene que tener ninguna formación específica para su manejo.

RECEPTORES DE C/A AVANZADOS

Son receptores que además de analizar el código C/A disponen de lectura (con ciertas limitaciones) de la fase portadora L1.

Estos receptores permiten el uso de metodologías diferenciales, en ocasiones bajo la forma de suscripciones a servicios vía satélite como OmniStar® o LandStar®, consiguiendo bajo esta metodología precisiones entorno a **1 m. en tiempo real**.

Son muy aptos para aplicaciones GIS porque aparte de permitir una precisión compatible con la mayoría de las escalas usadas en GIS (siempre que se usen técnicas diferenciales), permiten el manejo de bases de datos geográficas realizadas por el usuario.

Con este tipo de receptores, conectados con ordenadores portátiles y otros dispositivos móviles, es posible tanto capturar como replantear (ubicar coordenadas del plano en el terreno), con una precisión métrica. Ello es posible porque el DGPS vía satélite permite **correcciones en tiempo real**.

Los dispositivos móviles que se conectan a este tipo de receptores suelen ser PDAs (Personal Digital Assistant), corriendo programas específicos para este tipo de tareas, como ArcPAD™ de ESRI® o Pocket GIS™ de Pocket Systems Ltd®. Dichos

programas suelen leer varios tipos de formatos vectoriales (generalmente SHP) y raster, lo que permite una fácil integración de los datos GIS.

De esta forma, podemos llevar nuestras bases de datos al terreno y conocer nuestra posición en tiempo real, con una pantalla en color donde ver la cartografía y acceso a bases de datos asociadas. Es como llevar una versión reducida del GIS al terreno.

En cuanto a la corrección diferencial, es muy frecuente que ésta sea proporcionada vía satélite mediante suscripción a un sistema de pago. Este tipo de servicio tiene la enorme ventaja de que se dispone de corrección instantánea sin necesidad de montar ninguna estación de referencia, y para casi cualquier parte del globo en tiempo real. Dicha suscripción suele tener un precio anual de alrededor de 1.400 Euros para precisión métrica y un solo país; también se puede contratar por períodos limitados de semanas, meses o incluso por días avisando por adelantado.

RECEPTORES GEODÉSICOS CON MEDICIÓN DE FASE SOBRE L1

Son receptores que trabajan con la onda portadora L1, acumulando información que con postprocesado en gabinete permite obtener precisiones relativas centimétricas en el mejor de los casos para distancias de hasta 25 ó 30 km y submétricas para distancias de hasta 50 km. Permiten el cálculo de vectores con su evaluación estadística y son aptos para el ajuste de redes, aunque se trata de una tecnología vieja hoy en día.

Este tipo de receptores suelen ser usados con métodos relativos estáticos, con el uso de estaciones de referencia complementarias. Muchos de ellos son también compatibles con los servicios DGPS vía satélite comentados anteriormente trabajando en lectura de código exclusivamente, mediante la incorporación de una tarjeta electrónica de expansión y la suscripción al sistema.

RECEPTORES GEODÉSICOS DE DOBLE FRECUENCIA

Trabajan con la portadora L1 y también con la L2, lo cual permite disminuir los errores derivados de la propagación desigual de la señal a través de las distintas capas atmosféricas (sobre todo la ionosfera) y resolver un gran número de ambigüedades.

Con este tipo de equipos se pueden llegar a **precisiones por debajo del centímetro con postprocesado para distancias de hasta 10 km**, y por debajo del **metro para distancias de hasta 500 km**.

Además de técnicas de postprocesado en gabinete, los receptores bifrecuencia también se usan con correcciones en tiempo real. Para este último caso, lo normal es

usarlos junto con algoritmos RTK (Real Time Kinematic), que permiten **precisiones centimétricas en tiempo real** en combinación con estaciones de referencia.

Algunos de ellos son compatibles con sistemas DGPS vía satélite; los servicios de corrección de última generación vía satélite junto con lectores de doble frecuencia permiten llegar hasta precisiones decimétricas en tiempo real, si bien no es muy normal ver este tipo de metodologías junto este tipo de receptores.

Este último tipo de receptores son más apropiados para tareas de geodesia y topografía que para aplicaciones GIS, donde generalmente no se necesita bajar del metro de precisión.

5.5.3. PRINCIPALES TIPOS DE MÉTODOS GPS

Como ya hemos subrayado anteriormente, el instrumental utilizado (tipo de receptor), la precisión buscada y el método empleado son elementos que van unidos indisolublemente, de tal manera que ha de ser adecuada la manera en que elegimos el receptor para la aplicación que vamos a realizar y teniendo en cuenta la metodología.

A. Métodos Basados en la Lectura de Código.

A.1. Método Absoluto:

Es el utilizado por los navegadores más sencillos, en el cual el usuario no tiene que hacer prácticamente nada pues el navegador se encarga de sintonizar la señal de cada satélite, ajustar su reloj, computar las distancias y calcular la posición en consecuencia.

En función del tipo de receptor que dispongamos, este método tiene una **precisión planimétrica entre 7 m y 25 m** (sin Disposición Selectiva), dependiendo de la geometría de la constelación y de la calidad con que nos llegue la señal.

A.2. Método Diferencial (DGPS):

Consiste en la utilización de un receptor móvil y una estación (o estaciones) de referencia sobre coordenadas conocidas. La idea básica para comprender el fundamento del DGPS es la utilización de receptores sobre puntos de coordenadas muy bien conocidas; estos receptores (llamados estaciones de referencia), leen en todo momento las posiciones reportadas por sus observaciones GPS y las comparan con las posiciones teóricas de sus coordenadas conocidas.

En tiempo real, las estaciones de referencia transmiten las correcciones a realizar a los receptores del usuario, que también está leyendo directamente la señal GPS y

que al vuelo coge dichas correcciones y las aplica a sus medidas, con lo cual se mejora notablemente la precisión del sistema.

La manera de obtener las mediciones diferenciales depende del lugar del mundo donde estemos. En los Estados Unidos, es fácil adquirir correcciones DGPS vía radio y con bastante calidad de forma gratuita. En algunos países de Europa también es aplicable esta metodología. En el caso concreto de España, existe en teoría un sistema de radiodifusión de correcciones DGPS gestionado por el IGN y que se emite junto a la señal de Radio Nacional sobre FM, utilizando el sistema de codificación de información RDS. Sin embargo, las correcciones DGPS de Radio Nacional no están operativas para todo el país y a nivel profesional yo no tengo razón de que se usen mucho. Sí es bastante operativo el sistema en el caso concreto de Cataluña, donde el ICC gestiona por su parte el sistema Rasant. Las precisiones utilizando DGPS vía radio pueden ir de los 5 m a 1 m.

Otra manera de conseguir correcciones diferenciales es a través de la suscripción a un servicio de pago vía satélite. En este caso las correcciones vienen proporcionadas por satélites geoestacionarios cuya señal cubren casi todo el planeta. Servicios de este tipo son OmniStar® o LandStar® y dan servicio como digo a casi cualquier país (salvo las zonas de latitudes muy altas).

Las precisiones obtenidas vía satélite nos dan una resolución sobre el metro y tienen la enorme ventaja de que las podemos recibir en cualquier sitio, sin necesidad de tener que cargar con una estación de referencia.

En aplicaciones GIS, la solución DGPS junto con un servicio de pago por satélite es muy apropiada, pues nos permite cartografiar hasta escalas 1:5.000 y con servicio en tiempo real, con lo cual podemos interactuar con nuestras bases de datos geográficas y capturar información de forma fácil y sencilla.

B. Métodos Relativos Basados en Medida de Fase de Portadoras.

Los métodos relativos también utilizan dos o más receptores para el cálculo de las posiciones, pero en vez de sólo con lecturas de código también con análisis de fase de portadora.

Básicamente el principio lógico es el mismo que veíamos en el caso del DGPS con lectura de código: ubicar una estación (llamada estación de referencia) sobre un punto de coordenadas muy bien conocidas y comparar las posiciones que está calculando con su receptor GPS con la posición real donde está ubicada. Después, las conclusiones acerca de los errores detectados son aplicados a las mediciones tomadas por otro receptor que está ubicado en una posición no conocida, con lo cual se consigue mejorar significativamente la precisión de sus medidas.

A su vez, existen varios tipos de métodos relativos que vamos a ver a continuación:

B.1. Método Relativo Estático:

Consiste en la utilización de un receptor base sobre un punto de coordenadas conocidas y otro receptor sobre el punto a medir. Ninguno de los dos receptores se mueve durante los prolongados tiempos de medición.

Es un método utilizado en geodesia para medir a largas distancias y es hoy por hoy la manera más precisa de obtener coordenadas por GPS. Su precisión depende de los tiempos de medición y sobre todo el tipo de receptor empleado. Recordamos que este método se puede aplicar con receptores de fase de portadora L1 o con receptores de fase de portadoras en bifrecuencia (L1+L2). En el caso de receptores de doble frecuencia la precisión del sistema viene a ser de 5 mm + 1 ppm.

Las coordenadas medidas no son obtenidas por el usuario en el campo, sino que son calculadas en gabinete utilizando el software apropiado. Dicho software pone en relación las series de la estación (o estaciones de referencia) con las series de los receptores de medida. Como la estación de referencia ha estado ubicada en un punto de coordenadas conocidas, se puede saber en cada momento de la medición qué error aproximado estaban induciendo los satélites; dicho error es compensado sobre la serie del receptor medidor.

La idea principal de este método es que las señales que han llegado hasta la estación base han recorrido prácticamente la misma región atmosférica que las señales que han llegado hasta el receptor medidor, con lo cual ambas señales han estado sometidas al mismo tipo de degradaciones (sobre todo por efecto de la ionosfera).

Los receptores de dos portadoras (L1 y L2) al utilizar dos frecuencias distintas permiten resolver mayor número de ambigüedades y dar mayor precisión; ello es así porque los retardos atmosféricos son función de la frecuencia de la señal, luego si utilizamos dos frecuencias distintas podemos tener más información acerca de qué retardos y degradaciones ha tenido la señal en su camino hasta nuestro receptor.

B.2. Método Relativo Cinemático:

El método anterior puede que sea muy preciso, pero tiene un grave inconveniente: no conocemos las coordenadas corregidas en el momento en que estamos en el campo. Ello implica una serie de limitaciones de las cuales las más importante son:
No podemos capturar elementos formados por un número muy elevado de puntos (por ejemplo, el trazado de una pista forestal o de toda una carretera).

No podemos replantear (llevar información plasmada en el plano al terreno)
No podemos interactuar en tiempo real con nuestras bases de datos geográficas.

En el caso de aplicaciones GIS en las cuales la precisión no es esencial y sin embargo sí lo es la captura de información y la interacción en tiempo real con bases de datos geográficas, este tipo de limitaciones son definitivas. Por eso, los métodos relativos estáticos son más propios del campo de la geodesia y la topografía que del campo del GIS.

Básicamente el principio del método relativo cinemático es similar al relativo estático: el uso de una estación de referencia sobre un punto de coordenadas conocidas y otro receptor medidor. La diferencia estriba en que este receptor medidor es ahora móvil, es decir, no permanece estático durante el tiempo de medición sino que cambia su posición.

Con este tipo de método ya se pueden capturar los trazados de elementos geoméricamente irregulares (carreteras, caminos, etc.), todo ello a cambio de una cierta disminución en la precisión general del sistema.

En este caso, con receptores geodésicos de fase de portadora L1 se pueden conseguir precisiones de 10 ppm con medición sobre al menos 5 satélites y para distancias de la estación base inferiores a 3 km. Para receptores geodésicos de doble frecuencia, se consiguen precisiones de 5 mm + 1 ppm.

Sin embargo, en este caso las coordenadas corregidas tampoco las obtenemos en el momento de estar midiendo en el campo, sino que son calculadas en gabinete con postprocesado.

Para resolver este inconveniente (de vital importancia en el campo de las aplicaciones GIS), se han desarrollado métodos relativos en tiempo real. Ya veíamos anteriormente el modo diferencial DGPS, que permite operar con datos en tiempo real y que considerábamos muy apropiado para aplicaciones GIS.

En métodos de fase de portadora, también existen métodos de tiempo real y con mayor precisión. Hoy en día se puede llegar a trabajar con posiciones centimétricas en tiempo real, lo que hace muy apropiado este método para tareas de la topografía de obras (especialmente el replanteo).

Así, en modo RTK (Real-Time Kinematik), con el que trabajan los receptores de última generación, se puede conseguir precisiones centimétricas con tiempos de inicialización instantáneos. Esto garantiza una alta productividad de los operadores, que además de no perder tiempo en la inicialización ya no requieren de auxiliares que

les porten el jalón al punto de medida como ocurría con los métodos basados en topografía clásica.

En cuanto a las precisiones, con receptores bifrecuencia de última generación se pueden conseguir 10 mm + 2 ppm con inicialización instantánea y RTK.

Sin embargo, existen algunos inconvenientes de cara a la aplicación en GIS. En primer lugar, tenemos que portar con una estación de referencia a ubicar en un punto con coordenadas muy bien conocidas (lógicamente, con precisión milimétrica en planimetría). En segundo lugar, algunos de estos sistemas funcionan con colectores de datos no apropiados para las tareas GIS. Dichos colectores tienen pantallas alfanuméricas que las hacen aptas para tareas de replanteo y geometría de coordenadas, pero no permiten la carga de bases de datos como las que se requieren en GIS (ficheros raster, ficheros SHP, etc.)

Adicionalmente, no hay que olvidar que a mayores precisiones, mayores requerimientos de conocimientos se necesitan por parte del usuario. El adquirir un receptor sofisticado no significa un uso adecuado. Por ejemplo, el mismo traspaso de coordenadas del sistema WGS84 con que trabaja el GPS a nuestro datum local, puede dar al traste con toda la precisión que hayamos obtenido primero, si no somos cuidadosos.

Lo mismo hay que decir de las coordenadas de partida donde estacionamos el receptor de referencia. Si estas coordenadas no tienen una precisión adecuada, tampoco podremos sacar el rendimiento al sistema.

En tareas GIS convencionales de inventariado de recursos e infraestructuras, una aplicación que nos permita conocer las coordenadas con 1 m de precisión en planimetría y en tiempo real parece la más adecuada para la mayor parte de los casos. Si además es flexible de cara a la portabilidad de la información en colectores de datos de tipo PDA, entonces es una opción muy aconsejable.

El uso de método DGPS junto con programas GIS reducidos como ArcPad™ corriendo sobre dispositivos móviles PDA reúne todas estas características.

5.6 ¿Qué es la corrección diferencial?

La señal emitida por los satélites NAVSTAR (GPS) está intencionalmente perturbada con la denominada SA (Selective Availability, Disponibilidad Selectiva) que produce una incorrección de las coordenadas calculadas por un receptor GPS (en navegación) por lo cual se hace necesaria su corrección.

Cuando se emplea un receptor de código (C/A Coarse Acquisition) la corrección calculada en un punto es aplicable a distancias de algunos cientos de kilómetros (200-500 Km).

La corrección diferencial es el proceso en el cual se sitúa un receptor en un punto conocido, llamado "estación base", y se utilizan estos datos recogidos para calcular las correcciones en cada instante dadas las coordenadas precisas de la estación. La posición incógnita de otro receptor ubicado en una "estación móvil" (denominado también estación remota o rover) puede mejorar la precisión de su posición aplicando aquellas correcciones.

5.6.1.1 Corrección diferencial en tiempo real

En RTDGPS (Real Time DGPS) "la estación base" calcula e inmediatamente radiodifunde la corrección para cada satélite. Esta corrección es recibida por el móvil mediante un receptor de radio (FM, VHF o UHF) que la aplica a la posición que está calculando. El resultado es una posición diferencialmente corregida en el móvil

5.6.1.2 Corrección diferencial a post proceso

En DGPS a post proceso la estación base registra todos los datos necesarios para cada satélite en un archivo. Posteriormente, un programa de corrección diferencial compara época a época los datos del fichero base con las coordenadas precisas de la "estación base" y, aplicando las correcciones al archivo de la "estación móvil" genera un archivo de posiciones corregidas.

5.6.1.3 Corrección diferencial inversa

Se suele aplicar en control de flotas. Los datos recogidos por los distintos móviles se envían a un centro de control que dispone de correcciones diferenciales (o las obtiene mediante una "estación base") y las aplica a todos ellos obteniendo su posición corregida. En este tipo de tecnología el móvil desconoce su posición corregida.

5.6.2 Tipos de corrección diferencial

5.6.2.1 Corrección de pseudodistancia (1)

La "estación base" genera una corrección para cada una de las pseudodistancias observadas (PRC Pseudo Range Correction, Corrección a la pseudodistancia) y su variación con el tiempo (RRC Range Rate Correction), época a época, para los satélites observados. El equipo móvil aplica estas correcciones sobre los satélites que esté utilizando para calcular su posición. Este es el método más correcto.

5.6.2.2 Corrección por posición

Se utiliza cuando la estación móvil y base observan la misma constelación, o se supone que así sea. Se calcula la diferencia de latitud, longitud y altura elipsoidal en la "estación base" para aplicársela al móvil. Es el método más sencillo pero tiene el inconveniente de que sólo si en la base y el el móvil se usan los mismos satélites (constelación idéntica) puede considerarse rigurosamente correcta.

(1) Pseudodistancia: La distancia desde el satélite a la antena GPS calculada a partir del tiempo recorrido de la señal de reloj. El satélite emite el código pseudoaleatorio y el receptor GPS alinea el código recibido con una réplica interna del código, esto permite conocer la diferencia de tiempo, lo que multiplicado por la velocidad de la luz nos determina la pseudodistancia.(REF 5)

5.7 STARFIRE™ NETWORK

La red Starfire™ es el primer Sistema de Aumentación (aumento) Global Basado en Satélites (GSBAS sigla en inglés) del mundo capaz de tener precisión en decímetros en tiempo real. El rendimiento ya no es una función de su distancia de una estación de referencia, por lo cual, tiene la libertad de utilizar StarFire en cualquier parte del mundo.

5.7.1. METODOLOGÍA

La red StarFire es un gran avance a partir de los primeros sistemas de aumentación (aumento) basados en tierra debido a que considera independientemente cada una de las fuentes de señales de error de los satélites GPS. Las correcciones de orbita y reloj del satélite GPS se calculan a partir de un tracking (seguimiento) network mundial de receptores de doble frecuencia.

Estas correcciones se transmiten vía enlaces satelitales **Inmarsat** directo a receptores de StarFire, resultando en un mínimo de latencia de datos y en el funcionamiento a nivel mundial a partir de 75 grados Norte a 75 grados Sur.

Todos los receptores StarFire usan un receptor GPS de doble frecuencia que miden el retraso ionosférica para cada satélite. Los retrasos del cenit troposférico se calculan a partir de un tiempo multi-estado y de un modelo de posición ayudado por satélites redundantes observables.

5.7.2 CONFIABILIDAD

Datos de enlaces redundantes, los centros de transformación (procesamiento) y equipo de enlace ascendente de satélite dual separados geográficamente aseguran la

continua confiabilidad del posicionamiento. El sistema es intrínsecamente sólido con la capacidad de calcular un conjunto completo de correcciones, incluso si múltiples estaciones de referencia no quedaran disponibles.

5.7.3. APLICACIONES

Los receptores Starfire están disponibles como unidades integradas completas o sistemas modulares. Las aplicaciones que pueden beneficiarse del rendimiento, precisión y disponibilidad de StarFire incluyen:

Land Survey = Topografía

Offshore Positioning = Posicionamiento en alta mar

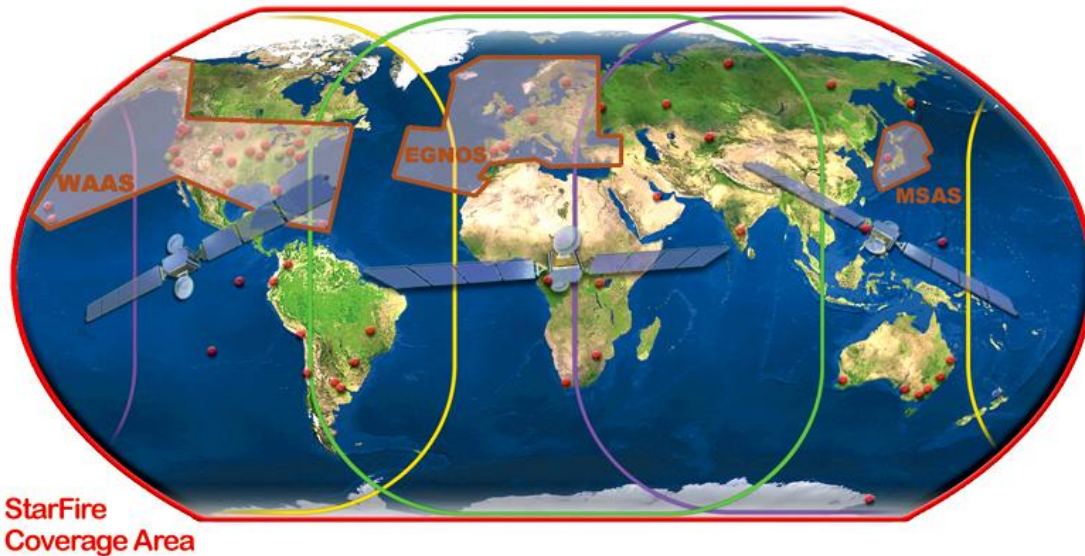
Precision Agricultura = Agricultura de precisión

Aerial Photogrammetry and LIDAR = Fotogrametría aérea y LIDAR

GIS and Asset Mapping = SIG y cartografía ...procesos activos

Machine Control = Control de maquinaria

5.7.4. RED STARFIRE™



Estaciones de Referencia de StarFire, Áreas de cobertura StarFire GSBAS y SBAS.
Integridad del sistema

Una red mundial de receptores GPS de doble frecuencia proporciona datos en bruto cada segundo a través de enlaces de datos confiables y redundantes a dos centros de procesamiento de la red localizados en Torrance, (S.W., USA) y Moline, (N.E., USA).

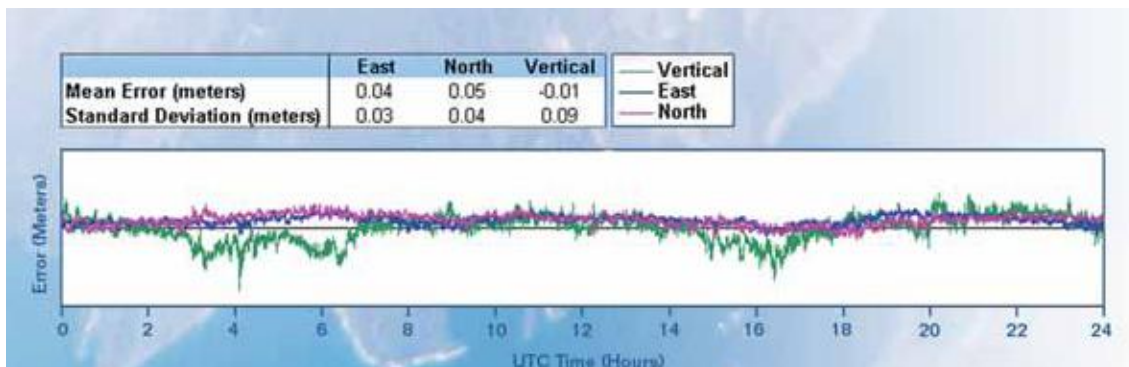
Estos receptores están unidos a la última realización del sistema de coordenadas de la red internacional terrestre de referencia (ITRF sigla en inglés). La referencia primaria de tiempo de StarFire está unida al Tiempo Atómico Internacional estándar.

La red es un sistema totalmente automatizado continuamente de auto-monitoreamiento supervisado las 24 horas del día por los operadores de la red StarFire. Los algoritmos GSBAS desarrollados por NavCom se basan en la tecnología licensed Jet Propulsion Laboratory de la NASA.

Las correcciones de órbita y reloj de ambos centros de procesamiento se distribuyen a través de circuitos dedicados con múltiples copias de seguridad (backups) de comunicación a tres estaciones satelitales de enlaces ascendentes Inmarsat. Una red independiente del equipo del usuario StarFire monitorea la precisión del sistema para garantizar la máxima confiabilidad.

5.7.5 RENDIMIENTO

El uso de cualquier receptor GPS de Starfire de NavCom proporciona mejor precisión (1 sigma) que 10 cm horizontal y 15 cm vertical como se muestra en el gráfico a continuación.



