





**ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: GENERACIÓN DE ORTOFOTOS Y CARTOGRAFÍA 2D  
Y 3D MEDIANTE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS  
DIGITALES CON INTERGRAPH ERDAS IMAGINE**

**AUTOR: GUILLERMO ISRAEL, BARRAGÁN BENÍTEZ**

**DIRECTOR: ING. ALEXANDER, ROBAYO**  
**CODIRECTOR: ING. EDUARDO, KIRBY**

**SANGOLQUÌ**  
**2015**

**CERTIFICADO, DIRECTOR, CODIRECTOR**

Ing. Alexander Robayo

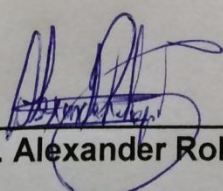
Ing. Eduardo Kirby

Certifican:

Que el trabajo titulado “GENERACIÓN DE ORTOFOTOS Y CARTOGRAFÍA 2D Y 3D MEDIANTE PROCESOS FOTOGRAFAMÉTRICOS DIGITALES CON INTERGRAPH ERDAS IMAGINE”, realizado por Guillermo Israel Barragán Benítez, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

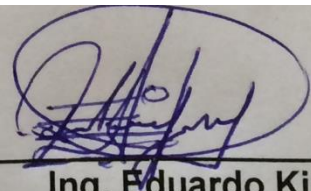
El trabajo en mención consta de dos empastados y dos discos compactos el cual contienen el documento en formato portátil de Acrobat (.pdf).

Sangolquí, 26 de agosto de 2015



---

Ing. Alexander Robayo



---

Ing. Eduardo Kirby

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

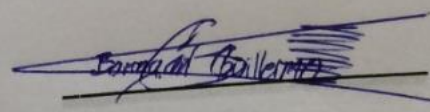
Guillermo Israel Barragán Benítez

### Declaro que:

El proyecto de grado titulado “GENERACIÓN DE ORTOFOTOS Y CARTOGRAFÍA 2D Y 3D MEDIANTE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES CON INTERGRAPH ERDAS IMAGINE”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que se incluyen en el documento y cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 26 de agosto de 2015



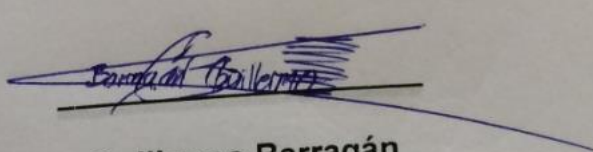
Guillermo Barragán

## AUTORIZACIÓN

Yo, Guillermo Israel Barragán Benítez

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución el proyecto de grado titulado "GENERACIÓN DE ORTOFOTOS Y CARTOGRAFÍA 2D Y 3D MEDIANTE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITALES CON INTERGRAPH ERDAS IMAGINE" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 26 de agosto de 2015



Guillermo Barragán

## DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo en el camino del conocimiento y dejar que la vida misma me inspire a alcanzar mis anhelos.

A mi hermano Mauricio por siempre brindarme una palabra de aliento y creer en mí; a mi hermano Kevin por compartir cada momento en el que podíamos estar juntos.

A mis tíos y familia en general por siempre recogerme en sus hogares con buena vibra y saber compartir una acción o palabra que haga continuar mis metas.

A mis abuelos que en vida compartieron conmigo y los que siguen acá, por brindarme ese cariño tan profundo que hizo más de una vez que sintiera aquella energía de familia que nos une.

A Dios, quien ha sido la compañía y fuerza a cada paso, ayudándome a entender de mis errores y brindando la protección dentro del hogar.

A ti, San.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis amigos y amigas, que estuvieron junto a mí en los momentos más especiales y también en los que pudieron levantarme de mis derrotas.

A mi amigo Santiago Lucero, por brindarme su amistad y apoyo incondicional.

A los maestros, maestras y personal administrativo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, quienes comparten un vínculo especial en su morada politécnica compartiendo no solo su conocimiento, sino también su amistad.