A diferencia de las posiciones DGPS que son relativas a la ubicación de la estación de referencia, Starfire produce posiciones ITRF absolutas en cualquier lugar, en cualquier momento. La precisión de StarFire es independiente de la distancia más cercana a la estación de referencia. (REF 6)

6. METODOLOGIA

Con el propósito de explicar la metodología de trabajo se tomarán cada uno de los dos componentes en que se ha fraccionado la pasantía: trabajo de oficina y trabajo de campo.

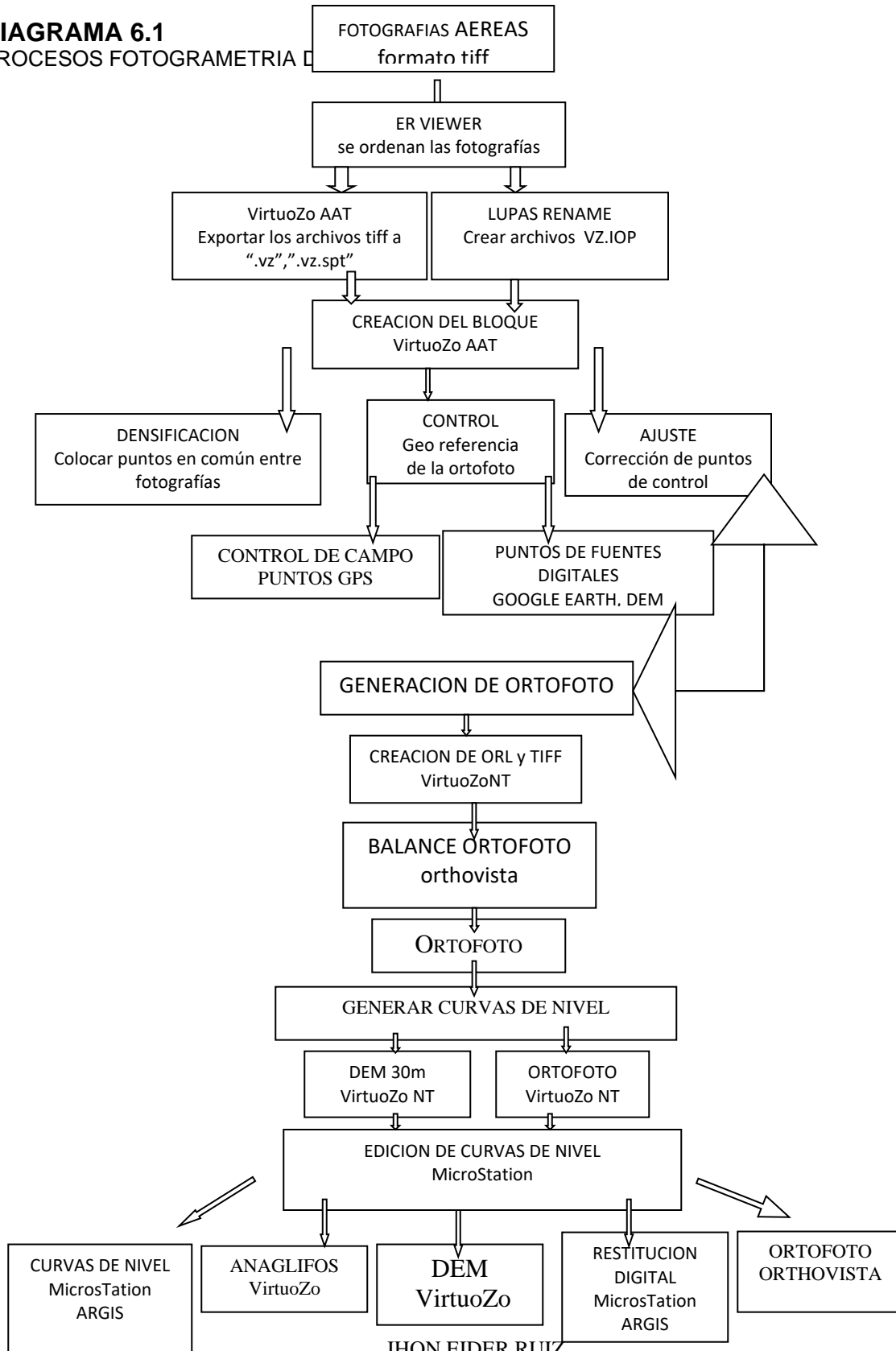
6.1 Trabajo de oficina: Asistencia en la elaboración de modelos de elevación digital, orto fotos y restitutiones en la empresa QRE lo cual estaba conformada por los siguientes pasos:

- **Asignación de trabajo:** en el momento de la adquisición del proyecto se asigna a uno o dos personas el montaje, la generación, el control, el ajuste del bloque, y la generación de las orto fotos
- **Generación de los bloques**
Una vez se tienen las fotos en formato tiff se comienzan a ordenar en forma consecutiva de forma ascendente o descendente según lo amerite para generar el bloque esto se realiza con el programa VIRTUOSO.
- **Densificación de bloques**
Se colocan entre fotos puntos en común de forma distribuida de tal forma que estos puntos unan fotos y también unan líneas.
- **Control de bloques**
Por cada línea de vuelo se deben ubicar mínimo tres puntos de control los cuales poseen información de coordenadas y cotas los cuales se obtienen de modelos de elevación digital, fotos satelitales o puntos de control tomados con GPS según sea necesario. Para esto se necesita manejar ER MAPER o un programa que facilite esta información y permita la posterior verificación como GOOGLEPRO.
- **Ajuste de bloques**
Una vez se termina el control se debe verificar que los puntos de densificación y control sean correctos para lo que se hace necesario la ejecución de una aplicación del VIRTUOSO llamado PATB el cual muestra la información del bloque y sus respectivos puntos.
- **Generación de modelos de vituozo (archivo ORL) y Generación de orto fotos (formato tiff)**
Una vez ajustado el bloque se procesa la información con ayuda del VIRTUOZO NT

- Balance de las orto fotos
Con la información procesada se procede a realizar la orto foto con ayuda del programa ORTHOVISTA.

En el siguiente diagrama se presenta el procedimiento general para la elaboración de ortofotos.

DIAGRAMA 6.1
PROCESOS FOTOGRAMETRIA



6.2 Trabajo de campo: Manejo de equipos de alta precisión tales como GPS, libretas y radios de control en la toma de puntos de control.

Esta actividad se desarrolla cuando los proyectos en ejecución necesitan puntos de control para la generación de modelos de elevación lo cual comprende principalmente:

- Reconocimiento del terreno
Se debe visitar el área que va a ser parte del proyecto para evaluar las posibles rutas y recorridos que se harán para la toma de información.
- Instalación de GPS base
Se debe realizar la instalación de un GPS base en un lugar estacionario el cual debe durar como mínimo 8 horas diarias tomando datos para realizar los ajustes en el pos-proceso y se realice el ajuste del RTK
- Desplazamiento con los GPS rover, Toma de información tipo RTK(con libreta), Toma de información pos-proceso(datos internos GPS)

Se deben tomar los puntos de control en lugares estratégicos que sean visibles desde el aire para esto se realiza la toma de 2 tipos de archivo RTK y pos-proceso

- Descarga de la información por medio de STARUTIL y transformación a archivos RINEX

La información de cada GPS de acuerdo a la marca y el modelo se presenta en archivos no legibles por esto se hace necesario la conversión de la información a archivos tipo RINEX los cuales tienen una presentación estándar ideal para mandarla al pos-proceso.

6.3 Procedimiento realizado para generación de orto fotos.

Recursos iniciales:

- Modelo de elevación digital 30 m propiedad QRE
- Imagen satelital Landsat P09R59 y P09R60
- Cartografía Agustín Codazzi
- Puntos de control GPS en formato DXF tomados con GPS sf 20-40
- Restituciones digitales base de datos QRE
- Fotografías aéreas Agustín Codazzi

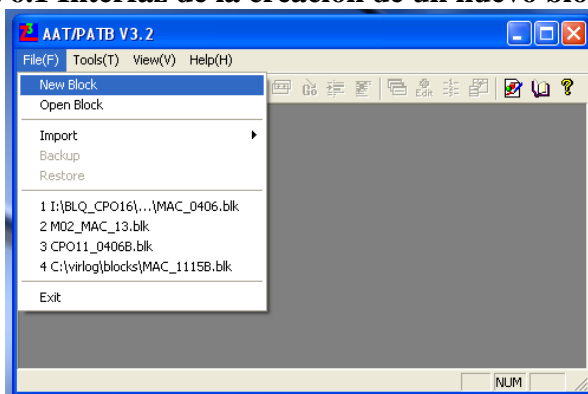
Primero que todo se debe analizar las fotografías para proponer la secuencia más idónea de organizar los bloques. Pues los bloques no deben tener demasiadas líneas, ni tampoco las líneas demasiadas fotos.

El proceso realizado en el trabajo de las orto fotos se realiza con un software llamado VirtuoZo AAT.

6.3.1 Montaje De Bloques

- Crear el bloque

Figura 6.1 Interfaz de la creación de un nuevo bloque



- crear un archivo de puntos de paso adicionándole a la ruta anterior un la terminación “.PAS” Se copia el nombre del archivo de la cámara donde especifica la distancia focal y el tamaño del pixel, además se define la escala de la fotografía.

Figura 6.2 Interfaz en la asignación de ruta del bloque.

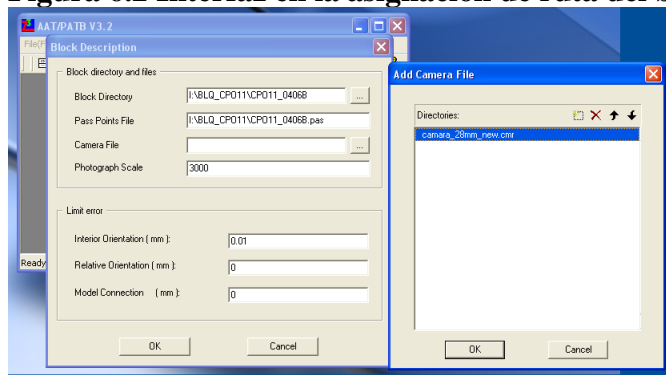
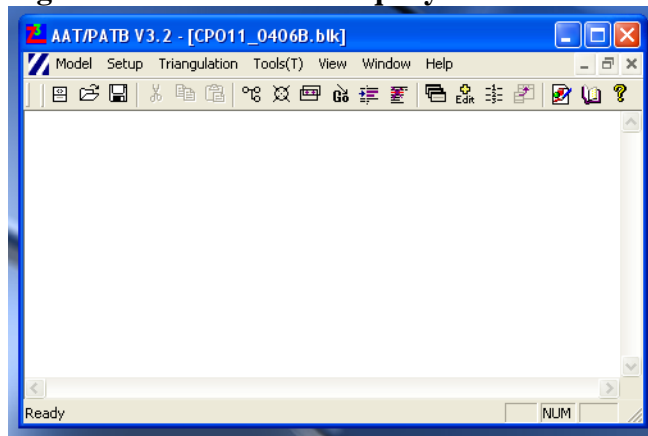
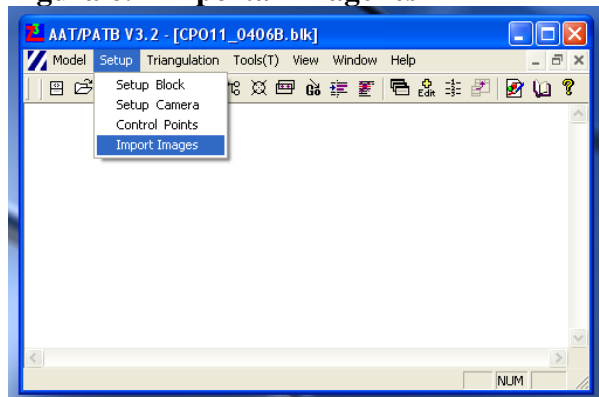


Figura 6.3 Interfaz del bloque ya definido



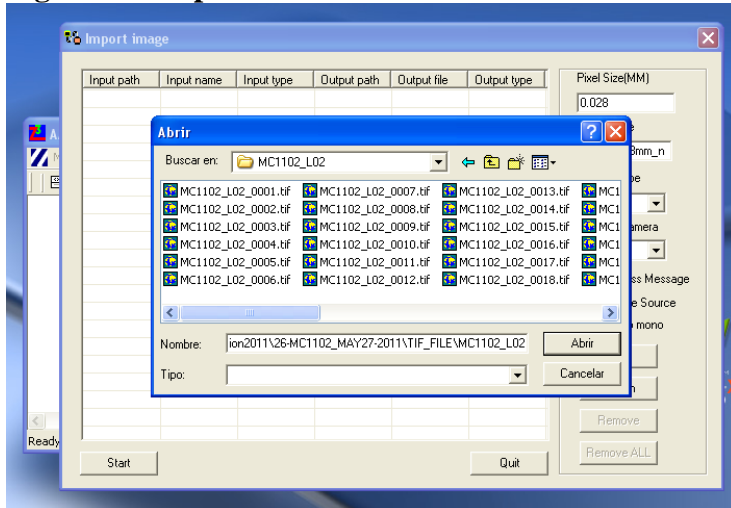
- Teniendo las fotos de la cámara digital en formato tiff, se hace necesario transformarlas a un tipo de archivo “.vz” y “.vz.spt” que requiere el programa, para lo cual se importan estas imágenes
- Ubicar en setup-Import Images.

Figura 6.4 Importar imágenes



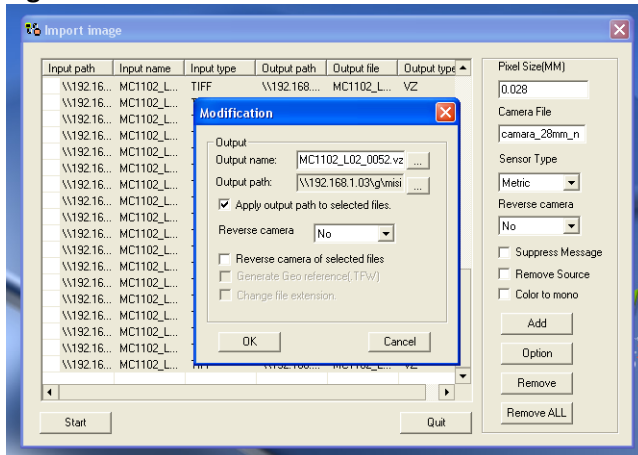
- Definir el tamaño del pixel y se busca la ruta de las imágenes a importar

Figura 6.5 Importando fotos



- cargar las fotografías
- seleccionar todas las tiff, dar doble click y aparece el siguiente recuadro donde se especifica la ruta de salida de los archivos que voy a crear.

Figura 6.6 Definición de la ruta de salida

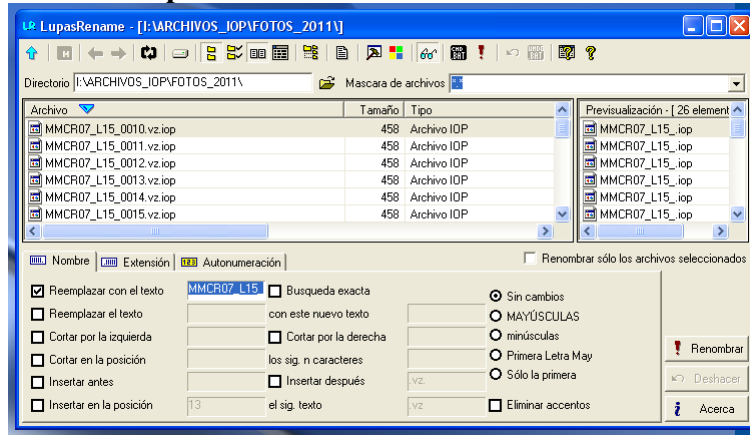


- Ahora se requieren unos archivos de extensión “.vz.iop” en los cuales están alojados los parámetros de orientación relativa, orientación externa y orientación absoluta

Para esto se usa un software llamado lupasrename.

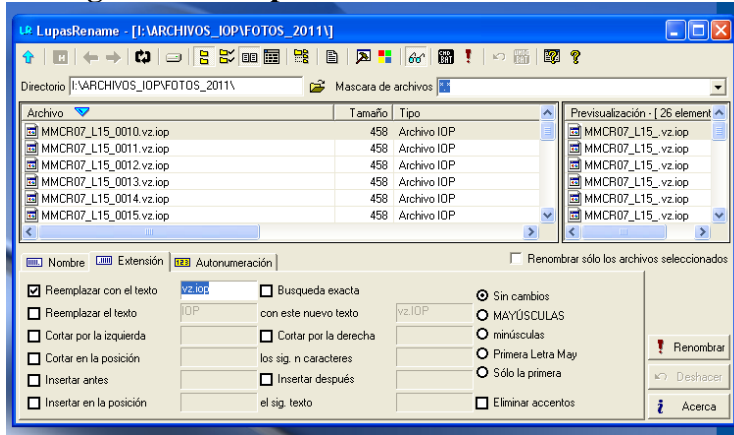
- Copiar el nombre de la fotografía. pegar en la casilla y se da reemplazar con el texto.

Figura 6.7 Interfaz Lupasrename



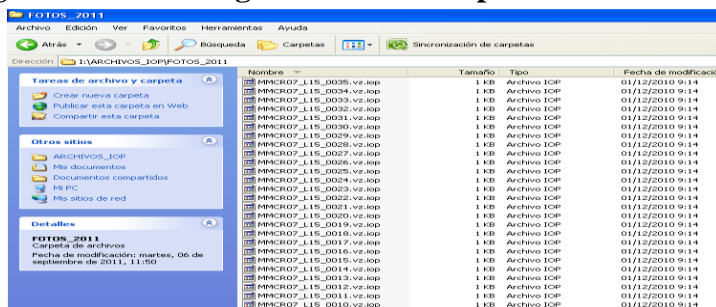
- seleccionar el tipo de archivo que se desea generar, en este caso el “.vz.iop”

Figura 6.8 Asignación del tipo de archivo



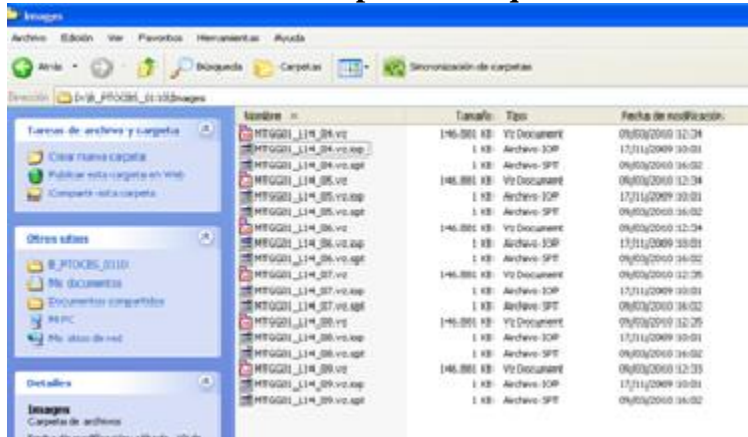
- Numerar después del nombre y renombrar
- Generados los siguientes archivos se copian y se pegan con los archivos generados anteriormente.

Figura 6.9 archivos generados con Lupasrename.



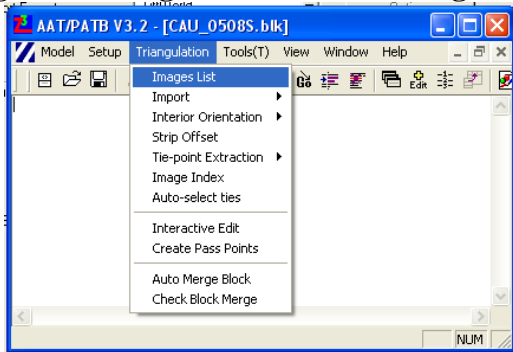
- se tiene la carpeta con tres archivos de terminación “.vz”, “.vz.spt” y “.vz.iop”

Figura 6.10 archivos necesarios para el bloque



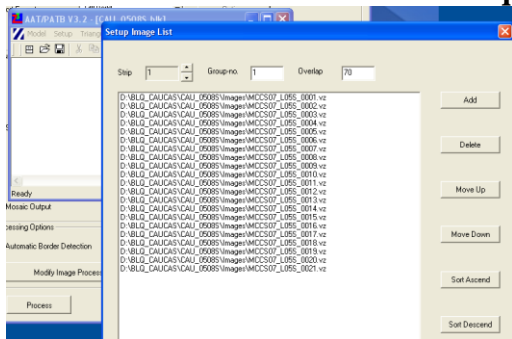
- Ordenar el bloque por medio de líneas dar Triangulation- Images List

Figura 6.11 organización de las fotografías



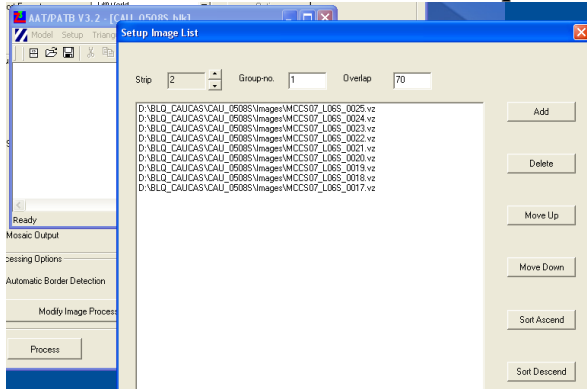
Aparece esta interfaz en la cual se arrastran los archivos creados con la extensión “.vz” se seleccionan todos y se le da el orden ascendente o descendente (sort ascend o sort descend) de acuerdo como haya recorrido el avión.

Figura 6.12 creación de las líneas del bloque



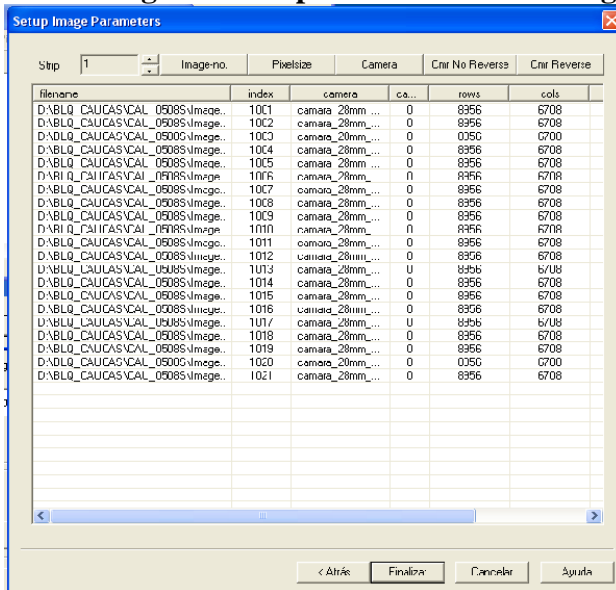
Continuar así hasta montar el número de líneas deseado.

Figura 6.13 creación de las líneas del bloque



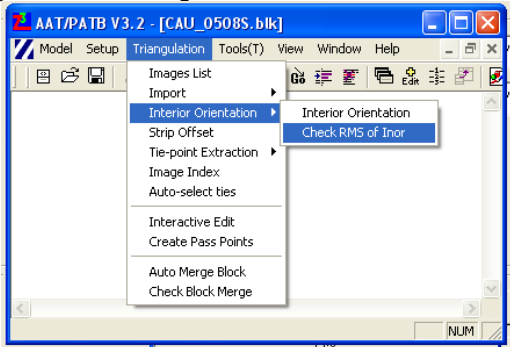
- Asignar parámetros de numeración de las fotos donde se especifica la misión, la línea y el número de fotos.

Figura 6.14 Asignación de parámetros de las fotografías



- chequear que todos los archivos creados estén bien generados y completos.

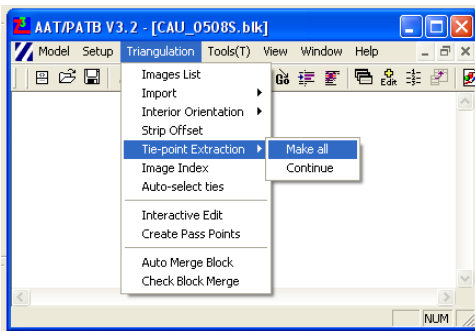
Figura 6.15 chequeo de los archivos



➤ **Generar el bloque**

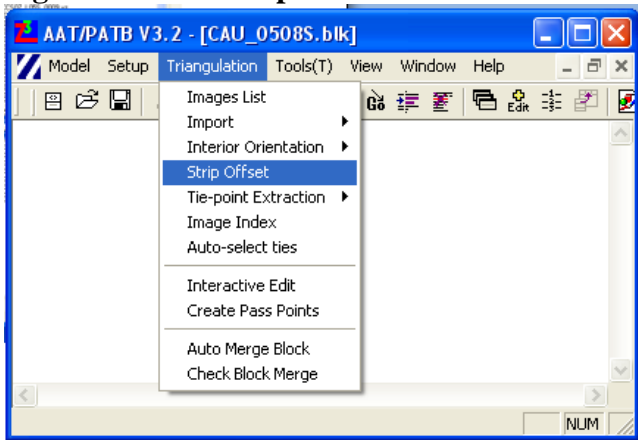
En esta fase del proceso el programa realiza cálculos de ángulos de inclinación horizontal, vertical y en el plano de la fotografía. Además genera puntos en común entre fotografías.

Figura 6.16 Generación de los puntos entre fotos



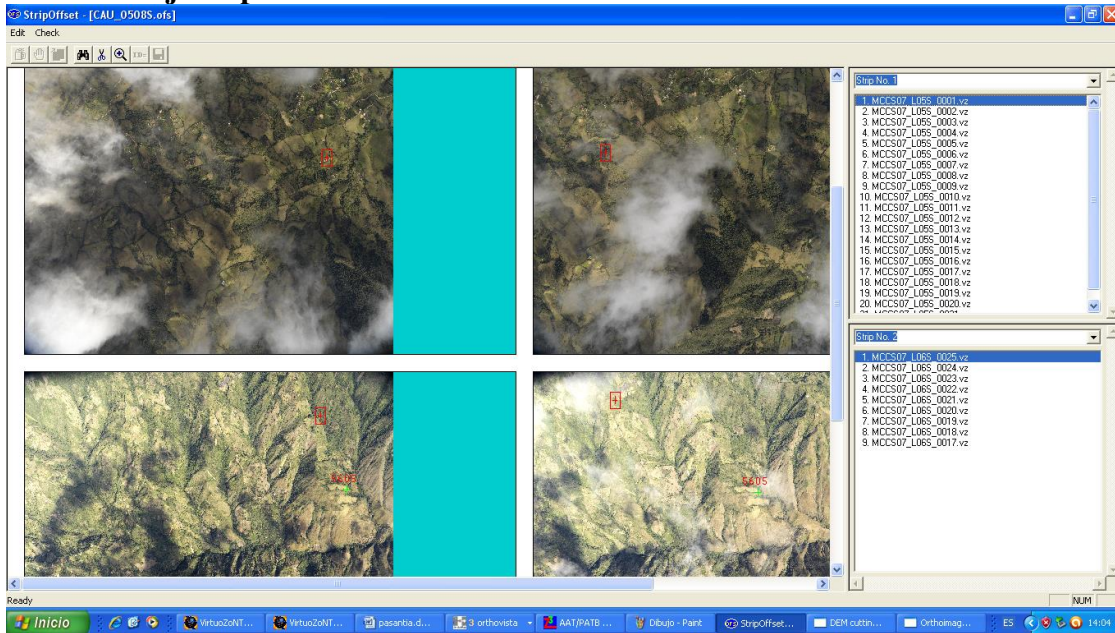
➤ **Ubicar manualmente los puntos en común entre líneas “strip offset” se ubica generalmente un punto cada dos fotografías.**

Figura 6.17 colocar puntos entre líneas



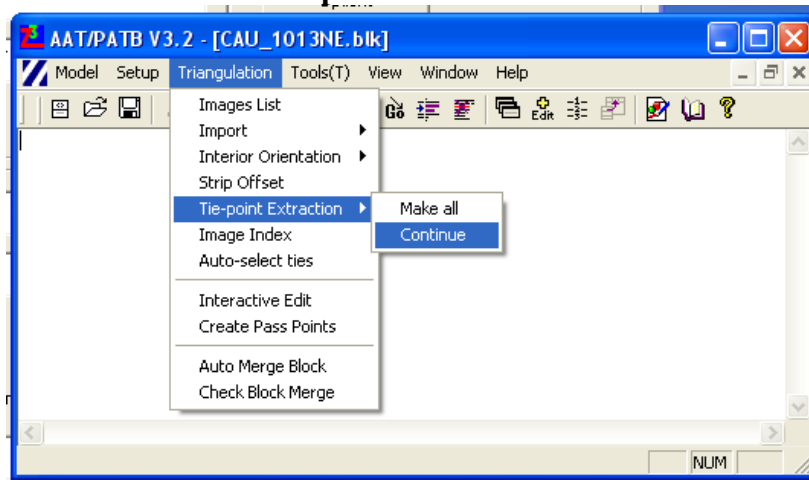
- Abrir la ventana donde muestra las fotografías de la línea 1 y la línea 2
Linea1 arriba y línea 2 abajo, solo muestra dos fotografías consecutivas de cada línea
los cuadros rojos son la ubicación de cada punto que se ha realizado

Figura 6.18 Montaje de puntos entre línea



- con los “strip-offset” colocados manualmente dar Continue
Este proceso se realiza para que con los puntos ubicados manualmente, el programa genere otros puntos entre líneas con mayor precisión.

Figura 6.19 Generación de puntos entre líneas



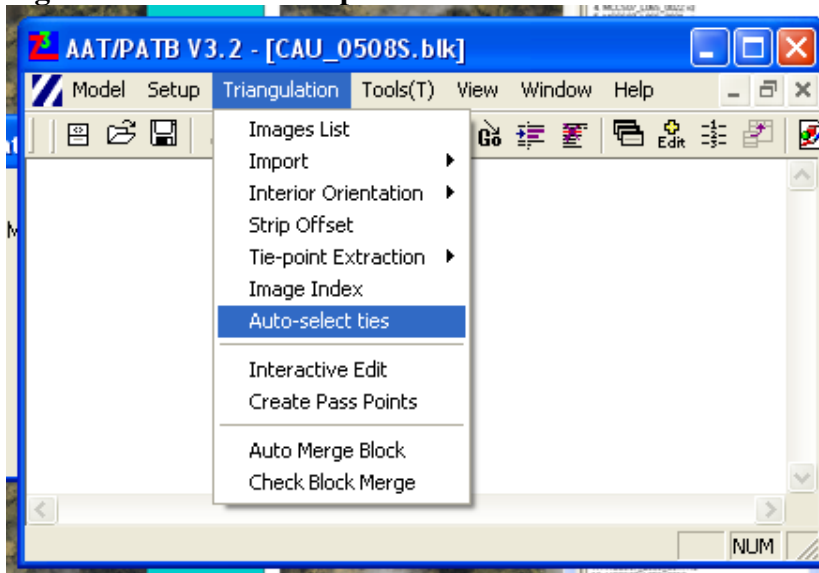
Ahora el bloque ya está montado solo que el programa puede haber colocado algunos puntos mal, entonces se hace necesario realizar una escogencia de puntos los cuales se hacen automáticamente.

Figura 6.20 bloque montado



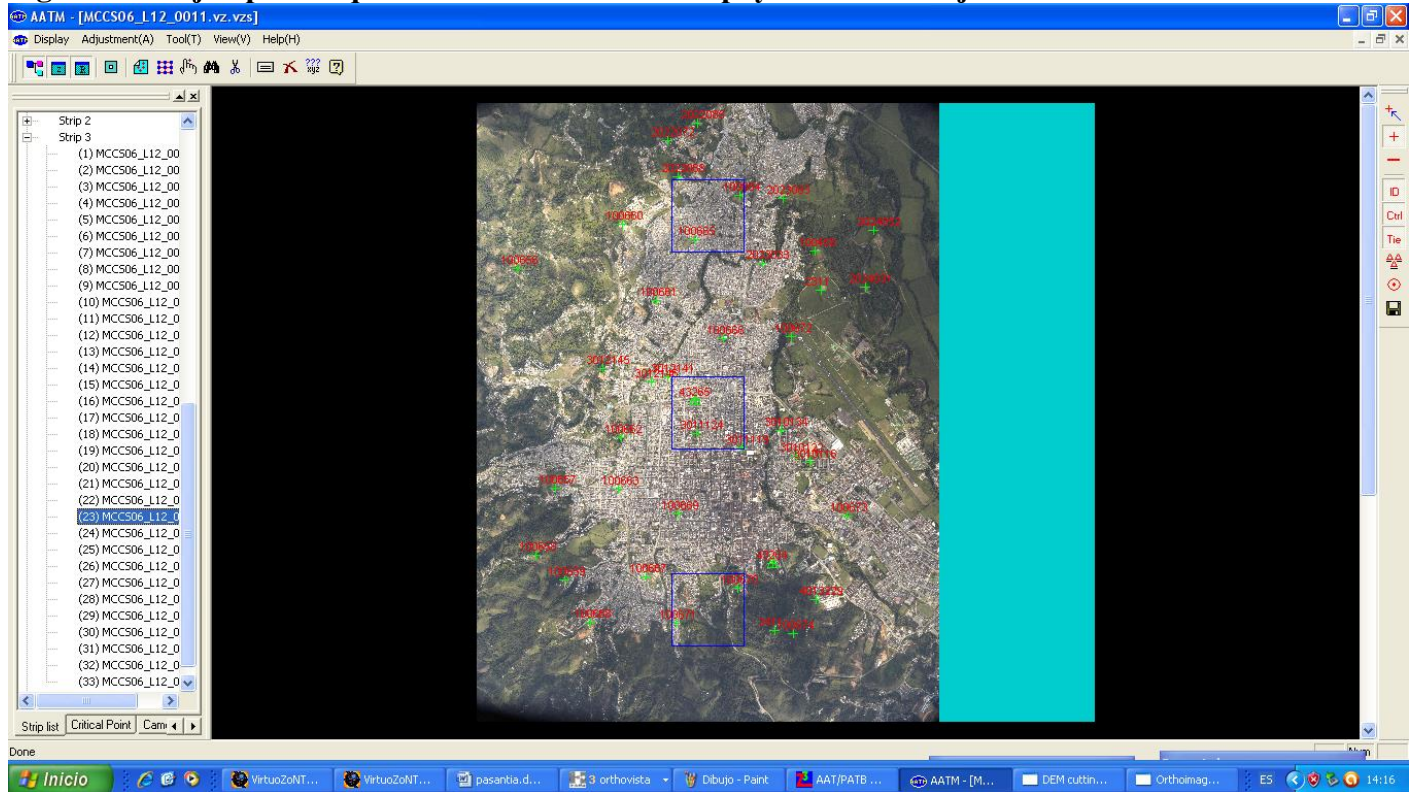
➤ Realizar el Auto – select ties

Figura 6.21 selección de puntos



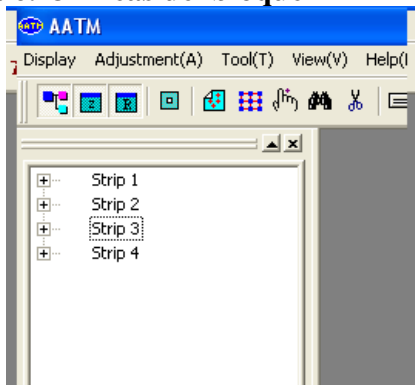
Una vez realizado este proceso ya tenemos nuestro bloque montado

Figura 6.22 Ejemplo Bloque montado “ciudad de Popayán en el trabajo de cauca”



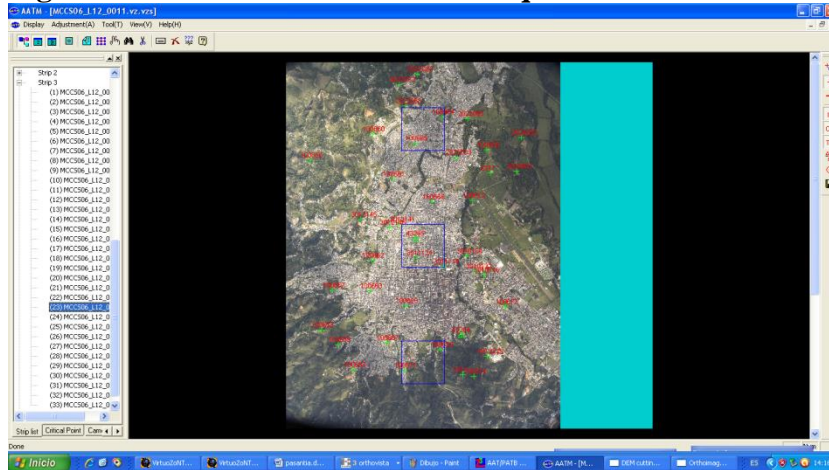
En la parte superior izquierda aparecen las líneas que conforman el bloque.

Figura 6.23 líneas del bloque



Si despliego las líneas y selecciono una foto presenta la siguiente interfaz.

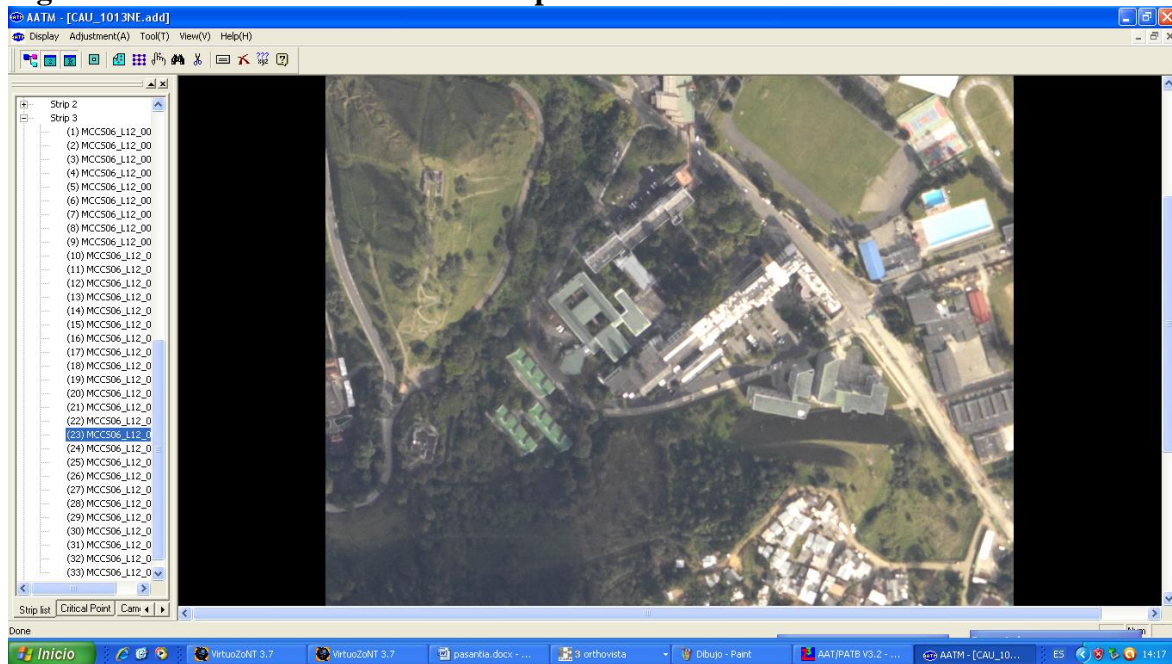
Figura 6.24 visual de una foto del bloque.



El botón + ubicado en la parte superior derecha sirve para ubicar puntos en común entre fotografías, donde el programa no lo haya podido colocarlos porque no fue capaz de correlacionar los pixeles

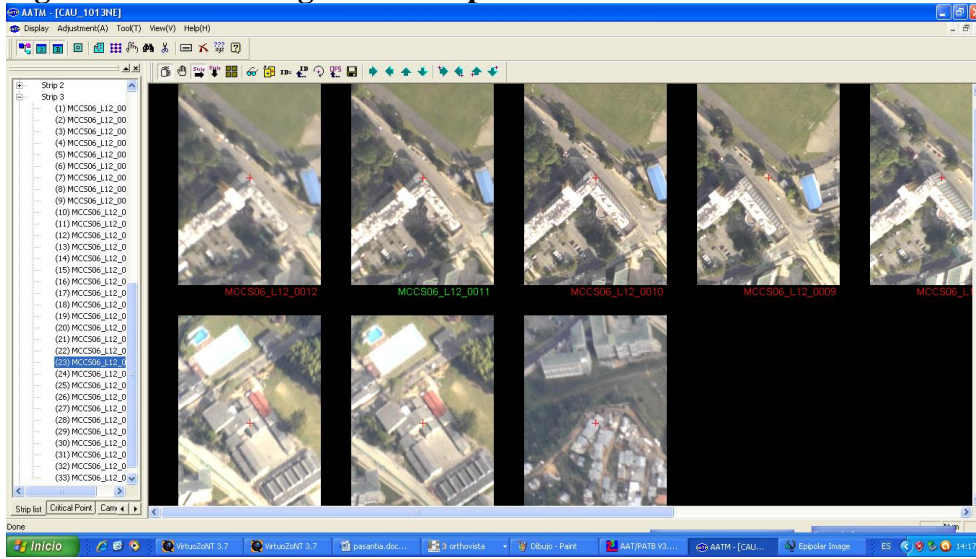
- Al dar click sobre la fotografía me da un zoom así (click sobre UNICAUCA)

Figura 6.25 .visual de zoom colocando puntos



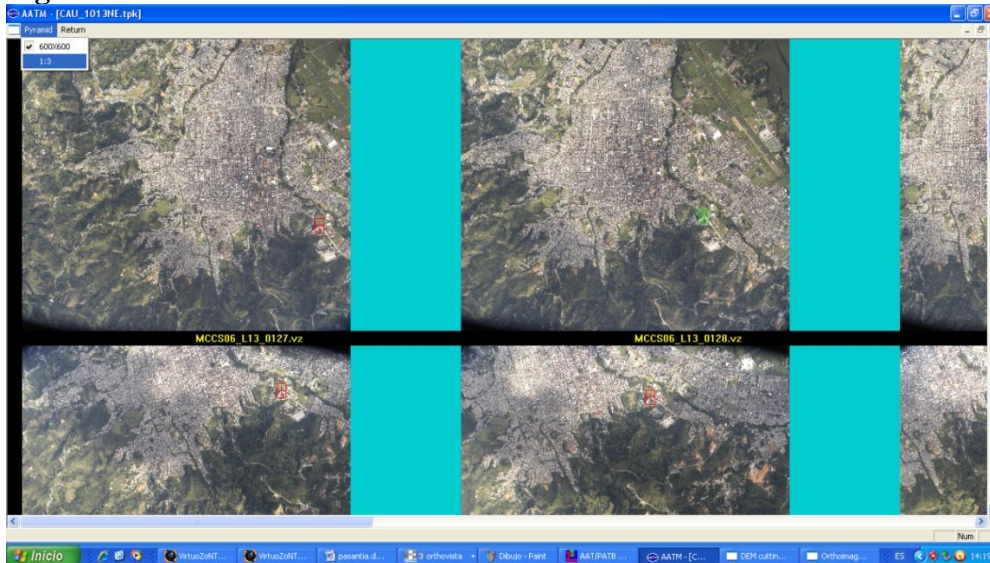
- Al dar nuevamente click sobre la imagen automáticamente el programa llama las fotos que contengan el punto en el cual se le dio click
Pero el punto está mal puesto la mayoría de veces entonces se coloca manualmente.

Figura 6.26 Fotos cargadas en un punto



Para ayudarnos a buscar el punto se cuenta con 2 tipos de zoom
1/3y 600*600

Figura 6.27 fotos con zoom



- Ubicar el punto manualmente se selecciona las fotos que se desea que contenga este punto las otras se bloquean
(Punto ubicado en la esquina superior de la facultad de ing civil)

Figura 6.28 selección de fotografías.

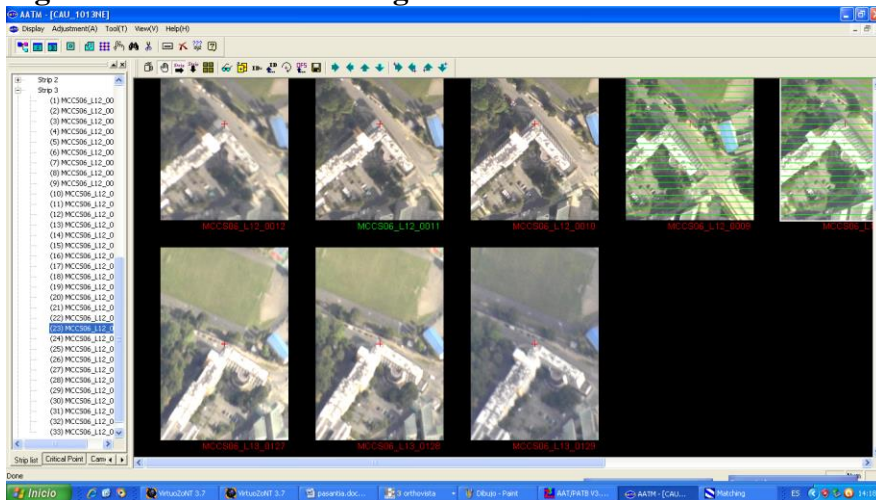


Figura 6.29 El morro Popayán

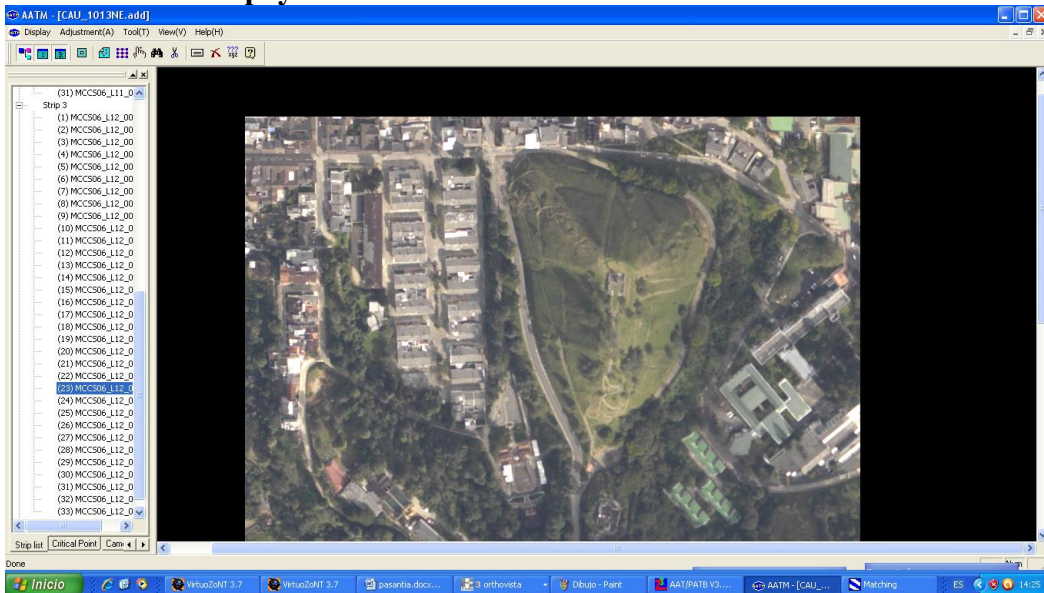


Figura 6.30 Deprimido la esmeralda Popayán.