En especial agradezco a mi Director y Co-Director de tesis Ing. Robayo e Ing. Paulina Guevara por su ayuda y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

## ÍNDICE

CERTIFICADO, DIRECTOR, CODIRECTOR .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
CAPÍTULO I .....	1
1 GENERALIDADES .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	2
1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	3
1.5 OBJETIVOS .....	3
1.5.1 Objetivo General .....	3
1.5.2 Objetivos Específicos .....	4
1.6 Metas .....	4
2 MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 GENERALIDADES SOBRE EL GNSS .....	5
2.1.1 Estaciones de Monitoreo Continuo .....	5
2.1.2 Métodos de Posicionamiento GPS .....	6
2.1.3 Datos EPEC .....	8
2.2 FOTOGRAMETRÍA .....	9
2.2.1 Fotogrametría digital .....	10
2.2.2 Tendencias de la fotogrametría .....	11
2.2.3 Cámaras Digitales .....	11
2.2.4 Formatos .....	13
2.2.5 Certificado de calibración .....	15
2.2.6 Arquitectura del Sistema y Escala .....	19
2.3 BLOQUE FOTOGRAMÉTRICO .....	21
2.3.1 Orientaciones .....	21
2.3.2 Puntos de apoyo fotogramétrico .....	28
2.3.3 Control terrestre .....	30
2.3.4 Aerotriangulación .....	34
2.4 MODELOS DIGITALES .....	37
2.4.1 Modelo Digital del Terreno (MDT) .....	38
2.4.2 Modelo Digital de Elevaciones (MDE) .....	39



2.4.3	Modelo Digital de Superficies (MDS).....	39
2.4.4	Errores del Modelo Digital .....	40
2.5	IMÁGENES CORREGIDAS.....	40
2.5.1	Ortofoto .....	40
2.5.2	Ortomosaico .....	41
2.6	RESTITUCIÓN .....	42
2.6.1	Restitución 2D .....	43
2.6.2	Restitución 3D .....	43
2.6.3	Errores de la Restitución .....	44
2.7	TEORIA ESTADÍSTICA.....	45
2.7.1	RMS .....	45
2.7.2	Correlación .....	45
2.7.3	Matriz varianza y covarianza .....	46
2.7.4	Media .....	46
2.7.5	Desviación Estándar .....	46
2.8	CONTROL DE CALIDAD.....	46
CAPÍTULO III.....		48
3	METODOLOGÍA Y RESULTADOS .....	48
3.1	METODOLOGÍA .....	48
3.1.1	OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	48
3.1.2	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	54
3.1.3	CONTROL TERRESTRE .....	56
3.1.4	BLOQUE FOTOGRAMÉTRICO .....	59
3.1.5	RESTITUCIÓN.....	76
3.2	RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD.....	90
3.2.1	Ortoimagen .....	90
3.2.2	Restitución 2D y 3D.....	92
CAPÍTULO IV.....		94
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
4.1	CONCLUSIONES .....	94
4.2	RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....		98
ANEXOS.....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO 1 .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO 2 .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO 3 .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ANEXO 4 .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

ANEXO 5 .....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 6 .....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 7 .....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 8 .....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 9 .....	¡Error! Marcador no definido.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Área de estudio delimitada por 4 coordenadas.....	3
Figura 2.1 Distribución de las 33 estaciones GNSS en el Ecuador .....	5
Figura 2.2 Tipos de posicionamiento .....	6
Figura 2.3 Posicionamiento absoluto .....	6
Figura 2.4 Posicionamiento relativo .....	7
Figura 2.5 Posicionamiento estático .....	7
Figura 2.6 Posicionamiento estático rápido .....	8
Figura 2.7 Estación de monitoreo continuo EPEC .....	9
Figura 2.8 Fotogrametría terrestre.....	10
Figura 2.9 Fotogrametría digital .....	10
Figura 2.10 Primera cámara aérea WILD C1 .....	12
Figura 2.11 Unidad del sensor (izquierda) y el sistema de almacenamiento a bordo (derecha), componentes de la Ultracam XP .....	13
Figura 2.12 Reporte calibración cámara UltraCam XP .....	13
Figura 2.13 Cámara aérea WILD C2 .....	14
Figura 2.14 WILD C3 .....	14
Figura 2.15 WILD RC3.....	14
Figura 2.16 WILD RC8.....	15
Figura 2.17 Certificado calibración cámara analógica parte 1 .....	16
Figura 2.18 Certificado calibración cámara analógica parte 2 .....	17
Figura 2.19 Certificado calibración cámara digital parte 1 .....	18
Figura 2.20 Certificado calibración cámara digital parte 2 .....	18
Figura 2.21 Cámara de color de alta calidad .....	20
Figura 2.22 Imagen aérea con GSD de 30 cm.....	21
Figura 2.23 Rayos de luz impresionan placas mediante haces perspectivas .....	22
Figura 2.24 Orientación interna.....	23
Figura 2.25 Coordenadas PPA según rotación de la cámara y dirección de vuelo .....	23
Figura 2.26 Orientación externa.....	24
Figura 2.27 Distribución de Von Grüber sobre un par fotogramétrico.....	25
Figura 2.28 Condición de coplanaridad .....	25
Figura 2.29 Condición de colinealidad .....	26
Figura 2.30 Definición de paralaje absoluta.....	26
Figura 2.31 Orientación Directa .....	27
Figura 2.32 Ejemplo de GCP .....	28
Figura 2.33 Check point, en un cruce de vías, extraído de un mapa .....	29
Figura 2.34 Tie Points.....	30
Figura 2.35 Distribución GCP en un bloque fotogramétrico.....	31
Figura 2.36 Distribución de puntos de apoyo planimétrico según Ackermann .....	31
Figura 2.37 Precisiones de la distribución según Ackermann.....	32
Figura 2.38 Distribución de los GCP .....	32
Figura 2.39 Aerotriangulación Digital .....	34
Figura 2.40 Bloque izquierda compensación planimétrica y bloque derecha compensación tridimensional.....	35
Figura 2.41 Distribución de las imágenes de los puntos utilizados en la compensación del bloque fotogramétrico .....	36