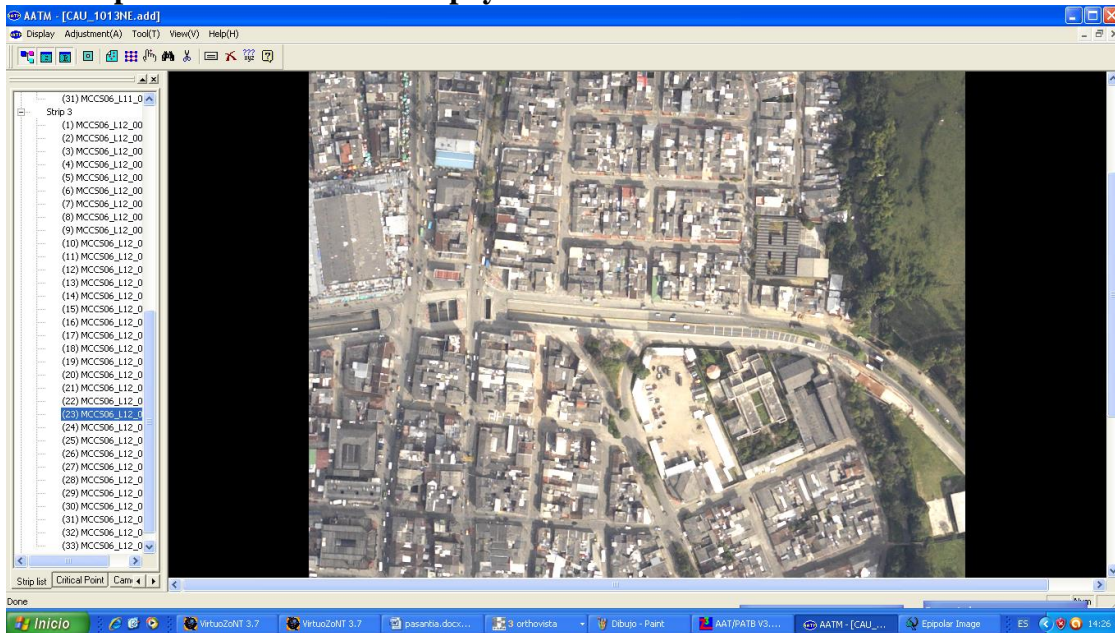


Figura 6.31 Parque caldas Popayán

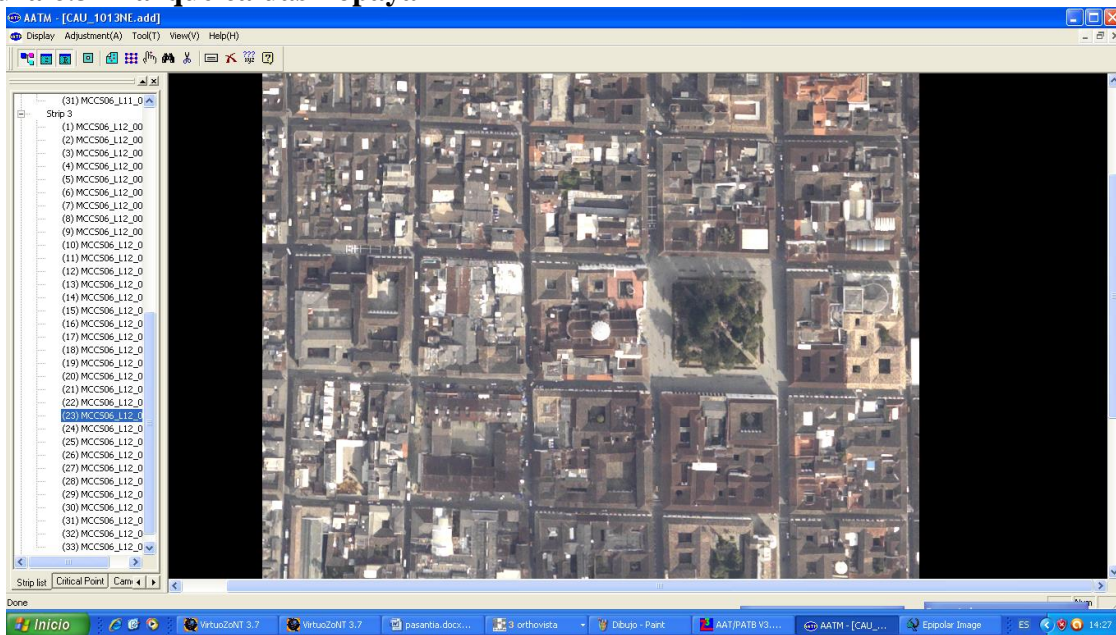
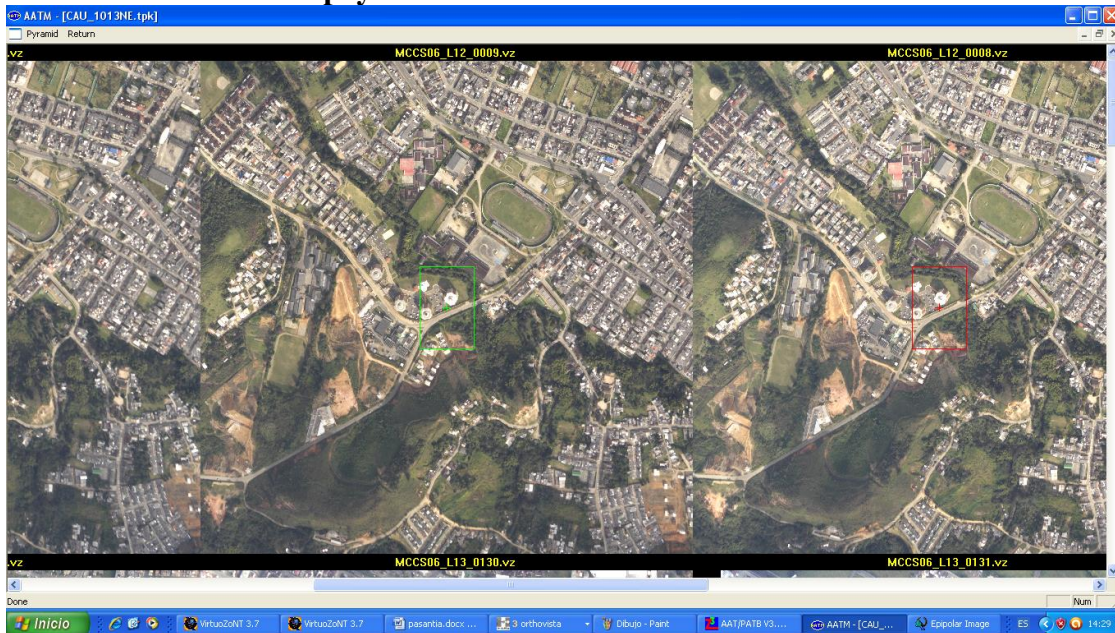


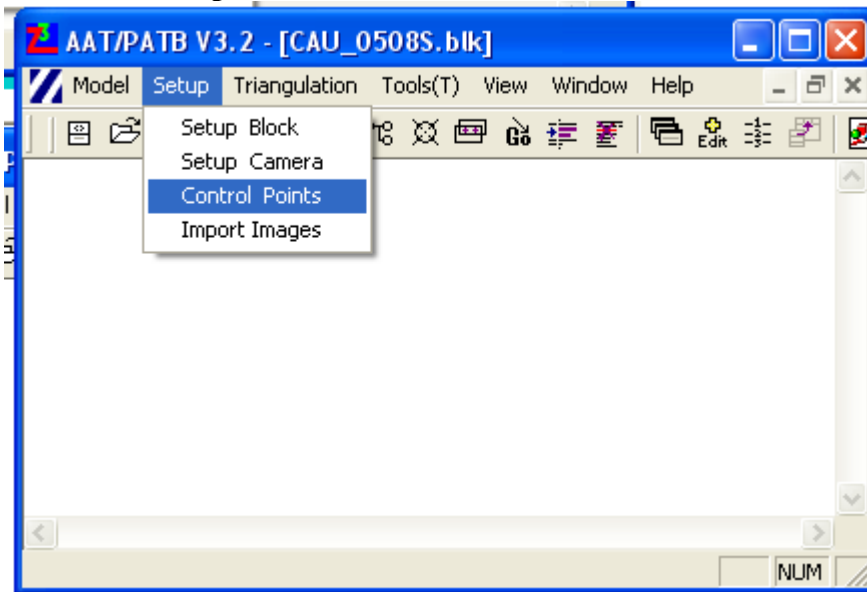
Figura 6.32 Salida al Huila Popayán



6.3.2 CONTROL DE BLOQUES

Una vez este montado el bloque se debe georeferenciar para otorgarle las coordenadas a la orto foto para esto se deben colocar puntos de control.

Figura 6.33 colocar puntos de control



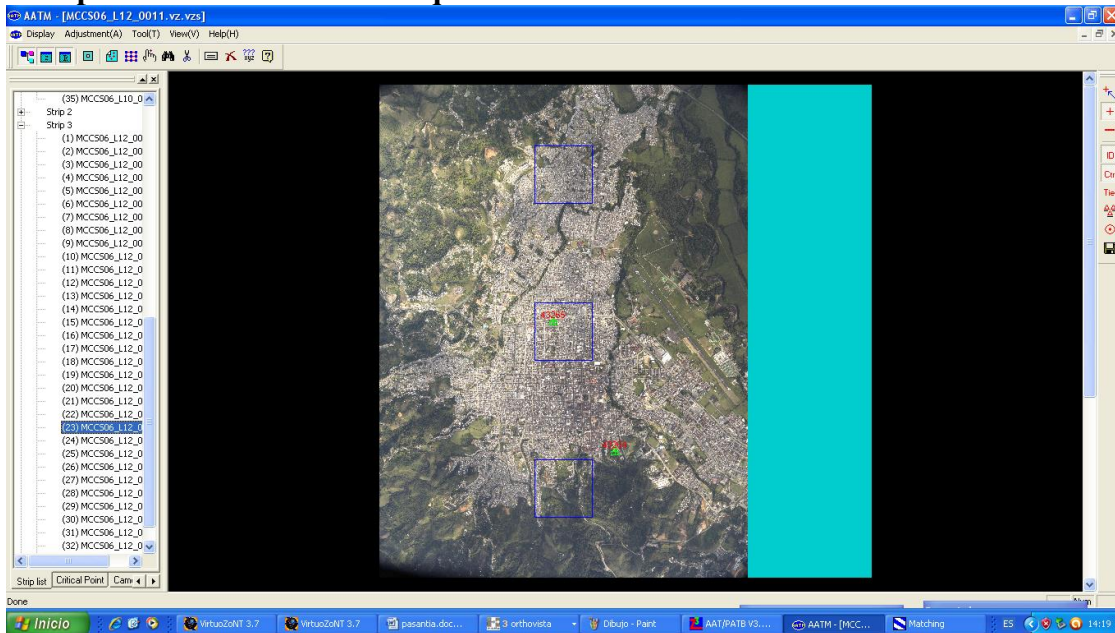
En estos puntos se colocan las coordenadas x,y,z.

Figura 6.34 Asignación de coordenadas en los bloques

Point	X	Y	Z	Hori.	Vert.
43002	658067.726000	649913.630000	1723.231000	1	1
43003	658322.974000	650590.913000	1662.794000	1	1
43004	657095.994000	651301.733000	1496.864000	1	1
43005	655593.635000	651761.156000	1137.692000	1	1
43006	658351.980000	651782.787000	1392.620000	1	1
43007	658988.065000	651482.689000	1327.503000	1	1
43008	662924.487000	652667.388000	1505.129000	1	1
43009	665614.418000	656175.889000	1720.277000	1	1
43010	665852.704000	655533.305000	1916.906000	1	1
43011	667225.288000	656712.435000	1897.173000	1	1
43012	669289.510000	659224.725000	1940.735000	1	1
43013	671828.707000	663671.148000	2282.251000	1	1
43014	670929.633000	664108.720000	2427.756000	1	1
43015	672896.132000	668526.742000	2453.175000	1	1
43016	673463.606000	671516.234000	2506.012000	1	1
43017	672515.635000	673684.473000	1929.857000	1	1
43018	673496.953000	676519.085000	1718.488000	1	1
43019	666560.567000	678178.901000	1603.259000	1	1
43020	669016.543000	677722.015000	1652.926000	1	1
43021	664132.702000	675788.663000	1444.329000	1	1
43022	659662.078000	675903.067000	1279.475000	1	1
43023	658849.328000	671919.884000	1374.964000	1	1
43024	659891.090000	669583.738000	1727.145000	1	1
43025	656244.017000	668333.840000	1845.050000	1	1

Estas coordenadas pueden ser obtenidas de programas como google earth o de una imagen satelital cuando la precisión de la orto foto no es muy exigente; pero cuando se necesita precisión se realiza un control de campo con GPS sf-2040 y sf-2050.

Figura 6.35 punto de control en el bloque



Cuando se hace control de campo el programa nos da una ubicación previa en el bloque, pero se deben ajustar todos los puntos manualmente para encontrar la ubicación correcta y lograr la mayor precisión.

Figura 6.36 punto previo

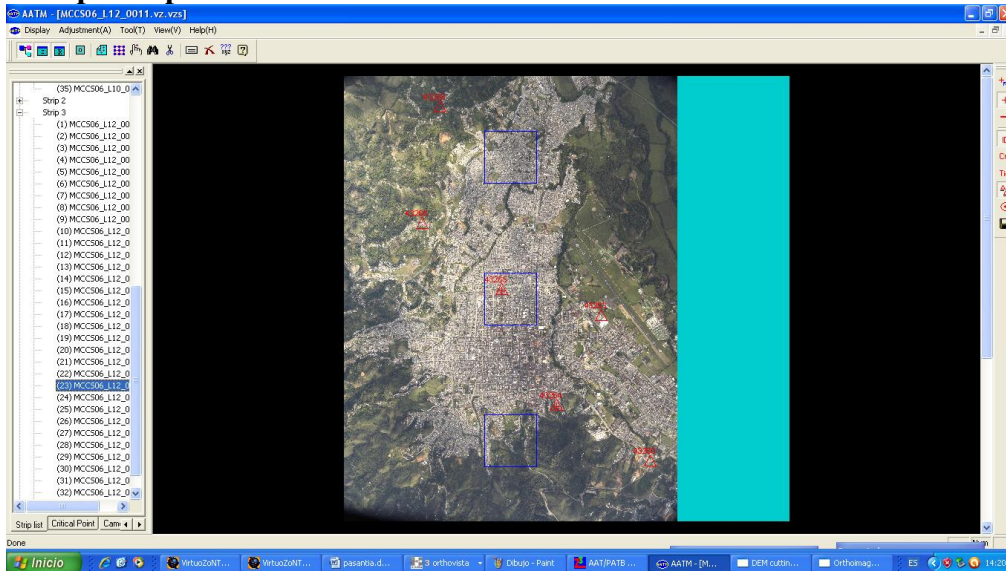


Figura 6.37 Distribución de los puntos de control y puntos de densificación a lo largo de un bloque (vista isométrica).

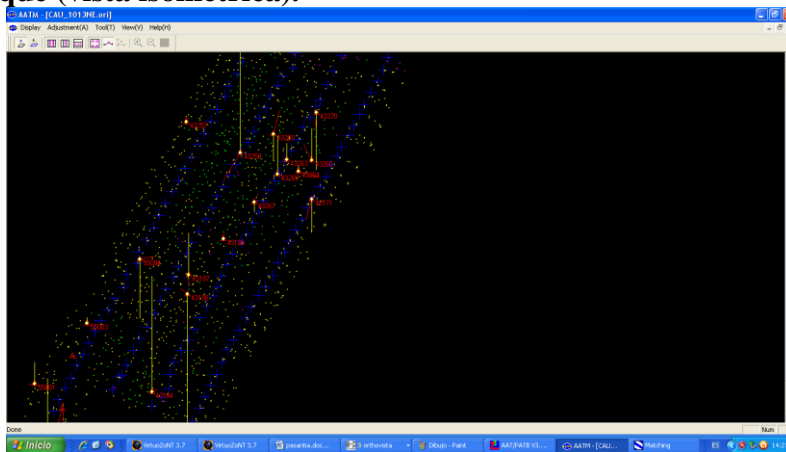
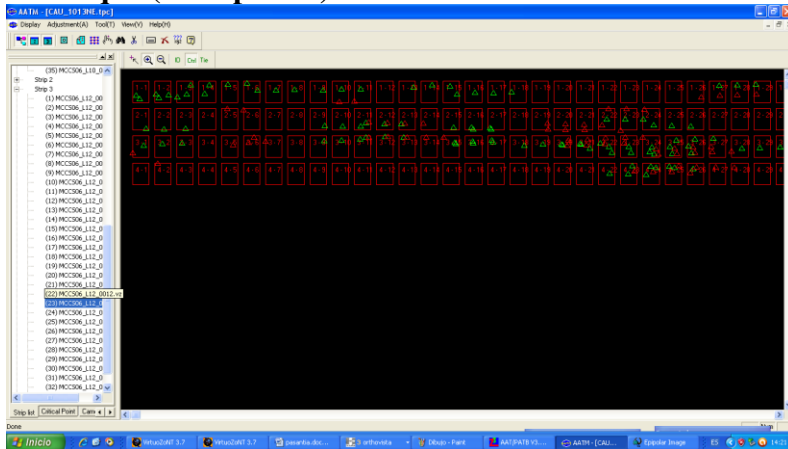
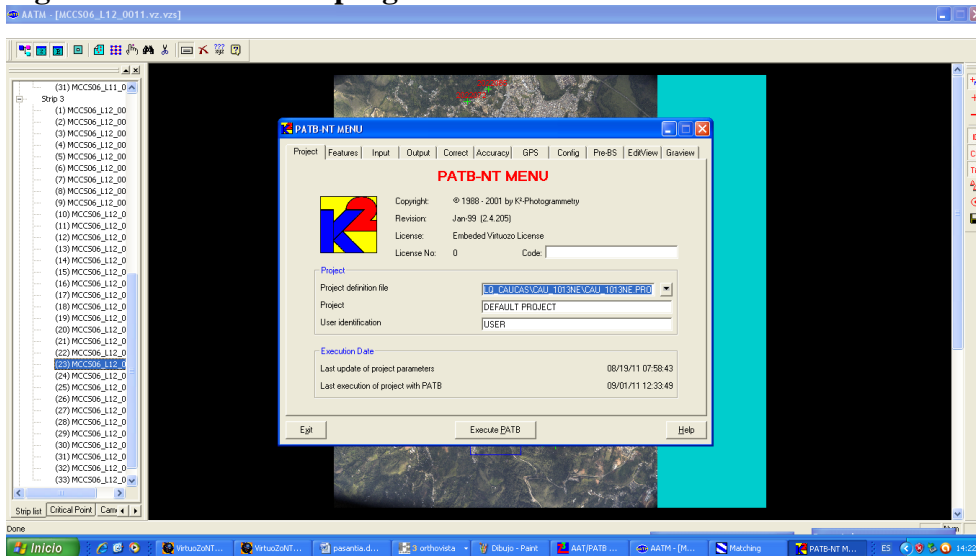


Figura 6.38 Distribución de los puntos de control y puntos de densificación a lo largo de un bloque (vista planta).



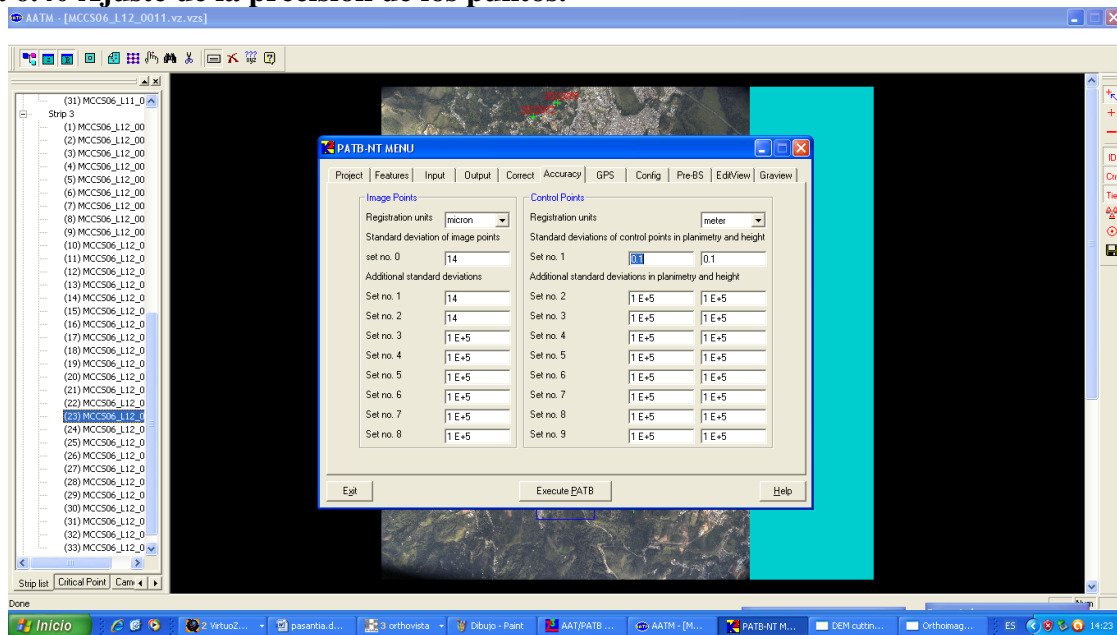
6.3.3 AJUSTE DEL BLOQUE

Figura 6.39 interfaz del programa PATB



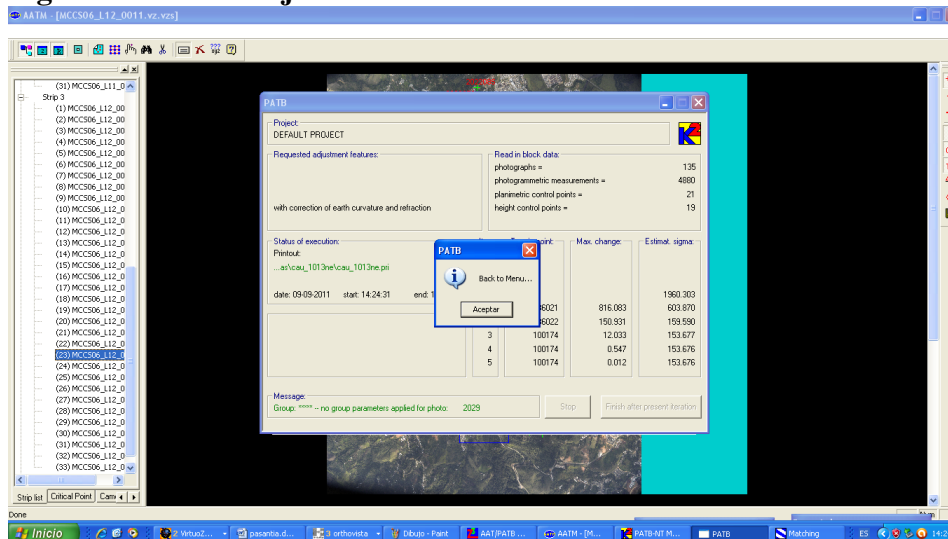
Este ajuste se realiza para verificar que los puntos de densificación estén bien colocados y para verificar que las coordenadas de los puntos estén bien puestas. Para encontrar los posibles puntos defectuosos se debe jugar con la precisión de los puntos a evaluar.

Figura 6.40 Ajuste de la precisión de los puntos.



Este ajuste debe estar por debajo de 50 para lograr una buena precisión en la orto foto.

Figura 6.41 Fin de ajuste



Para este ajuste se puede ver la precisión que posee cada punto de control y la precisión de cada uno de los puntos de densificación.

Figura 6.42 precisión de un punto de control

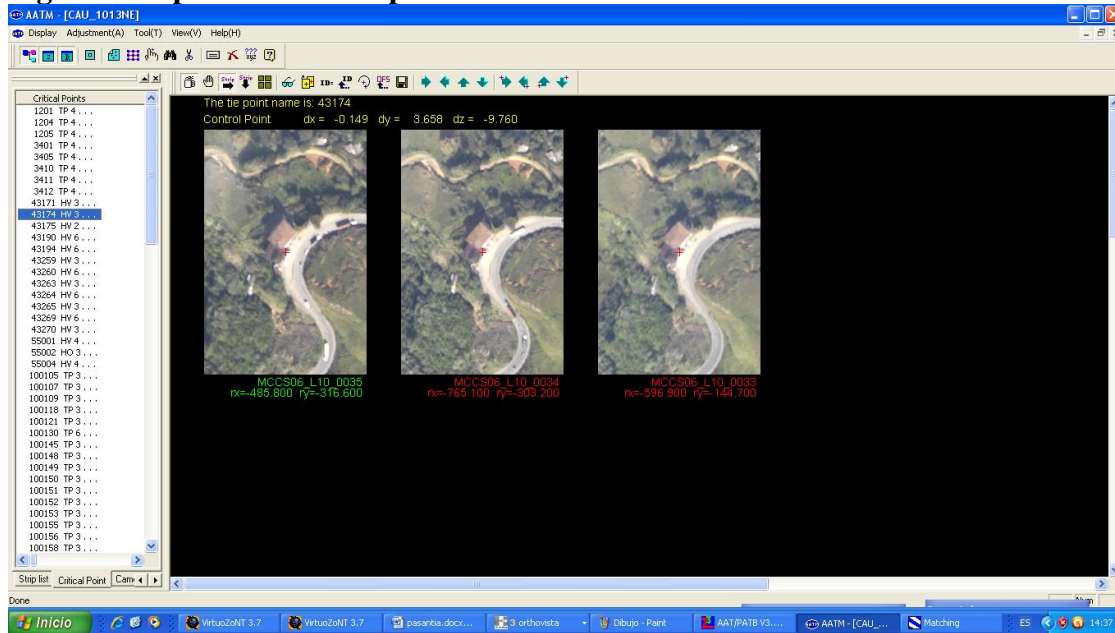
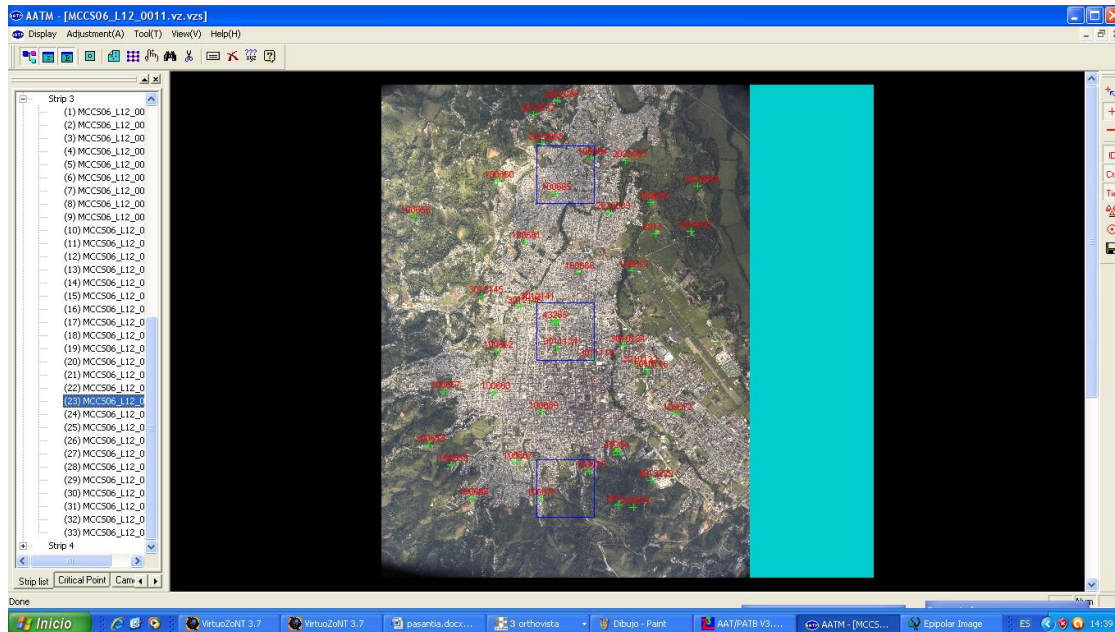


Figura 6.43 Visual de una buena distribución de puntos de control y densificación.



6.3.4 GENERACION DE LOS ARCHIVOS ORL.

Para generar la orto foto se necesita crear unos archivos orl que contienen la información que incluida en los bloque, este proceso se realiza con virtuoZoNT 3.7

Figura 5.44 INTERFAZ virtuoZo NT 3.7

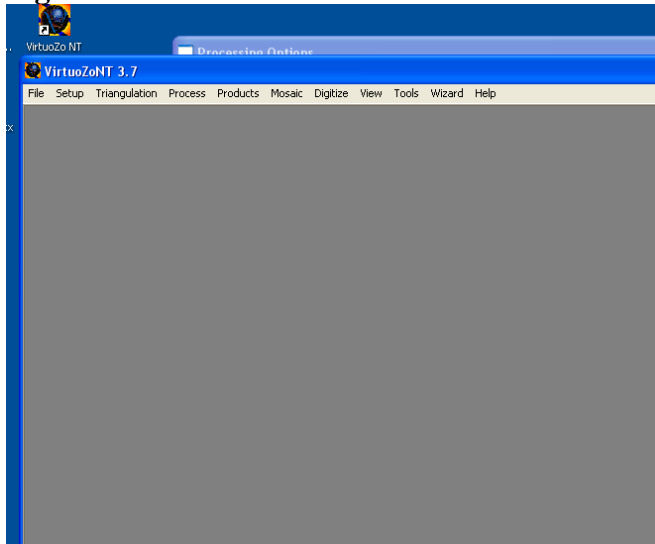


Figura 6.45 fotos cargadas para crear orl.

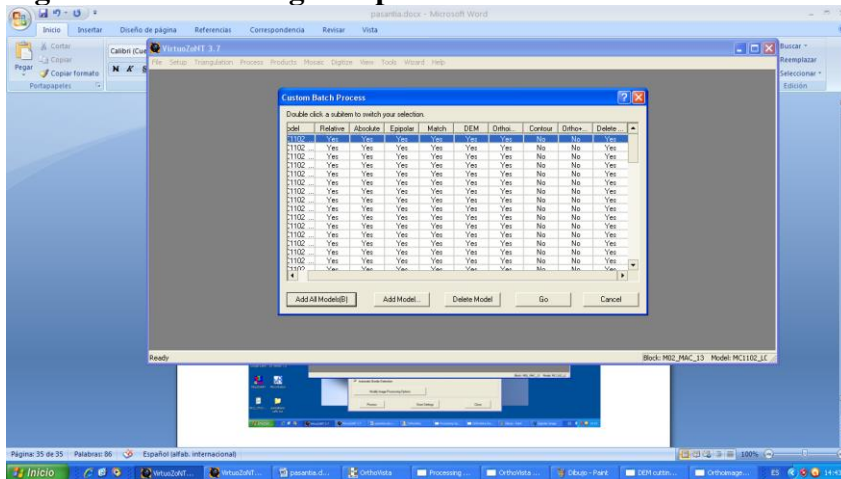
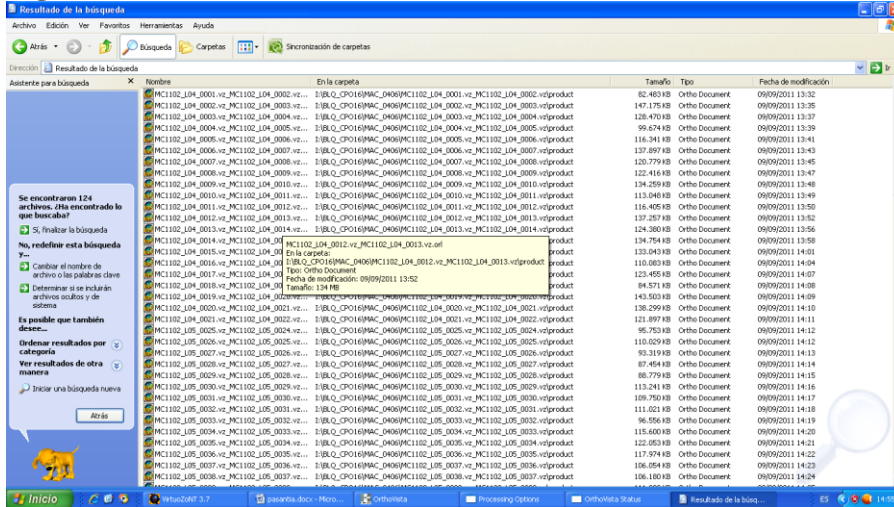


Figura 6.46 archivos orl.



Después se generan las tiff del bloque, para esto se exportan las orl.

Figura 6.47 Exportando orl.

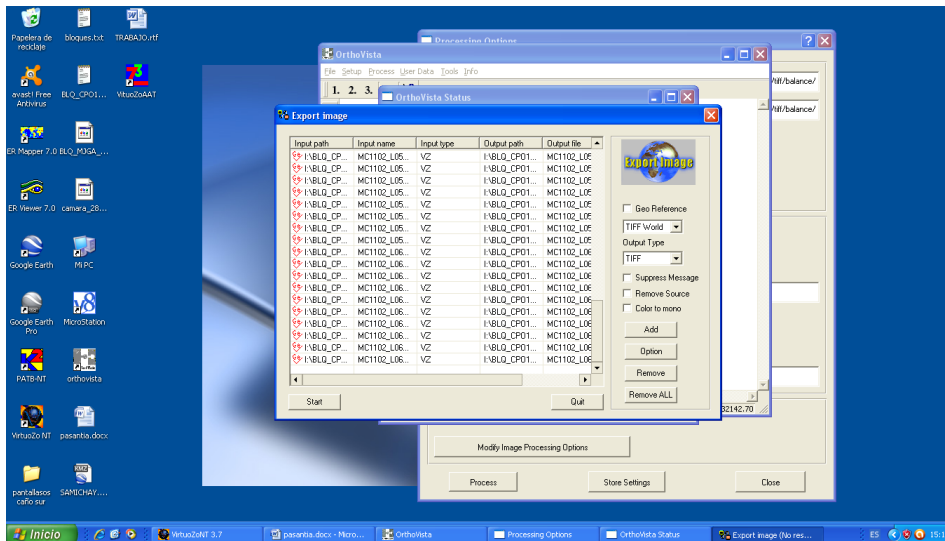
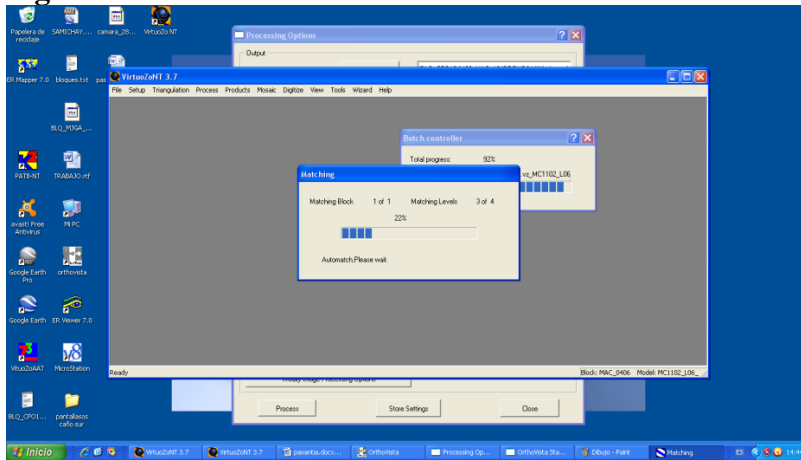


Figura 6.48 Generando tiff.



6.3.5 BALANCE DEL BLOQUE

En este proceso se unen las fotos individuales y se fusionan con lo cual se genera la orto foto.

Figura 6.49 tiff cargadas en orthovista

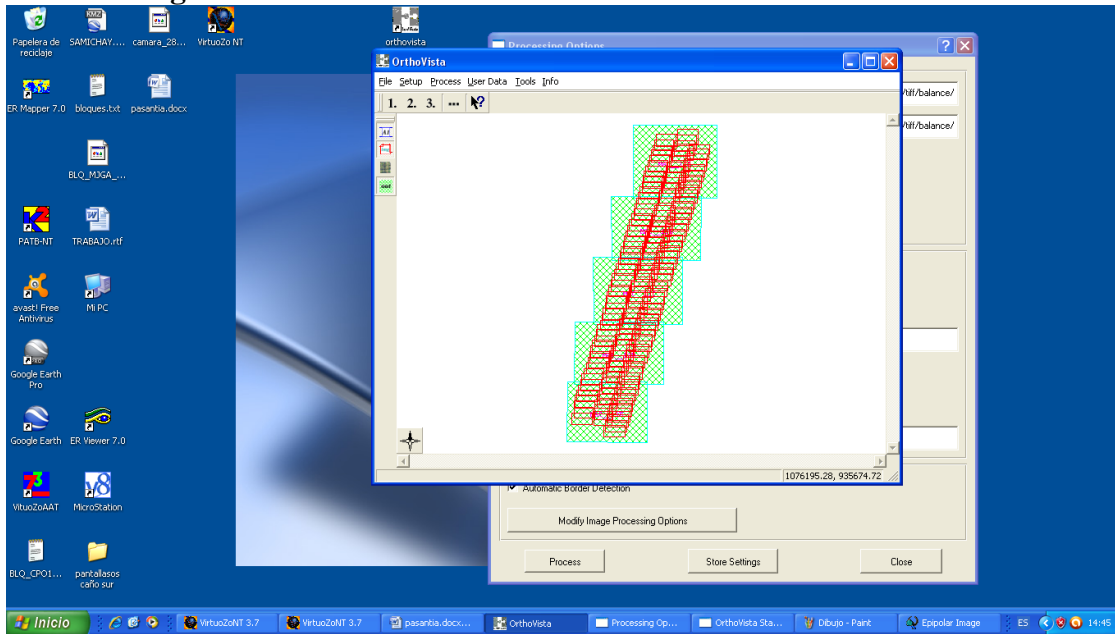


Figura 6.50 propiedades de la orto foto a balancear.

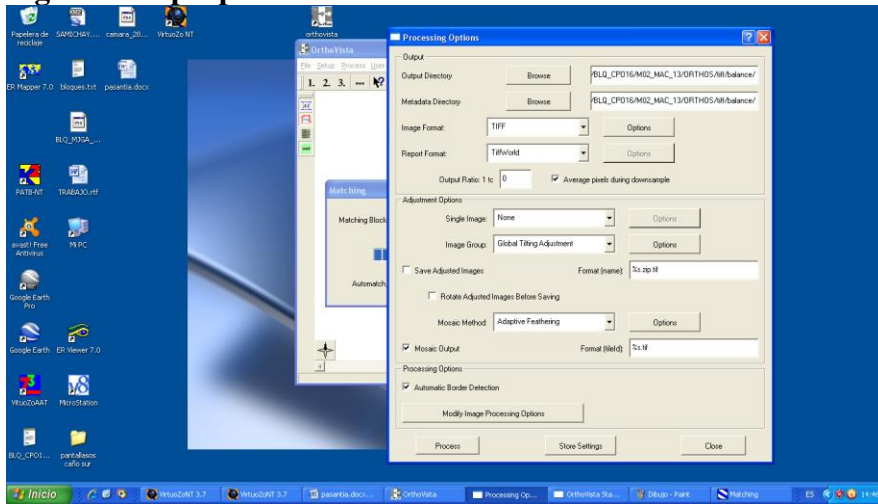


Figura 6.51 balanceando orto foto

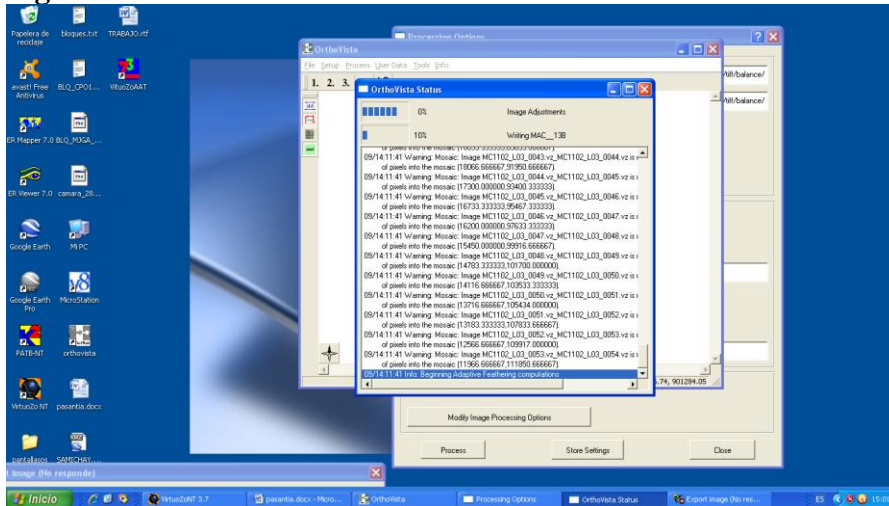
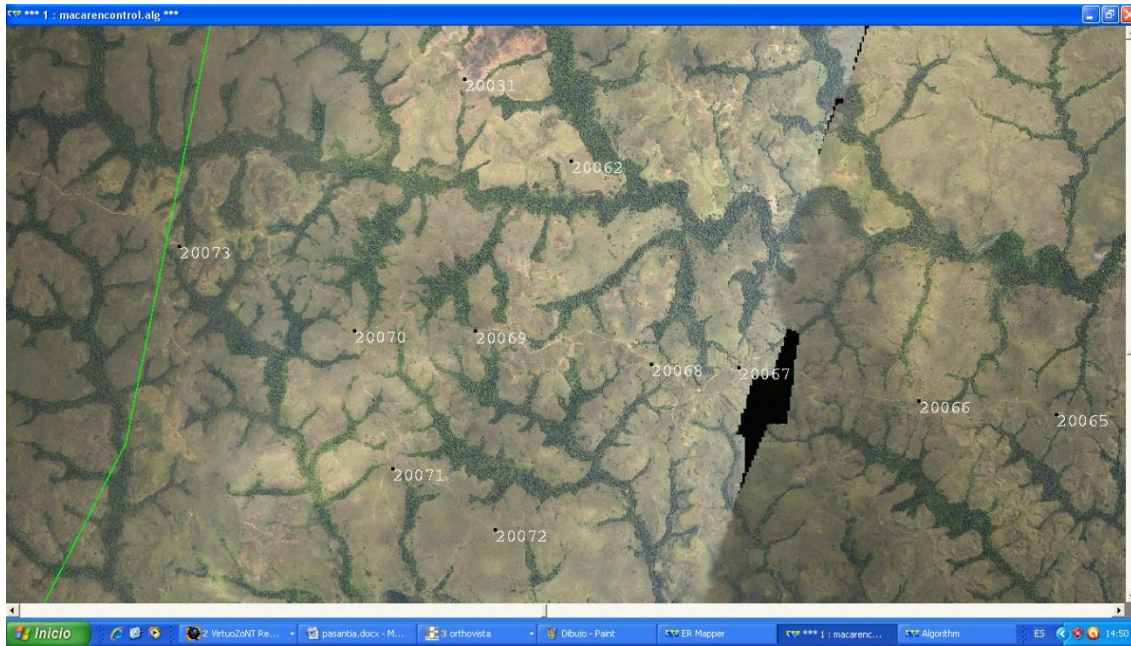


Figura 6.52 Orto foto con deficiencia de sobre lape y puntos de control



6.3.6 visualización de la orto foto

Se visualiza en ER MAPER el cual es un programa en el que se pueden ver las orto fotos y realizar comparaciones con imágenes satelitales o planos de cartografía del Agustín Codazzi.

Figura 6.53 Interfaz de ER MAPER

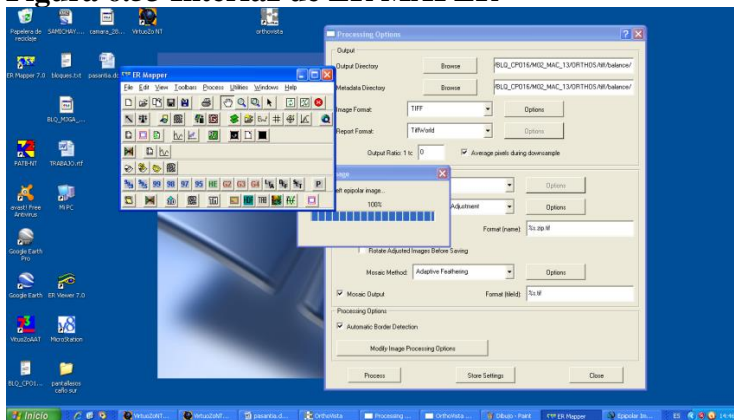
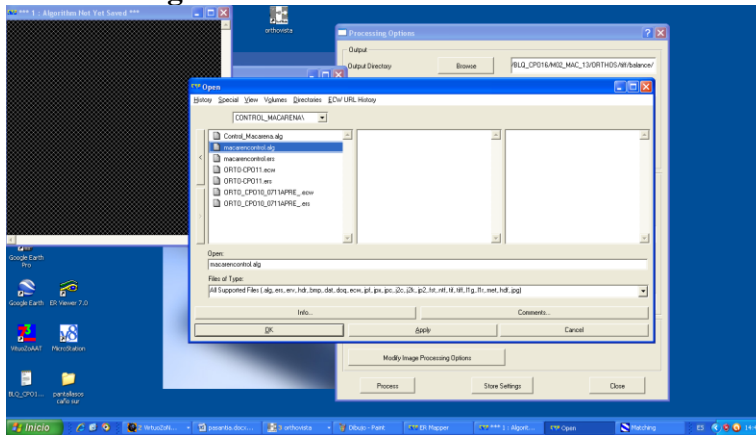


Figura 6.54 cargar orto foto en ER MAPER



Modelo de elevación digital que posee la empresa QRE visualizado en ER-MAPER programa en el cual se hace control de calidad de las orto fotos generadas

Figura 6.55 DEM empresa QRE

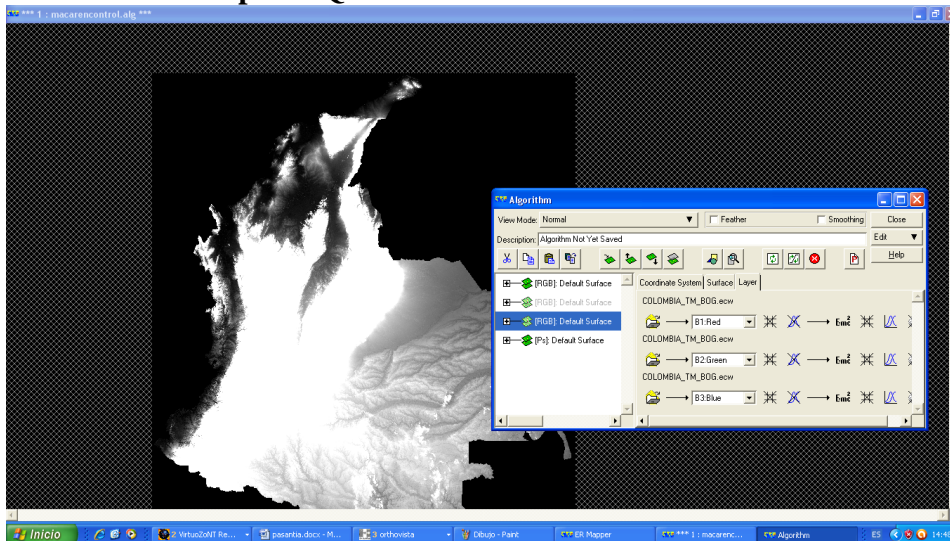


Figura 6.56 Imagen satelital que posee la empresa QRE

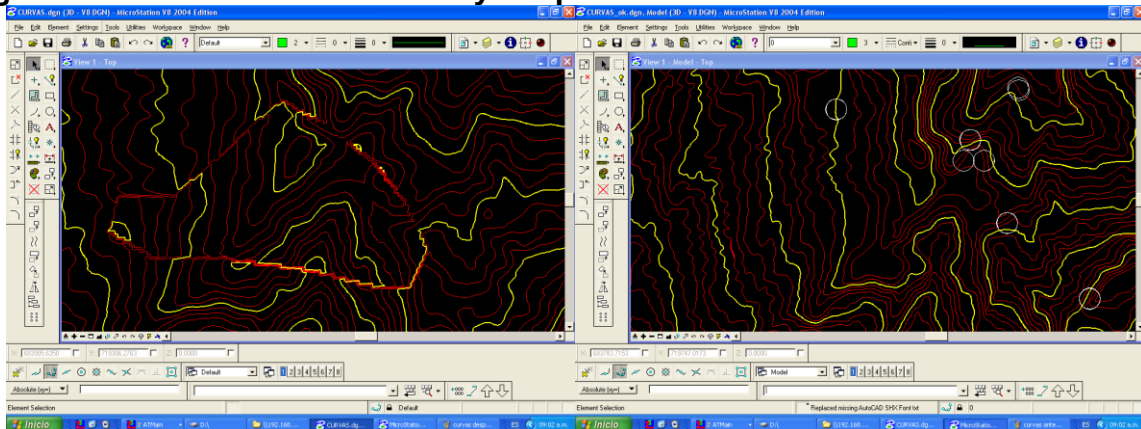


6.3.7 EDICION DE CURVAS DE NIVEL

Debido a que las curvas de nivel que se generan en la empresa QRE se extraen de un DEM de 30m los detalles de la topografía del terreno son muy pocos, entonces se hace necesario realizar una edición de curvas manual en donde se resaltan los principales detalles de topografía que presenta el terreno como por ejemplo los drenajes.