Figura 2.42 Modelo digital de un área determinada.....	38
Figura 2.43 Ejemplos de TIN y Raster.....	38
Figura 2.44 Ejemplo de MDE, territorio de Sur África.....	39
Figura 2.45 Modelo digital de superficie.....	39
Figura 2.46 Ortofoto con fotografías de la cámara WILD RC30.....	40
Figura 2.47 Especificaciones técnicas de ortofotos digitales.....	41
Figura 2.48 Ortomosaico.....	41
Figura 2.49 Tamaño de GSD y tamaño mínimo de los objetos.....	42
Figura 2.50 Escala de restitución en función del GSD.....	42
Figura 2.51 Especificaciones técnicas ortofotos digitales.....	43
Figura 2.52 Restitución 3D.....	43
Figura 2.53 Precisión altimétrica en función de la escala del mapa.....	45
Figura 3.1 Anexo 2 de UltraCam XP.....	49
Figura 3.2 Especificaciones técnicas de ortofotos digitales.....	49
Figura 3.3 Especificaciones técnicas para cartografía escala 1:5.000.....	50
Figura 3.4 Resolución de digitalización de fotografías aéreas.....	50
Figura 3.5 Archivo APLANIX (izquierda) e IMU/GPS final (derecha).....	51
Figura 3.6 Posibles errores en archivo IMU/GPS.....	51
Figura 3.7 Ratificación de un valor del IMU/GPS.....	52
Figura 3.8 Certificado de calibración Vexcel Ultracam XP.....	53
Figura 3.9 Valores de PPA dependiendo la rotación de la cámara.....	53
Figura 3.10 Valor del PPA que ingresa el IGM.....	54
Figura 3.11 Traslapo Longitudinal.....	54
Figura 3.12 Traslapo Transversal.....	55
Figura 3.13 Área exclusiva de trabajo.....	55
Figura 3.14 Distribución de 5 GCP en el Bloque Fotogramétrico.....	56
Figura 3.15 Distribución de los 7 GCP en el Bloque Fotogramétrico.....	57
Figura 3.16 Distribución de los 11 GCP en el Bloque Fotogramétrico.....	57
Figura 3.17 Lugares foto-identificables sector Rumiloma.....	58
Figura 3.18 Lugares foto-identificables sector ESPE.....	58
Figura 3.19 Lugares foto-identificables sector vía al Aeropuerto.....	58
Figura 3.20 Creación del bloque fotogramétrico.....	59
Figura 3.21 Tipo de cámara.....	60
Figura 3.22 Sistema coordinado de referencia.....	60
Figura 3.23 Propiedades del bloque fotogramétrico.....	61
Figura 3.24 Creación de la cámara con especificaciones.....	61
Figura 3.25 Ingreso al entorno de ingreso de IMU/GPS.....	62
Figura 3.26 IMU/GPS estructurado según columnas de mapeo.....	62
Figura 3.27 Entorno de Imagine photogrammetry.....	63
Figura 3.28 Imágenes cargadas y cámara digital seleccionada.....	63
Figura 3.29 Ingreso del tamaño de CCD de la cámara.....	63
Figura 3.30 Ratificación de los valores ingresados para el IMU/GPS.....	64
Figura 3.31 Entorno del bloque fotogramétrico.....	64
Figura 3.32 Creación de layer piramidales a todas las imágenes.....	65
Figura 3.33 Layer piramidales construidos para todas las imágenes.....	65
Figura 3.34 Entorno de Point Measurement.....	66
Figura 3.35 Punto de Von Grüber colocados en las imágenes.....	66
Figura 3.36 Ingreso de los GCP.....	67
Figura 3.37 Realización de los tie point.....	67
Figura 3.38 Reporte del proceso automático de los tie point.....	68