Este proceso se realiza en MicroStation un programa que permite manejar diferentes tipos de capas y adicionar cotas a las curvas de nivel es un programa similar a Autocad.

Figura 6.57 curvas de nivel antes y después de editar



7 PROYECTOS EJECUTADOS EN LA EMPRESA DURANTE LA PASANTIA

En el siguiente cuadro se presenta la información general de los 2 proyectos ejecutados en la pasantía.

PROYECTO	ABARCO Y MORICHE	CUENCA DEL PUTUMAYO
ZONA DE ESTUDIO	Campos Abarco y Moriche Fase III, localizados en el municipio de Puerto Boyacá, en el Departamento de Boyacá.	El área de interés se encuentra localizada entre los Municipios de Mocoa, Villa garzón, Puerto Guzmán, Piamonte, Orito, Valle del Guamuez y Puerto Caicedo, en el departamento del Putumayo.
EMPRESA CONTRATISTA	 Mansarovar Energy Colombia Ltd.	 GranTierra Energy Colombia Ltd.
AREA DE COBERTURA	ABARCO 1233 Ha MORICHE FASE III 1172 HA	4.129 km ²
ESCALA	1:5000	1:10000
PRODUCTOS ENTREGADOS	Fotos aéreas digitales a color Ortofotomosaico Campos Abarco y Moriche Fase III Modelo Digital de Elevación Curvas de Nivel 1 m Restitución Digital	Fotos aéreas digitales a color Archivos de Correlación y Ortorectificación Ortofotomosaico 4.129 Km2 en formato ECW, IMG, Origen de Coordenadas Bogotá y Magna. Ortofotomosaicos Bloques Putumayo en formatos TIF, IMG y ECW Ortofotomosaicos Tiles Putumayo en formatos TIF, IMG y ECW Modelo Digital de Elevación Formatos TIF y IMG Anaglifos Formato Tif. Restitución Digital en formatos GDB, Shapes y Layer
TIEMPO DE EJECUCION	5 MESES	9 MESES

7.1 CAMPOS ABARCO Y MORICHE EN PUERTO BOYACA



Mansarovar Energy Colombia Ltd.

**INFORME TÉCNICO
CONTRATO BUFF-045-10
Bogotá Abril 18 de 2011**

**SERVICIO DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO
FOTOGRAMÉTRICO, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE
FOTOGRAFÍAS AÉREAS A COLOR Y A ESCALA 1:5000
PARA LOS CAMPOS ABARCO (1233 HA) Y MORICHE FASE
III (1172 HA)**

Abril 2011

RESUMEN

Este documento contiene el informe de las actividades desarrolladas para la adquisición de fotografías aéreas digitales a color para los Campos Abarco y Moriche Fase III en el municipio de Puerto Boyacá, Departamento de Boyacá.

En total se realizaron dos (2) misiones a la zona, con las que se completó el total de las fotografías aéreas digitales, a partir de las cuales se obtuvieron las orto fotos, curvas de nivel cada 1 m, Modelo Digital de Elevación y restitución Digital correspondientes a 2.405 Ha.

Para la georreferenciación se hizo posicionamiento con GPS de precisión centimétrica, y adquisición de puntos con la tecnología RTK (Real Time Kinematic), para mejorar la precisión de la información.

SERVICIO DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS A COLOR Y A ESCALA 1:5000 PARA LOS CAMPOS ABARCO (1233 HA) Y MORICHE FASE III (1172 HA)

7.1.1 OBJETIVO

Adquirir fotografías aéreas digitales y generar productos fotogramétricos para 2.405 en los Campos Abarco y Moriche fase III.

7.1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Adquirir fotos aéreas digitales a color a escala 1:5000

- Adquirir puntos de control GPS de alta precisión para la georreferenciación de las fotografías
- Adquirir puntos de control con la tecnología RTK (Real Time Kinematic) para mejorar la precisión de la información en unas zonas específicas
- Generar Ortofotomosaico Digital a partir de las fotos aéreas con resolución de 15 cm por pixel
- Generar Curvas de Nivel cada 1m a partir de la edición de los Modelos de Elevación Digital de cada modelo estereoscópico.
- Generar Modelo de Elevación Digital con resolución de 1m.
- Realizar restitución Digital a Escala 1:1.000, a partir de los ortofotomosaicos.
- Elaborar informe final.

7.1.2 ZONA DE ESTUDIO

Las actividades se desarrollaron para 2.405 Ha en los campos Abarco y Moriche Fase III, localizados en el municipio de Puerto Boyacá, en el Departamento de Boyacá. **Figura 7.1**

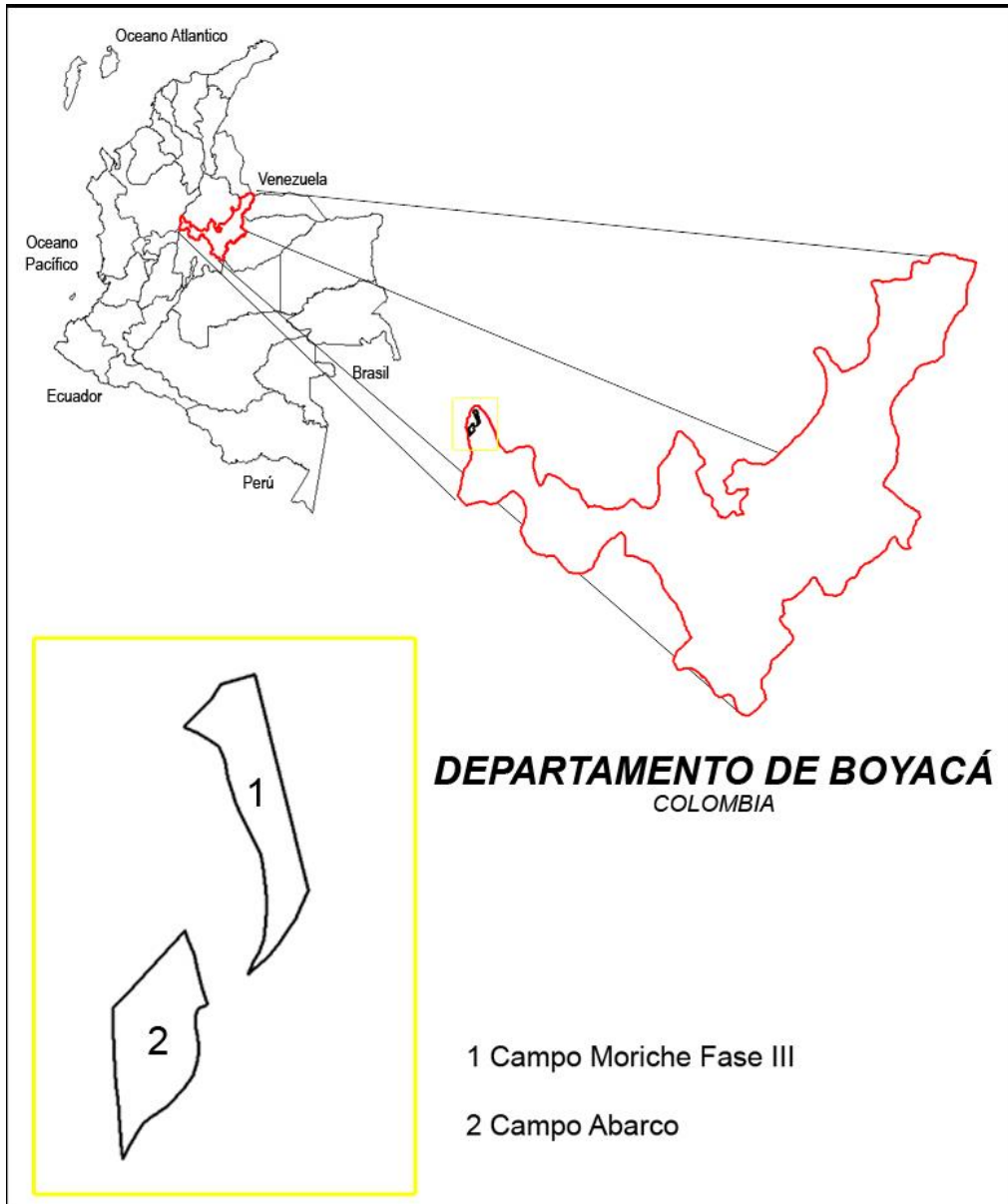


Figura7.1. Localización área de Estudio

7.1.3 EQUIPO Y SOFTWARE UTILIZADO

Los paquetes informáticos empleados para procesar la información fueron: Para la calibración de la cámara se utilizó el software Photomodeler 5 plus; en la elaboración de las orto fotos se utilizaron estaciones fotogramétricas totales dotadas con el software de Aerotriangulación AAT, Ajuste de bloque PatB, software Fotogramétrico VirtuoZo y software para procesamiento digital de imágenes ER Mapper 7.0.

Para la toma de los puntos de control GPS se utilizaron equipos Navcom SF- serie 2040, 2050 y 3050 de doble frecuencia, cuyo receptor provee una precisión decimétrica en cualquier parte del mundo y en cualquier momento.

7.1.4 METODOLOGÍA PROCESAMIENTO

Esta sección presenta el proceso metodológico utilizado para la ejecución del proyecto.

Etapas en su orden de ejecución:

7.1.4.1 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se utilizaron imágenes de satélite y cartografía disponible en nuestras bases de datos para el planeamiento de los vuelos, para optimizar la utilización de los recursos y la generación de los resultados.

- Imagen Landsat P08R56
- Planchas a escala 1:25.000 del IGAC
- Modelo de Elevación digital
- Imágenes Meteorológicas para el planeamiento y programación de los vuelos.

Adicionalmente se contó con información de GPS cinemático aerotransportado, sincronizado con el impulso de la cámara, para mayor precisión en la información.

7.1.4.2 ADQUISICION DE FOTOGRAFIAS AEREAS DIGITALES A COLOR

Se realizaron dos (2) misiones para la toma de fotografías aéreas digitales a Color mediante vuelo aerofotogramétrico con resolución real de 15 cm; la etapa de adquisición se vio afectada por condiciones climáticas adversas que dificultaron la toma de las fotografías.

La toma se realizó utilizando cámaras digitales aerotransportadas, ortogonales al terreno, con recubrimiento longitudinal de 80% y lateral del 40%.

7.1.4.3 ESPECIFICACIONES DEL VUELO

7.1.4.3.1 Proyecto de vuelo

La planeación del vuelo se realizó teniendo como base un modelo de elevación digital y bases cartográficas de imágenes Landsat TM a escala 1:75,000.

7.1.4.3.2 Avión

Para la realización del siguiente proyecto se utilizó un avión tipo Cessna 182Q turbo cargado, Modelo 1985, con autonomía de vuelo de 8 horas, el cual cuenta con un puerto de inspección debidamente autorizado por la Aeronáutica Civil

El avión cuenta con sistema de montaje de la cámara permanente para asegurar su posición y conexiones además de elementos auxiliares de operación.

7.1.4.3.3 Sistemas de Navegación

Se realizaron vuelos con un geo-receptor de señales satelitales (GPS) de doble frecuencia a bordo de la aeronave. Las observaciones de señales satelitales con GPS satisfacen los requerimientos de datos del ajuste en red, así como la resolución de ambigüedades para calcular la posición relativa de los centros de perspectiva. Se utilizó software para la evaluación de los vuelos asistidos por GPS a fin de calcular la trayectoria de un objeto en movimiento.

7.1.4.4 ESPECIFICACIONES DE TOMA

7.1.4.4.1 Cubrimiento del área

El área de vuelo fue extendida para cubrir 2.405 Ha.

7.1.4.4.2 Posición de las líneas

Las líneas de vuelo fueron programadas en dos direcciones de acuerdo a la dirección local del bloque.

La primera sección fue tomada más o menos 15° en dirección NE-SW. La segunda sección fue tomada en dirección 345° en dirección NW- Ver **Figura 6.2.**

Posición de Líneas

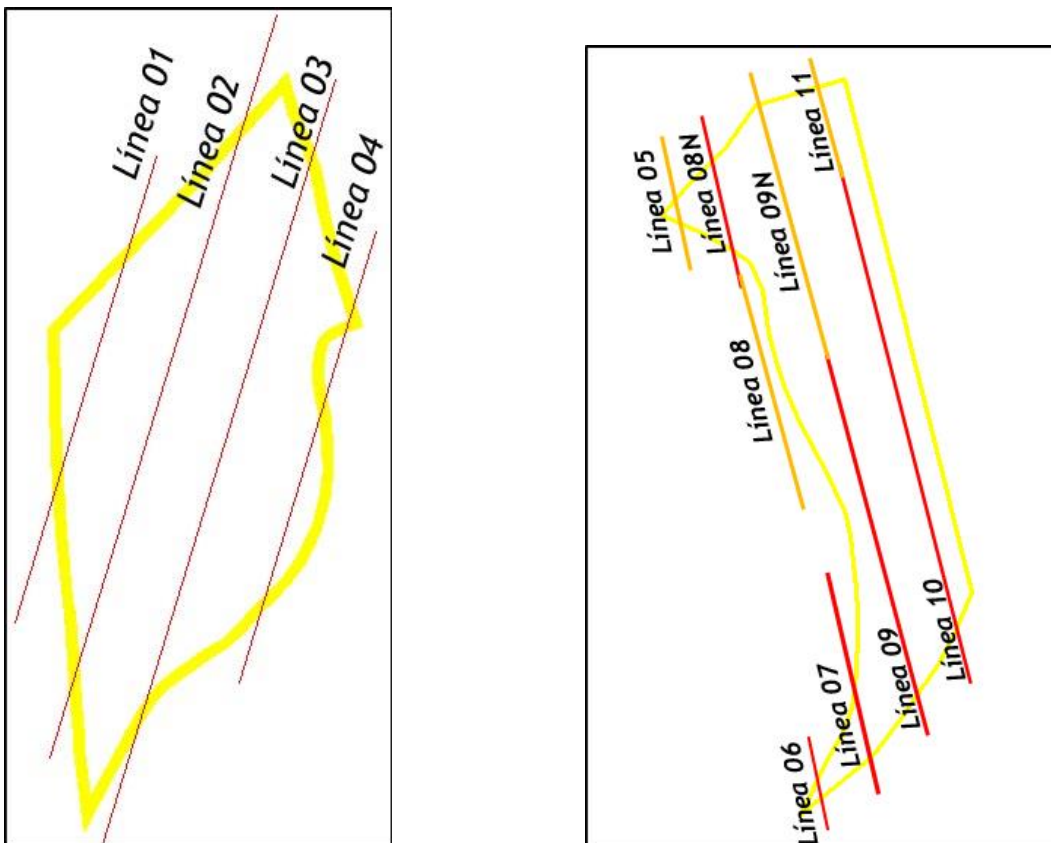


Figura 7.2. Posición Líneas de Vuelo Campos Abarco y Moriche Fase III, respectivamente.

7.1.4.4.3 Sobreposición longitudinal

La sobreposición longitudinal fue del 80%.

7.1.4.4.4 Escala de las fotografías

La resolución para las fotografías aéreas digitales es de 15 cm por píxel.

7.1.4.5 TRABAJO DE CAMPO: POSICIONAMIENTO

7.1.4.5.1 PARAMETROS DE DISEÑO DE LA CAMPAÑA:

Las actividades de fotocontrol a partir de posicionamientos GNSS, Georreferenciación en modalidad RTK y tiempo real satelital requieren una planificación para que la información obtenida por las tres metodologías garantice las precisiones y la integridad de los datos.

Aspectos técnicos:

- Únicamente utilización de equipos GPS y GNSS de doble frecuencia.
- Garantizar tiempos de rastreo simultáneos de 15 minutos más 5 minutos Por kilómetro.
- Solución de vectores en código y fase para la doble frecuencia.
- Garantizar doble determinación para los traslados de puntos base.
- Garantizar los amarres certificados a la red MAGNA (PUNTOS ACTIVOS Y PASIVOS).preferiblemente estaciones permanentes de la RED MAGNA SIRGAS.
- Garantizar las precisiones finales.
- Garantizar control de calidad antes de hacer entrega final de Coordenadas.
- La organización correcta de los datos GPS sus respectivas carteras de campo en el momento de la entrega.
- Todas las coordenadas deben ser referenciadas a MAGNA-SIRGAS Según metodología IGAC.
- Las alturas serán reducidas al nivel medio del mar utilizando el modelo GEOIDAL GEOCOL 2004 asociado a MAGNA-SIRGAS Según metodología IGAC.

- Se aplicara a las coordenadas calculadas a la época del proyecto los vectores de velocidad proporcionados por el modelo vemos asociado a MAGNA-SIRGAS Según metodología IGAC.

7.1.4.5.2 RECURSO TECNICO

- Cinco receptores GPS de doble frecuencia para posicionamiento GPS (NAVCOM).
- Un radio base Módem y 2 radios base Rover para el posicionamiento con Tecnología RTK
- Trípodes, bases nivelantes y bastones con bípodes.
- Accesorios, radios y teléfonos celulares.
- Certificaciones de coordenadas de puntos IGAC y estaciones permanentes.
- Descripciones certificadas de los puntos IGAC.
- Un vehículo para transporte de personal y equipos.

7.1.4.5.3 INFORMACION TECNICA

7.1.4.5.3.1 ORIGEN DE COORDENADAS

Debido al uso de sistemas de navegación por satélite, se ha revolucionado la definición de los sistemas de referencia, dejando en desuso los sistemas locales y exigiendo la migración de los datos geográficos a un sistema de compatibilidad universal, es decir geocéntrico.

El sistema de referencia geocéntrico en el país se denomina *MAGNA-SIRGAS* (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia). Es el resultado de la densificación continental del marco de referencia global (*ITRF: International Terrestrial Reference Frame*), siendo oficializado en el año 2004. El elipsoide asociado corresponde con el GRS80, equivalente al sistema WGS84. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi, actuando en propiedad como organismo gubernamental encargado de los sistemas de referencia geodésicos y a la cartografía nacional, ha adoptado oficialmente a *MAGNA – SIRGAS* como plataforma de georreferenciación, en reemplazo del antiguo Datum BOGOTÁ.

A continuación se relacionan las coordenadas planas y geográficas Certificadas.

7.1.4.5.3.1.1 PARÁMETROS GEODÉSICOS

En el proceso de los datos geodésicos se utilizaron los siguientes parámetros:

Ellipsoid name = WGS 1984

Semi Major Axis(m) = 6378137

Inverse Flattening = 298.257223563

En la aplicación del modelo geoidal se aplicó el modelo Geocol 2004, basándose en los parámetros del IGAC se realizó cálculo de elevaciones.

7.1.4.5.3.1.2 POSICIONAMIENTO CON GPS METODO ESTÁTICO DIFERENCIAL

El sistema de posicionamiento global GPS puede ser empleado en la extensión del control Horizontal y vertical sobre aquellas zonas en donde no se cuenta con puntos de nivelación y la precisión requerida está dentro del orden trigonométrico. *Navigation Satellite Time and Ranking – Global Positioning*

System (NAVSTAR GPS), es un sistema de posición basado en el espacio - exterior-desarrollado por las fuerzas militares de Estados Unidos y *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. Este sistema sustituye y mejora esencialmente, entre otros, al anterior *Navy Navigation Satellite System (NNSS TRANSIT)*, que permitió desde 1967 ejecutar mediciones de red por métodos Doppler sobre todo el planeta, el establecimiento de modernos Datum geocéntricos y la conexión de redes nacionales a un sistema único.

El GPS ha sido diseñado, en principio, para satisfacer las necesidades de navegación y medición de tiempo en forma precisa y continua bajo todo clima, en una malla común.

Las posibilidades de operatividad en cualquier hora, condiciones climáticas y del relieve, permiten que el sistema GPS, unido a un modelo geoidal de alta resolución, sea una herramienta poderosa y económica en la determinación de nuevos puntos de referencia para propósitos geodésicos o topográficos.

El método de observaciones diferencial estático (DGPS), que consiste en la ocupación simultánea de dos o más puntos, tomando como punto de partida el vértice con coordenadas conocidas y certificadas, las cuales son fijadas en el momento del proceso y de esta forma se trasladan valores ajustados a nuevos puntos que conforman parte de la red principal del programa a realizar.

En este proyecto se tuvo como punto de origen y coordenadas certificadas de las estaciones permanentes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (BERRIO Y DORADA en Caldas).

7.1.4.5.3.1.3 STARFIRE

Starfire TM Servicio de suscripción que ofrece precisión en tiempo real de 10 cm. Su señal corregida a nivel mundial está disponible prácticamente en cualquier parte de la superficie de la Tierra en tierra o mar.

Para lograr esto, Starfire TM utiliza una red de más de 60 estaciones de referencia GPS en todo el mundo para calcular la órbita del satélite GPS y correcciones de reloj. Dos completamente redundante y centros de procesamiento de múltiples enlaces de comunicación para asegurar la continua disponibilidad de Starfire TM

Estas correcciones se transmiten a través de seis satélites geoestacionarios, proporcionando cobertura precisa en todo el mundo que permite la navegación en tiempo real sin necesidad de estación de referencia para guardar la posición exacta.

7.1.4.5.3.1.4 RTK

Actualmente es el equipo que proporciona mayor eficacia, versatilidad, precisión y rendimiento para todo tipo de trabajos de topografía.

El trabajo en tiempo real no es un método de posicionamiento por satélite, sino que es una forma de obtener los resultados una vez procesadas las observaciones. El procesamiento de estas observaciones puede ser realizado con un software post-proceso, previa inserción de los datos de observación necesarios, ya sea en campo o en oficina. Ahora bien, este cálculo puede ser realizado de forma inmediata a la recepción de las observaciones y ser efectuado por la unidad de control, obteniendo las coordenadas en el instante, es decir, en tiempo real. Para ello, se incorporan los algoritmos de cálculo de los software post-proceso, o parte de ellos, a los controladores para este tipo de aplicaciones. **(REF 8)**

7.1.4.6. ESPECIFICACIONES DE PROCESAMIENTO

7.1.4.6.1 Imágenes Digitales

Las fotografías originales fueron adquiridas en formato fff, y se entregan en DVD a Mansarovar Energy Colombia, en formato Tif.

7.1.4.7 AEROTRIANGULACIÓN

Los puntos que se usaron para controlar las ortofotos, se obtuvieron mediante el proceso de aerotriangulación, basados en puntos de control de GPS de alta precisión de doble frecuencia.

7.1.4.8 ESTEREOCORRELACIÓN

Como resultado de este proceso se obtuvo coordenadas x,y,z para generar malla regular de puntos, cuya compilación se realizó sobre VirtuoZo software, por correlación automática y posterior depuración estereoscópica interactiva por un operador.

Los procesos realizados fueron:

- Creación de imágenes epipolares (Eliminación del paralaje por Y)
- Correlación automática/Image Matching (Eliminación del paralaje por X)
- Generación Automática de DTM

7.1.4.9 ORTOFOTOMOSAICO

La orto foto digital fue creada rectificando y corrigiendo diferencialmente, píxel por píxel la fotografía aérea digital en estaciones fotogramétricas de primer orden y basada en el sistema de coordenadas del modelo digital de terreno. La ortofoto se convirtió entonces en una imagen geocodificada con coordenadas X,Y,Z., generando finalmente un Ortofotomosaico.

En esta fase se efectuaron todas las verificaciones y ediciones para asegurar la calidad del producto final.

Se realizaron 2 Ortofotomosaicos, uno para el Campo Abarco, y otro para el Campo Moriche Fase III, cubriendo totalmente el área de estudio, obteniendo 2.405 Ha de imágenes (**Figura 7.3. Ortofotomosaico**); adicionalmente se generó 1 Ortofotomosaico de toda al área, ampliado al cubrimiento total de las aerofotografías.

7.1.4.10 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Posterior al proceso de esterocorrelación y generación automática de DEM, con ayuda de Virtuozo Software en el módulo de Match Edit, se hace una edición individual de cada modelo, para posteriormente hacer un mosaico y finalmente generar un Modelo Digital de Elevación de toda el área.