Figura 3.39 Ingreso a las propiedades de la aerotriangulación .....	68
Figura 3.40 Inicio de la aerotriangulación con parámetros definidos .....	69
Figura 3.41 Resumen aerotriangulación con 11 GCP.....	69
Figura 3.42 Resumen aerotriangulación con 7 y 5 GCP .....	69
Figura 3.43 Reporte de la aerotriangulación.....	70
Figura 3.44 Aceptar el ajuste de la aerotriangulación.....	70
Figura 3.45 Orientación exterior realizada .....	70
Figura 3.46 Selección del método de extracción del MDT .....	71
Figura 3.47 Configuración del archivo de salida .....	71
Figura 3.48 Bloque fotogramétrico dividido en elementos .....	72
Figura 3.49 Comando o ventana BATCH .....	72
Figura 3.50 MDE realizado mediante el método eATE .....	73
Figura 3.51 MDS realizado mediante el método Classic eATE .....	73
Figura 3.52 Archivo de calidad del MDS.....	74
Figura 3.53 Especificaciones generales para la ortoimagen.....	74
Figura 3.54 Especificaciones avanzadas para la ortoimagen .....	75
Figura 3.55 Ortoimagen generada con MDE obtenido de eATE.....	75
Figura 3.56 Ortoimagen generada con MDS obtenido de Classic eATE .....	76
Figura 3.57 Diferencia significativa entre ortoimágenes según MDT extraído .....	76
Figura 3.58 Creación de un nuevo archivo .dgn .....	77
Figura 3.59 Editor de niveles .....	77
Figura 3.60 Administrador de proyectos del PRO 600.....	77
Figura 3.61 Ingreso del archivo .dgn al proyecto .....	78
Figura 3.62 Parámetros de project files y project parameters.....	78
Figura 3.63 Parámetros de initial view y tolerances.....	78
Figura 3.64 Parámetros de stream .....	79
Figura 3.65 Ingreso al administrador de archivos célula.....	79
Figura 3.66 No habilitado el botón de crear un objeto .....	80
Figura 3.67 Definir el origen o centro del objeto .....	80
Figura 3.68 Habilitación del botón create e introducción del objeto .....	80
Figura 3.69 Archivo célula creado con un objeto .....	81
Figura 3.70 Creación nueva librería de PRO600 .....	81
Figura 3.71 Creación nuevos atributos a restituir.....	81
Figura 3.72 Atributo editado según nivel asignado .....	82
Figura 3.73 Atributo célula llamado por el nombre.....	82
Figura 3.74 Catalogación completa .....	82
Figura 3.75 Ingreso a PRO600 para la restitución .....	83
Figura 3.76 Design files, donde se aloja el archivo .dgn.....	83
Figura 3.77 Ubicar el archivo .rsc dentro de la librería de PRO600.....	84
Figura 3.78 Ingreso del archivo célula en los archivos del proyecto .....	84
Figura 3.79 Ubicación del seed 3D cargado .....	84
Figura 3.80 Archivos ingresados, necesarios para el proyecto.....	85
Figura 3.81 Ambiente fotogramétrico inicializado .....	85
Figura 3.82 Ingreso a la ventana que edita los mouse o softmouse .....	86
Figura 3.83 Softmouse conectado e ingreso a opciones de los botones .....	86
Figura 3.84 Asignación de un comando específico al softmouse .....	86
Figura 3.85 Softmouse configurado .....	87
Figura 3.86 Visualizador de coordenadas y actividad de softmouse .....	87
Figura 3.87 Selección de un objeto planimétrico .....	88