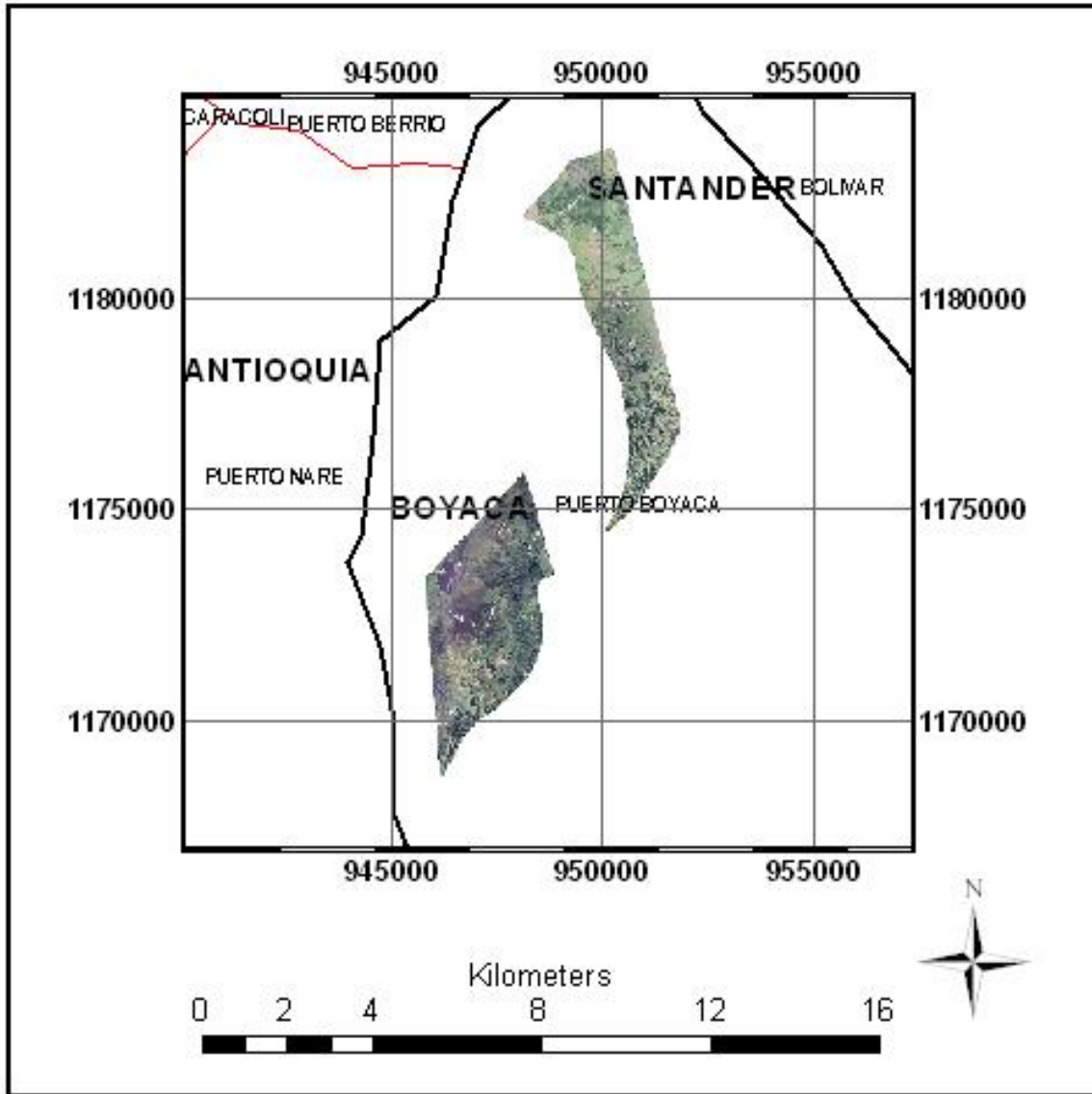


Figura 7.3. Ortofotomosaico

7.1.4.11 CURVAS DE NIVEL CADA 1m

Después del proceso de estereocorrelación, y a partir del Modelo Digital de Elevación automático, se procedió a hacer una edición modelo a modelo. Posteriormente, se hizo un mosaico, a partir del cual se generaron las curvas de nivel cada 1 m.

7.1.4.12 RESTITUCIÓN DIGITAL

Teniendo la orto foto debidamente georreferenciada, se digitalizaron los objetos que a escala 1:1000 era posible diferenciar.

Estos objetos fueron tanto naturales (Drenaje), como artificiales (viviendas, vías e infraestructura petrolera).

7.1.4.13 CANTIDAD DE OBRA

Ítem	Descripción	Cantidad
01	Adquisición de fotografías aéreas digitales a color con resolución de 15 cm por píxel. ➤ Ortofotomosaico : 2.405 Ha	2.405 Ha
02	Toma de puntos de Control con GPS.	120 Puntos
03	Toma de Puntos con tecnología RTK	3677 Puntos
04	Procesamiento digital Ortofotomosaico 2.405 Ha: ➤ Introducción de puntos GPS ➤ Aerotriangulación y Ajuste de Bloque ➤ Edición Ortofotos ➤ Generación Ortofotomosaico Digital	2.405 Ha
05	Procesamiento digital Modelo Digital de Elevación 2.405 Ha: ➤ Edición modelo a modelo ➤ Mosaico	

06	Generación y Edición de Curvas de Nivel para 2.405 Ha <ul style="list-style-type: none">➤ Generación de curvas de Nivel cara 1m a partir de Modelo Digital de Elevación.➤ Edición de Curvas de Nivel cada 1m	2.405 Ha
07	Restitución Digital a Escala 1:1.000 <ul style="list-style-type: none">➤ Captura de información digital de objetos naturales y artificiales.	2.405

7.1.4.14 PRODUCTOS A ENTREGAR

- ✓ Fotos aéreas digitales a color
- ✓ Ortofotomosaico Campos Abarco y Moriche Fase III
- ✓ Modelo Digital de Elevación
- ✓ Curvas de Nivel 1 m
- ✓ Restitución Digital

7.1.5 CONCLUSIONES

- La base cartográfica digital de alta resolución generada a partir de las fotografías aéreas digitales a color proveen información nueva y complementaria incluyendo: Estructuras geológicas, (Ej: fallas, pendientes, anticlinales, lineamientos); reconocimiento de estratificación; unidades litológicas; sistemas de drenaje; y sobre todo se obtiene información detallada y actualizada del terreno para apoyar la logística de campo.
- Como herramienta complementaria al trabajo de campo, teniendo en mente las dificultades inherentes a topografía, acceso y calidad de exposiciones. Las imágenes de alta resolución producidas por Quimbaya Resources Exploration durante este trabajo, permitirán que los datos reales sean integrados con esta herramienta a la información regional del área para lograr entender el sistema estructural en un marco adecuado y coherente.
- La base cartográfica digital de alta resolución se presenta como una valiosa herramienta para observar y evaluar los sitios adecuados para resolver problemas cartográficos, estratigráficos y estratégicos, en cuanto a la labor de exploración de hidrocarburos.

7.2 CUENCA DEL PUTUMAYO



INFORME TÉCNICO CONTRATO:

**SERVICIO DE SOLICIÓN GEOMÁTICA DIGITAL
AEROTRANSPORTADA DE ALTA RESOLUCIÓN
PARA 4.129 KM2 EN LA CUENCA DEL PUTUMAYO**

RESUMEN

Este documento contiene el informe de las actividades desarrolladas para la adquisición de fotografías aéreas digitales a color para los bloques Azar, Chaza, Putumayo Piedemonte Norte, Putumayo Piedemonte Sur, Rumiyaco, Vía Villagarzón - Orito y alrededores localizados en el Departamento de Putumayo.

En total se realizaron nueve (9) misiones a la zona, con las que se completó el total de las fotografías aérea digitales, a partir de las cuales se obtuvieron las ortofotos correspondientes a 4.129 Km².

SERVICIO DE SOLICIÓN GEOMÁTICA DIGITAL AEROTRANSPORTADA DE ALTA RESOLUCIÓN PARA 4.129 KM2 EN LA CUENCA DEL PUTUMAYO

7.2.1 OBJETIVO

Adquirir fotografías aéreas digitales y generar productos fotogramétricos; para 4.129 km² en el Departamento de Putumayo.

7.2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Adquirir fotos aéreas digitales a color con resolución de 1m por píxel
Generar Ortofotomosaico Digital a partir de las fotos aéreas
Generar Curvas de Nivel cada 10m a partir de Modelo de Elevación Digital
30m de Colombia
Realizar restitución Digital a Escala 1:10.000, teniendo como guía base el
Catálogo de Objetos del IGAC
Elaborar informe final.

7.2.2 ZONA DE ESTUDIO

Las actividades se desarrollaron para 4.129 km² alrededor de los bloques Azar, Chaza, Putumayo Piedemonte Norte (Rioblanco), Putumayo Piedemonte Sur y Rumiayaco. El área de interés se encuentra localizada entre los Municipios de Mocoa, Villagarzón, Puerto Guzmán, Piamonte, Orito, Valle del Guamuez y Puerto Caicedo, en el departamento del Putumayo. **Figura 7.4**

El área de trabajo se encuentra comprendida entre las coordenadas geográficas referidas a WGS-84, 1° 8'N y 0° 19'N de latitud, y 77° 10'W y 76° 14'W de longitud. **Figura 7.5.**

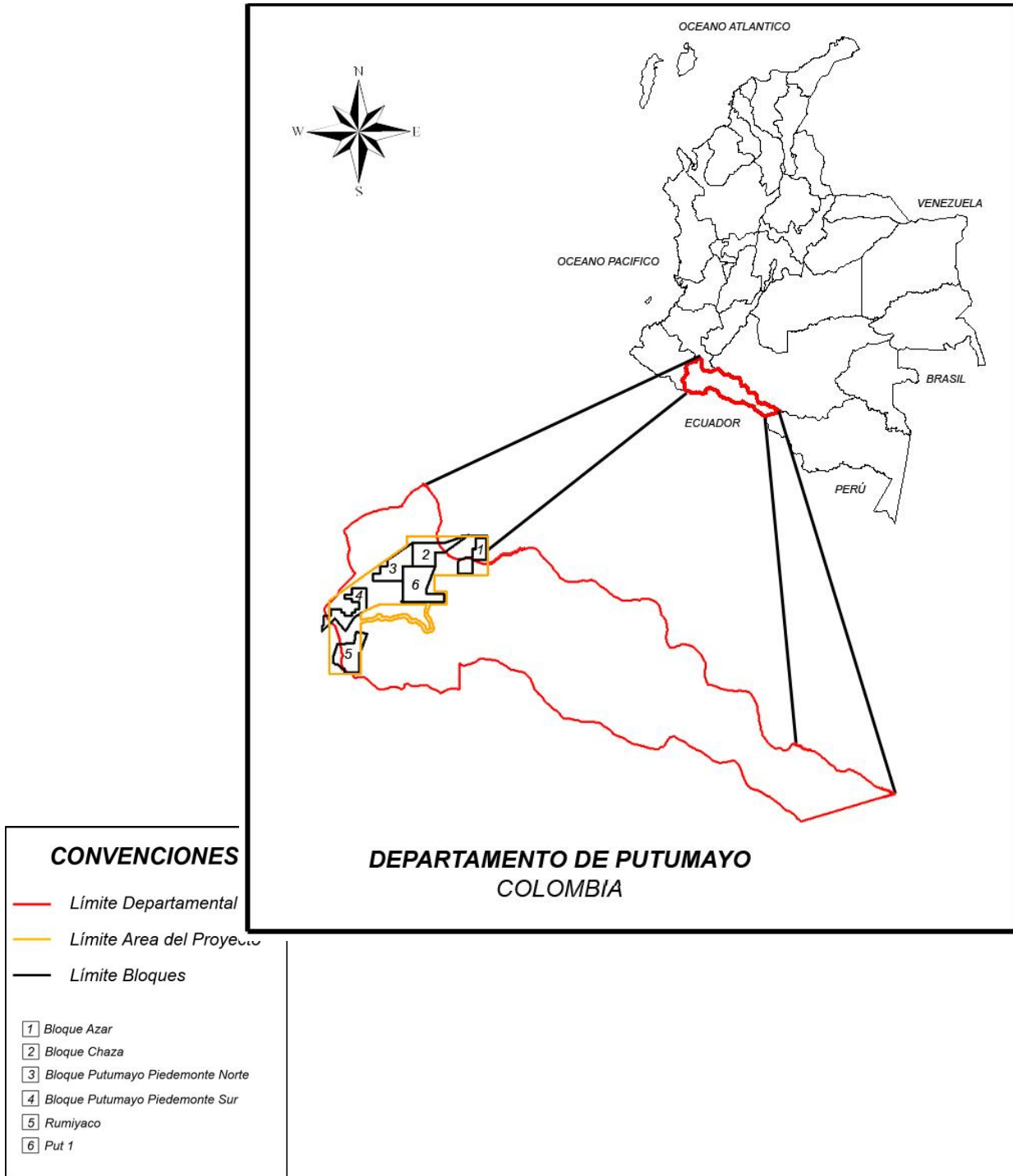


Figura 7.4. Localización Bloques

JHON EIDER RUIZ

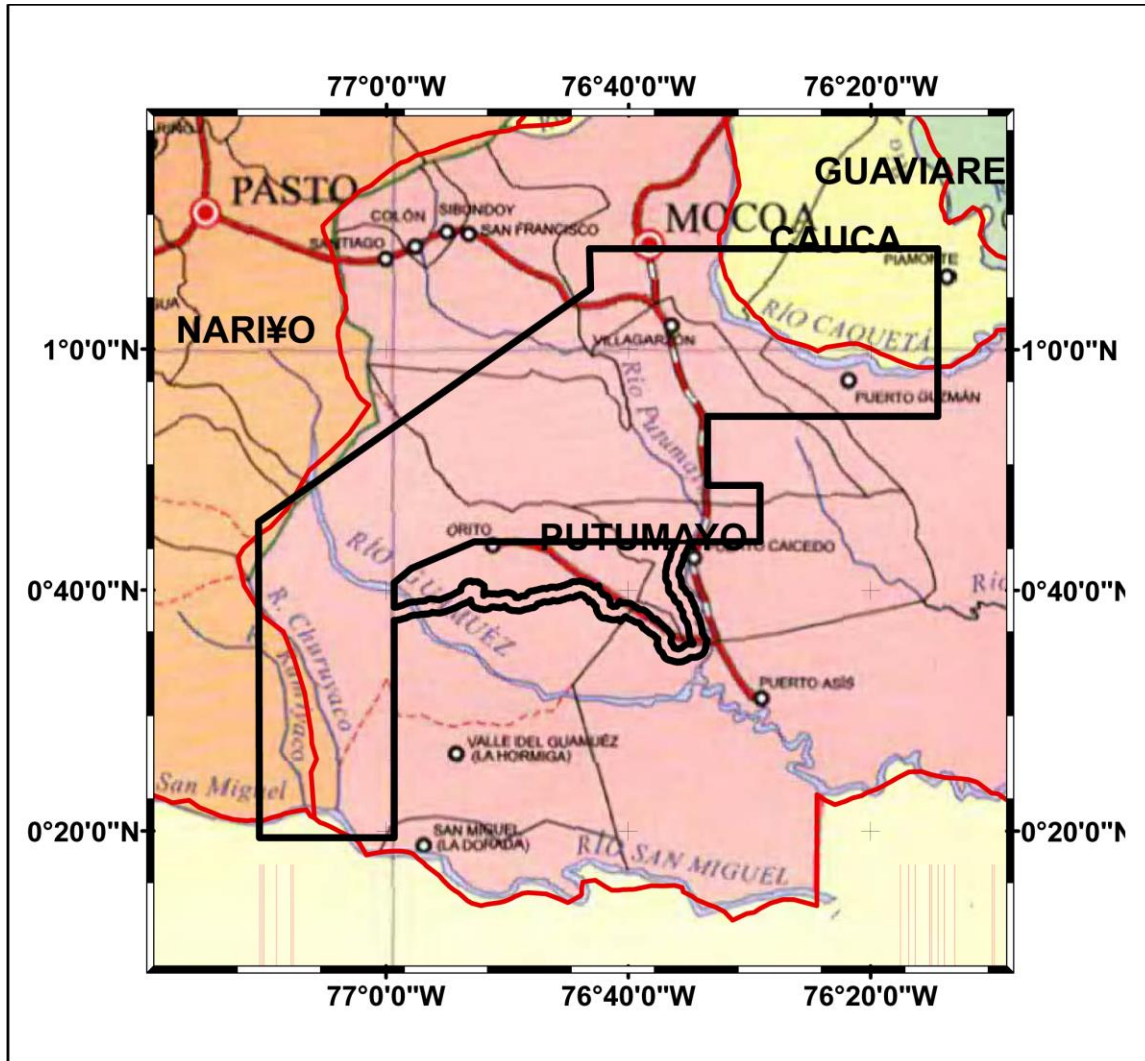


Figura 7.5. Localización General

7.2.3 EQUIPO Y SOFTWARE UTILIZADO

Los paquetes informáticos empleados para procesar la información fueron: Para la calibración de la cámara se utilizó el software Photomodeler 5 plus; en la elaboración de las ortofotos se utilizaron estaciones fotogramétricas totales dotadas con el software de Aerotriangulación AAT, Ajuste de bloque PatB, software Fotogramétrico VirtuZo y software para procesamiento digital de imágenes ER Mapper 7.0.

7.2.4 METODOLOGÍA PROCESAMIENTO

Esta sección presenta el proceso metodológico utilizado para la ejecución del proyecto.

Etapas en su orden de ejecución:

7.2.4.1 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se utilizaron imágenes de satélite y cartografía disponible en nuestras bases de datos para el planeamiento de los vuelos, para optimizar la utilización de los recursos y la generación de los resultados.

- Imagen Landsat P09R59 y P09R60
- Planchas a escala 1:25.000 del IGAC
- Modelo de Elevación digital
- Imágenes Meteorológicas para el planeamiento y programación de los vuelos.

Adicionalmente se contó con información de GPS cinemático aerotransportado, sincronizado con el impulso de la cámara, para mayor precisión en la información.

7.2.4.2 ADQUISICION DE FOTOGRAFIAS AEREAS DIGITALES A COLOR

Se realizaron nueve (9) misiones para la toma de fotografías aéreas digitales a Color mediante vuelo aerofotogramétrico con resolución real de 1 m; la etapa de adquisición se vio afectada por condiciones climáticas adversas que dificultaron la toma de las fotografías.

Las tomas seleccionadas que cumplen con las especificaciones técnicas se realizaron en Mayo, Junio, Septiembre, Noviembre y Diciembre de 2010 y Enero de 2011.

La toma se realizó utilizando cámaras digitales aerotransportadas, ortogonales al terreno, con recubrimiento longitudinal de 80% y lateral del 40%.

7.2.4.3 ESPECIFICACIONES DEL VUELO

7.2.4.3.1 Proyecto de vuelo

La planeación del vuelo se realizó teniendo como base un modelo de elevación digital y bases cartográficas de imágenes Landsat TM a escala 1:75,000.

7.2.4.3.2 Avión

Para la realización del siguiente proyecto se utilizó un avión tipo Cessna 182Q turbo cargado, Modelo 1985, con autonomía de vuelo de 8 horas, el cual cuenta con un puerto de inspección debidamente autorizado por la Aeronáutica Civil

El avión cuenta con sistema de montaje de la cámara permanente para asegurar su posición y conexiones además de elementos auxiliares de operación.

7.2.4.3.3 Sistemas de Navegación

Se realizaron vuelos con un geo-receptor de señales satelitales (GPS) de doble frecuencia a bordo de la aeronave. Las observaciones de señales satelitales con GPS satisfacen los requerimientos de datos del ajuste en red, así como la resolución de ambigüedades para calcular la posición relativa de los centros de perspectiva. Se utilizó software para la evaluación de los vuelos asistidos por GPS a fin de calcular la trayectoria de un objeto en movimiento.

7.2.4.4 ESPECIFICACIONES DE TOMA

7.2.4.4.1 Cubrimiento del área

El área de vuelo fue extendida para cubrir 4.129 km².

7.2.4.4.2 Posición de las líneas

Las líneas de vuelo fueron programadas en tres bloques de acuerdo a la dirección local del bloque.

La primera sección fue tomada mas o menos 45° en dirección NE-SW. La segunda sección fue tomada en dirección Norte – Sur, y la tercera sección correspondiente a la vía, se tomó de acuerdo a la dirección de la vía.

Ver Figura 7.6. Posición de Líneas

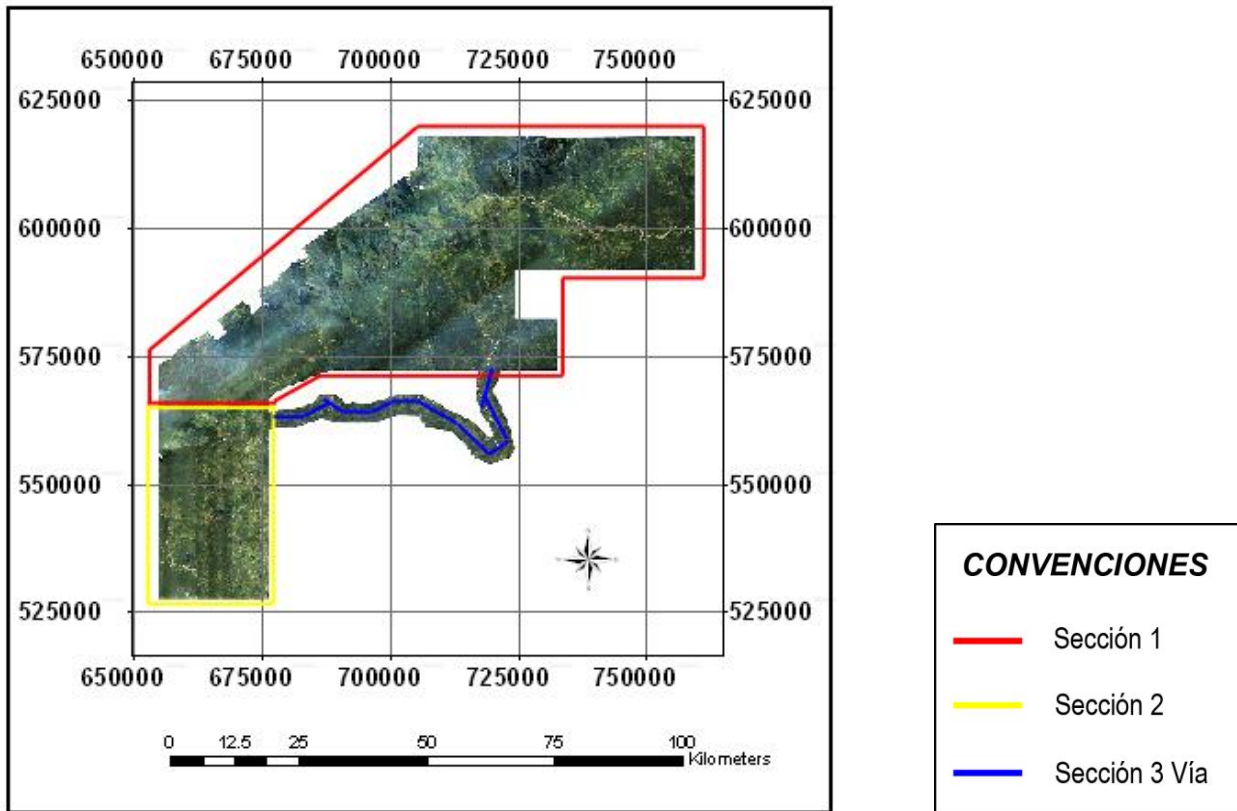


Figura 7.6. Posición Líneas de Vuelo

7.2.4.4.3 Sobre posición longitudinal

La sobreposición longitudinal fue del 80%.

7.2.4.4.4 Escala de las fotografías

La resolución para las fotografías aéreas digitales es de 1m por píxel.

7.2.4.5 ESPECIFICACIONES DE PROCESAMIENTO

7.2.4.5.1 Imágenes Digitales

Las fotografías originales fueron adquiridas en formato fff, y se entregan en DD a GRAN TIERRA ENERGY COLOMBIA LTD, en formato Tif.

Ver **Anexo 1. Medios Digitales**

7.2.4.6 AEROTRIANGULACIÓN

Los puntos que se usaron para controlar las ortofotos, se obtuvieron mediante el proceso de aerotriangulación, basados en puntos de control cartográficos y de GPS cinemático aerotransportado.

7.2.4.7 ESTEREOCORRELACIÓN

Como resultado de este proceso se obtuvo coordenadas x,y,z para generar malla regular de puntos, cuya compilación se realizó sobre Virtuoso software, por correlación automática y posterior depuración estereoscópica interactiva por un operador.

Los procesos realizados fueron:

- Creación de imágenes epipolares (Eliminación del paralaje por Y)
- Correlación automática/Image Matching (Eliminación del paralaje por X)
- Generación Automática de DTM **(REF 9)**

7.2.4.8 ORTOFOTOMOSAICO

La ortofoto digital fue creada rectificando y corrigiendo diferencialmente, píxel por píxel la fotografía aérea digital en estaciones fotogramétricas de primer orden y basada en el sistema de coordenadas del modelo digital de terreno. La ortofoto se convirtió entonces en una imagen geocodificada con coordenadas X,Y,Z., generando finalmente un Ortofotomosaico.

En esta fase se efectuaron todas las verificaciones y ediciones para asegurar la calidad del producto final.

La duración de esta fase fue de aproximadamente 10 semanas, distribuidas de acuerdo al avance en la toma de las aerofotografías.

Se realizó 1 Ortofotomosaico correspondiente al total del área de estudio, para obtener 4.129 Km² de imágenes (**Figura 7.7. Ortofotomosaico**); adicionalmente se generaron 14 Ortofotomosaicos de acuerdo a los tiles solicitados por Gran Tierra Energy Colombia. **Ver Figura 7.8. Indice Tiles GTEC**. Adicionalmente, se generaron 7 Ortofotomosaicos adicionales correspondientes a los Bloques de Tierras registrados en el Mapa de Tierras de la Agencia Nacional de Hidrocarburos del 12 de Nov de 2010, que se encuentran dentro del área de estudio. **Ver Figura 7.9 Indice Bloques GTEC**

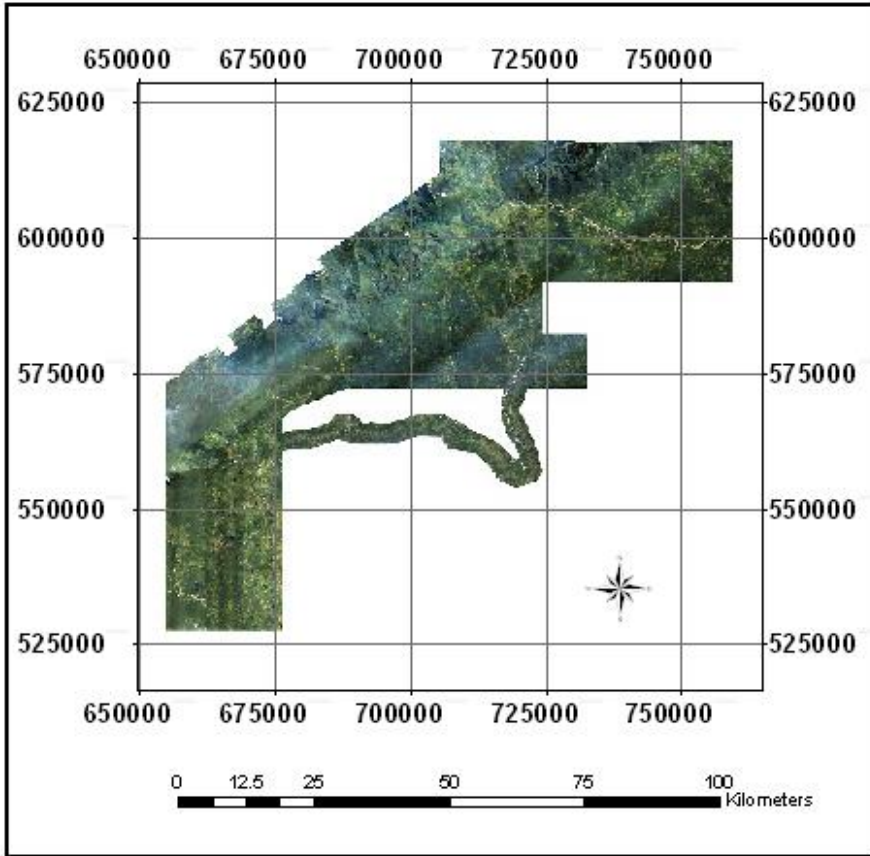
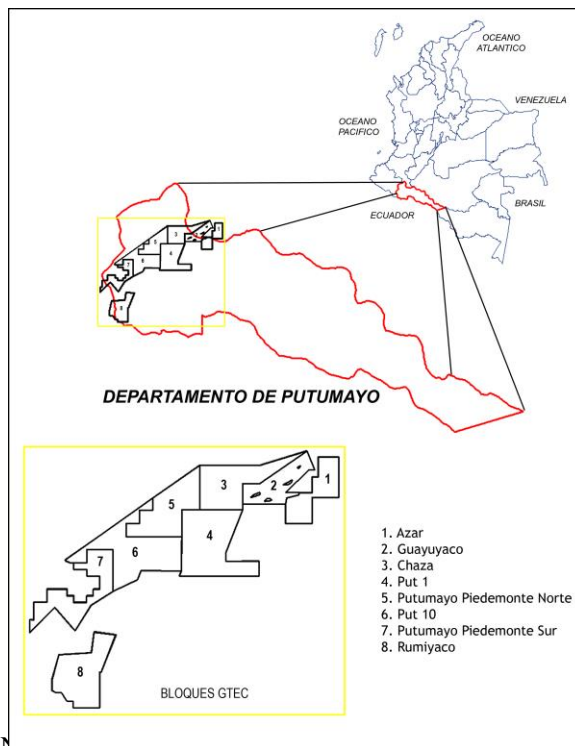
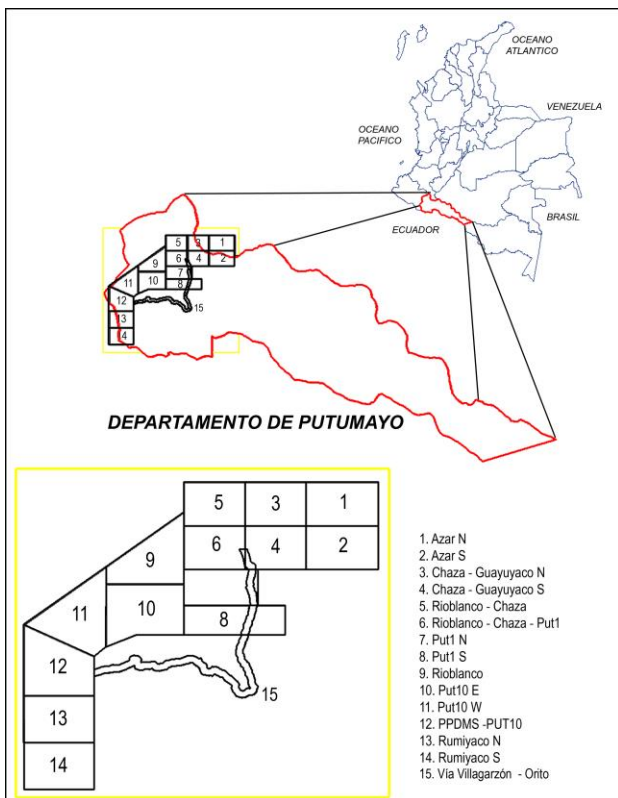


Figura 7.7. Ortofotomosaico (Izquierda)

Figuras 7.8 y 7.9. Ortofotomosaico Tiles GTEC (Izquierda Abajo) y Ortofotomosaico Bloques GTEC (Derecha Abajo)



7.2.4.9 CURVAS DE NIVEL CADA 10m

Teniendo en cuenta el Modelo Digital de Elevación de 30m, se generó una grilla de puntos, a partir de la cual, con ayuda del software Inroads, se generaron curvas cada 10m. Superponiendo las curvas de nivel sobre la ortofoto generada para 4.129 km², se realizó la edición de las mismas.

7.2.4.10 RESTITUCIÓN DIGITAL

Teniendo la ortofoto debidamente georreferenciada, se digitalizaron los objetos que a escala 1:10000 era posible diferenciar, teniendo en cuenta el catálogo de objetos del IGAC.

Esta información, junto con las curvas de nivel se estructuraron para generar una Geodatabase conteniendo la información geográfica más completa posible; adicionalmente se generaron archivos tipo Shape y Mxd.

7.2.4.11 ESTRUCTURACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la realizar el proceso de estructuración de los niveles de información capturados en la restitución digital, se utilizaron los programas SIG AutoCad Map y Arcgis.

Se siguieron los siguientes pasos durante este proceso:

- **Identificar los niveles de información.**
Se identifican en el archivo los niveles que se deben estructurar, teniendo en cuenta catalogo de objetos IGAC. Con esta revisión se establecen que niveles tendrán la geometría de punto, línea o polígono.
- **Realizar limpieza o Clean a la información.**
Se le realiza un proceso de limpieza automatizado con herramientas del Autocad Map
- **Crear topología de los niveles.**
- **Edición de errores encontrados en el proceso de topología.**
- **Exportar a achivo Shape.**
Cuando la información ya esta lista sin ningún tipo error se procede a exportar cada nivel de información a un archivo Shape.

▪ **Asignar sistema de Coordenadas.**

A cada archivo nivel representado en un archivo shape con el software ArcGis, se le asigna el sistema de coordenadas que para este proceso es el de Magna Sigas origen Bogotá, con los siguientes parámetros de proyección y Datum:

Projection: Transverse_Mercator	Geographic Coordinate System: GCS_MAGNA
False_Easting: 1000000,000000	Angular Unit: Degree (0,017453292519943299)
False_Northing: 1000000,000000	Datum: D_MAGNA
Central_Meridian: -74,077508	Spheroid: GRS_1980
Scale_Factor: 1,000000	Semimajor Axis: 6378137,00000000000000000000
Latitude_Of_Origin: 4,596200	Semiminor Axis: 6356752,314140356100000000
Linear Unit: Meter (1,000000)	Inverse Flattening: 298,257222101000020000

▪ **Cargar los Shape a la GDB.**

Después de asignar el sistema de coordenadas se carga la información de los shape a la Geodatabase, en la estructura definida, según modelo de datos del IGAC.

▪ **Alimentar las tablas de atributos**

Una vez se tiene la información en formato de Geodatabase, se procede a llenar las tablas de atributos de la información, esto se hace tomando como referencia información del departamento del Putumayo, fuente IGAC, también se utiliza información de imágenes de mapas con toponimia. Esto se hace para los niveles de Drenaje Doble, Drenaje Simple y Manzanas, para las curvas de nivel la información de altura y tipo ya viene contenida en los archivos shape.

La información se estructuró para 10 tiles correspondientes a las siguientes áreas:

- ✓ Azar
- ✓ Chaza
- ✓ Chaza – Guayuyaco
- ✓ Guayuyaco
- ✓ Puumayo Piedemonte Sur (PPDMS)
- ✓ Put 1
- ✓ Put 10
- ✓ Rioblanco
- ✓ Rumiyaco
- ✓ Vía Villagarzón – Orito

Ver Figura 7.10. Indice Tiles Estructuración

Figura 7.10. Indice Tiles Estructuración

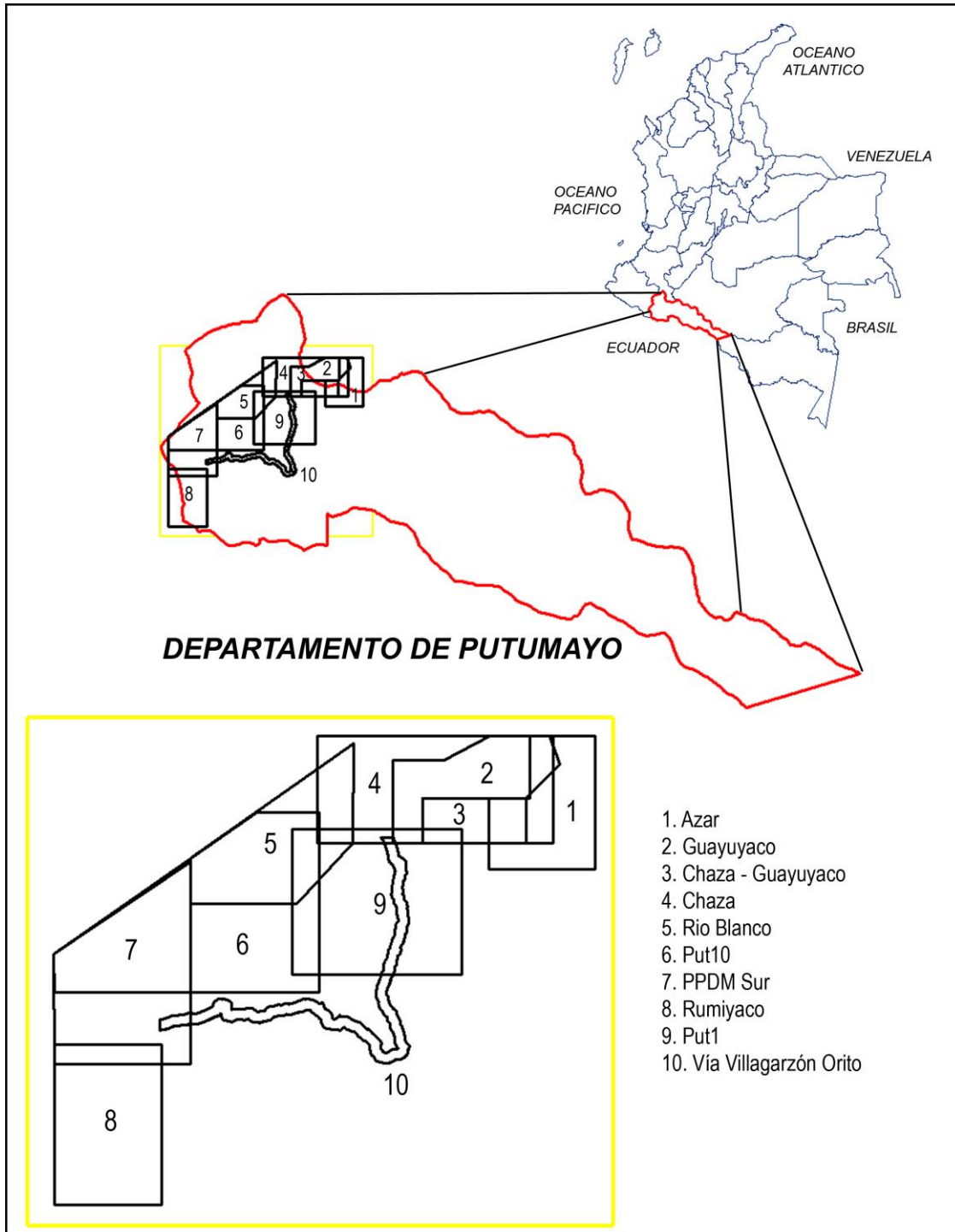


Figura 7.10. Índice Tiles Estructuración

7.2.4.12 CANTIDAD DE OBRA Y TIEMPO EJECUTADO

Ítem	Descripción	Cantidad	Tiempo de Ejecución*
01	Adquisición de fotografías aéreas digitales a color con resolución de 1m por píxel. ➤ Lineas Sísmicas : 4.129 Km	4.129 Km2	4 Semanas
02	Procesamiento digital Corredor Líneas Sísmicas 4.129 Km2: ➤ Introducción de puntos de control a partir de cartografía existente ➤ Aerotriangulación y Ajuste de Bloque ➤ Edición Ortofotos ➤ Generación Ortofotomosaico Digital	4.129 Km2	8 Semanas
03	Generación y Edición de Curvas de Nivel para 4.129 Km2 ➤ Generación de curvas de Nivel cara 10m a partir de Modelo Digital de Elevación de 30m. ➤ Edición de Curvas de Nivel cada 10m	4.129 Km2	13 Semanas
04	Restitución Digital a Escala 1:10.000 ➤ Realizar restitución Digital a Escala 1:10.000, teniendo como guía base el Catálogo de Objetos del IGAC	4.129 Km2	5 Semanas

05	Estructuración de la información <ul style="list-style-type: none"> ➤ Identificar los niveles de información. ➤ Realizar limpieza o Clean a la información. ➤ Crear topología de los niveles. ➤ Edición de errores encontrados en el proceso de topología. ➤ Exportar a archivo Shape. ➤ Asignar sistema de Coordenadas. ➤ Cargar los Shape a la GDB. ➤ Alimentar las tablas de atributos 	4.129 Km2	3 Semanas
-----------	--	------------------	------------------

- En este ítem se informa el tiempo efectivo de la etapa del trabajo.

7.2.4.13 PRODUCTOS A ENTREGAR

- ✓ Fotos aéreas digitales a color
- ✓ Archivos de Correlación y Ortorectificación
- ✓ Ortofotomosaico 4.129 Km2 en formato ECW, IMG, Origen de Coordenadas Bogotá y Magna.
- ✓ Ortofotomosaicos Bloques Putumayo en formatos TIF, IMG y ECW
- ✓ Ortofotomosaicos Tiles Putumayo en formatos TIF, IMG y ECW
- ✓ Modelo Digital de Elevación Formatos TIF y IMG
- ✓ Anaglifos Formato Tif.
- ✓ Restitución Digital en formatos GDB, Shapes y Layer

Ver Anexo 1. Medios Digitales

7.2.5 CONCLUSIONES

- La base cartográfica digital de alta resolución generada a partir de las fotografías aéreas digitales a color proveen información nueva y complementaria incluyendo sistemas de drenaje demás información detallada y actualizada del terreno para apoyar la logística de campo.
- Como herramienta complementaria al trabajo de campo, teniendo en mente las dificultades inherentes a topografía, acceso y calidad de exposiciones, las imágenes de alta resolución producidas por Quimbaya Resources Exploration durante este trabajo, permitirán que los datos reales sean integrados a la información regional del área para lograr entender el sistema estructural en un marco adecuado y coherente.
- La base cartográfica digital de alta resolución se presenta como una valiosa herramienta para observar y evaluar los sitios adecuados para resolver problemas cartográficos, geológicos, de logística y estratégicos, en cuanto a la labor de exploración de hidrocarburos.

8 CUMPLIMIENTOS DE LOS OBJETIVOS DE LA PASANTIA

En el presente cuadro se presenta el indicador de cumplimiento de los objetivos específicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	RESULTADOS OBTENIDOS	CUMPLIMIENTO
Afianzar las competencias adquiridas en la carrera de ingeniería civil, mediante la participación activa en los procesos de producción de datos fotogramétricos empleados por la empresa QRE.	Se trabajo activamente en la empresa QRE durante el año 2011 donde se recolecto experiencia con respecto a los procesos que se llevan a cabo en la fotogrametría digital donde se pudo confrontar el conocimiento adquirido en la universidad del cauca con las nuevas tecnologías que están saliendo al mercado. En esta confrontación se aprendió que la obtención de datos del terreno se esta haciendo cada día mas un proceso automatizado y que hay nuevas tecnologías que nos ayudan en la toma de decisiones en los proyectos de ingeniería. Asi se pudo confrontar que los conocimientos adquiridos en topografía con lo que a manejo de curvas de nivel concierne y a los conceptos básicos de la fotogrametría fueron de gran ayuda en el desarrollo de la pasantía pero me di cuenta que en la formación tuve debilidades en el conocimiento de GPS y los diferentes tipos de datos que se pueden tomar.	100%
Utilizar herramientas computacionales empleadas específicamente en los procesos automatizados de producción de ortofotos, anáglifos, restituciones y modelos de elevación digital.	se conoció y se trabajo en todo el proceso que realiza la empresa QRE en la fotogrametría digital con los programas VIRTUOZOAAT (propietario) VIRTUOZONT (propietario) PATB(propietario) además se aprendió a manejar los programas complementarios del proceso ER MAPER(propietario), MICROSTATION(libre), ORTOVISTA(libre), MAGNASIRGAS(libre), GOOGLE PRO(propietario).	90%
Aplicar herramientas de control de calidad y cuantificación de la exactitud posicional aplicados durante los procesos de producción de ortofotos.	se aprendió a tomar los diferentes tipos de datos de los equipos GPS NacVcom sf 20-40 y sf 20-50, y a reconocer las precisiones que se adquieren con cada uno de los métodos de toma de datos de los GPS. Además se comprendió a interpretar los diferentes tipos de datos que muestra el programa PATB en el ajuste de los bloques. También se conoció los controles de calidad que se realizan a los bloques con los puntos GPS, las imágenes satelitales el programa google earth pro, y la cartografía que posee el IGAC.	80%

9 CONCLUSIONES.

- El conocimiento que se adquiere en la universidad es el pilar para entender los procesos que se llevan a cabo en el manejo de los softwares de la fotogrametría digital los cuales tienen los principios básicos del manejo de los estereoscopios de espejos y tiene un gran manejo de conceptos de topografía.
- Los procesos de fotogrametría son la mayoría totalmente automatizados, por lo cual es de vital importancia que el equipo de trabajo realice cada uno de los procesos con gran cuidado y responsabilidad pues de ello depende la calidad del producto final.
- Los procesos de fotogrametría en su mayoría van sujetos a criterios de visualidad que cada uno de los operarios de los softwares realiza, es por eso recomendable que en cada proyecto se conformen equipos de trabajo lo más pequeños posible para tener un mayor control en los procesos que conllevan a los productos finales.
- La calidad de la fotogrametría digital aumenta en lugares donde el terreno es menos ondulado esto a causa que la deriva (posicionamiento de un ángulo de las fotos respecto a un punto) es menor y al software se correlaciona las fotografías de una forma mas apropiada.
- Los principales problemas en el montaje de bloques para generar orto fotos se produce en zonas boscosas pues el programa realiza una correlación de pixeles y estos varían mucho en dichas zonas.
- En los procesos de fotogrametría es de vital importancia realizar un cronograma de actividades para determinar el tiempo adecuado que tendrá cada uno de los procesos y así llevar a término un proyecto en el tiempo estipulado.
- Aunque los procesos que se llevan a cabo en la fotogrametría se ejecutan con softwares muy avanzados, la calidad del producto siempre está sujeta a el manejo que el operador de a los programas.

10 RECOMENDACIONES

- Para un mejor desarrollo de los procesos es de vital importancia que en la ejecución de la toma de puntos de control se haga una distribución homogénea de estos puntos y además esta toma de puntos se haga con un buen tiempo de recepción para aumentar la calidad de la información que toma el GPS.
- El proceso de densificación de los bloques es uno de los procesos que lleva mayor tiempo de ejecución, es por ello muy necesario que el personal que realice este proceso tenga experiencia para evitar errores que afectan los futuros procesos de ajuste y balance de los bloques lo cual lleva a una pérdida de tiempo.
- La información que nos brinda la fotogrametría digital es de gran exactitud en lo que concierne a la georreferenciación y diseño de restituciones cartográficas pero los datos obtenidos de topografía se deben emplear para el cálculo de diseños previos.

11 BIBLIOGRAFÍA

MANUAL NAVCOM TECHNOLOGY, **Manual GPS sf20-40** Edicion 2008. REF 8

MANUAL VirtuoZO AAT, supresoft inc., **virtuoZo 3.3** 2003. REF 9

FOTOGRAMETRÍA Y FOTOGRAFÍA AÉREA [En línea], Disponible en (http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_07/index_clase_07.html), , [Visitado el 14 de octubre de 2011]. REF 1

QUÉ ES UN MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (MDE)? [En línea] Disponible en: (www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx), [Visitado el 16 de febrero de 2012]. REF 2

SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO [En línea] Disponible en (<http://es.wikipedia.org>), [Visitado el 16 de febrero de 2012]. REF 3

MAGNA-SIRGAS [En línea], Disponible en (http://www2.igac.gov.co:8080/igac_web/UserFiles/File/MAGNAWEB_final/MAGNAEco.htm), [Visitado el 16 de febrero de 2012]. REF 4

¿QUÉ ES LA CORRECCIÓN DIFERENCIAL? [En línea], Disponible en (http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Geodesia/record/red_analogica/corrdif.htm), [Visitado el 16 de febrero de 2012]. REF 5

STARFIRE NETWORK, presentacion power point, **Navcom_WEB_LANDCOM_R04** , Christian Carrasco REF 6

STARFIRE™ NETWORK ? [En línea], Disponible en (www.gpsinformation.net), , [Visitado el 14 de febrero de 2011]. REF 7