Figura 3.88 Realización de la restitución planimétrica .....	88
Figura 3.89 Selección de un objeto altimétrico .....	88
Figura 3.90 Trazos de la restitución altimétrica.....	89
Figura 3.91 Interpolación de curvas intermedias .....	89
Figura 3.92 Parámetros para la realización de curvas intermedias .....	89
Figura 3.93 Delimitación de las curvas índice para la interpolación.....	90
Figura 3.94 Curvas intermedias interpoladas .....	90
Figura 3.95 Comparación entre punto de control y ortofoto.....	91
Figura 3.96 Errores ESTE en la ortoimagen .....	91
Figura 3.97 Errores NORTE en la ortoimagen .....	92
Figura 3.98 Comparación entre las coordenadas del punto de control y la restitución .....	92
Figura 3.99 Errores ESTE en la restitución.....	93
Figura 3.100 Errores NORTE en la restitución.....	93
Figura 3.101 Errores en VERTICAL dentro de la restitución .....	93

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 .....	3
Tabla 2.1 .....	9
Tabla 2.2 .....	12
Tabla 2.3 .....	14
Tabla 3.1 .....	48
Tabla 3.2 .....	56

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 2.1 .....	21
Ecuación 2.2 .....	33
Ecuación 2.3 .....	34
Ecuación 2.4 .....	44
Ecuación 2.5 .....	44



## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO 1:** Manual Para La Generación Del Proceso Fotogramétrico Del Sector Rumiñahui A Partir De Fotografías Aéreas Con GSD De 30 Cm En Software Erdas Imagine 2014.

**ANEXO 2:** Manual Para La Generación Del MDT Del Sector Rumiñahui A Partir De Imágenes Aéreas Con GSD De 30 Cm En Software Erdas Imagine 2014.

**ANEXO 3:** Manual Para La Generación De Ortoimágenes Del Sector Rumiñahui A Partir De Imágenes Aéreas Con GSD De 30 Cm En Software Erdas Imagine 2014.

**ANEXO 4:** Manual Para El Licenciamiento Del Software Erdas Imagine 2014 Del Servidor Y Cliente.

**ANEXO 5:** Manual Para La Instalación De Las Gafas Nvidia 3d Vision 2 Para Software Erdas Imagine 2014 Y Microstation V8i

**ANEXO 6:** Manual Para La Creación Del IMU/GPS En Formato .dat.

**ANEXO 7:** Manual Generación Del Archivo Semilla En El Software Erdas Imagine 2014 Con PRO600.

**ANEXO 8:** Manual Para La Configuración Del Softmouse Y Restitución Dentro Del Software Erdas Imagine 2014.

**ANEXO 9:** Mapas de la restitución 2D y 3D generados.

## RESUMEN

El proceso fotogramétrico digital, se realiza mediante varias etapas como: plan de vuelo, control terrestre, aerotriangulación, etc.; en donde se debe considerar varios factores como: altura de vuelo, tipo de cámara, área de estudio, morfología, recubrimientos, entre otros. Luego de la captura de las fotografías y la recopilación de otros insumos, se realizan las orientaciones de las imágenes dentro de un proyecto, reconstruyendo esencialmente la escena inicial de captura, eliminando errores por movimientos del avión, corrigiendo distorsiones, ajustando las imágenes en su verdadera posición en la tierra y calculando la aerotriangulación. En los 100 km<sup>2</sup> de estudio cubiertos por las ortofotos del Valle de los Chillos (GSD 30 cm), a través de la herramienta Advanced Robust Cheking (que elimina automáticamente errores groseros), se posicionaron 11 GCP; obteniendo como resultado de la aerotriangulación: la aceptación de la convergencia y un RMSE de 0.2670 de píxel. Los modelos digitales del terreno (MDE y MDS), son indispensables en la realización de las ortofotos, alcanzando 20 MDS (completos) y 20 MDE (con GAP's); de los cuales, se escogieron los MDS para la generación de 20 ortofotos y 1 Ortomosaico. Para la restitución, la configuración del software y hardware fueron indispensables; en ese sentido, se generó un archivo semilla a escala 1:5000, que ayuda en el ambiente fotogramétrico el ingreso de los objetos a restituir, tanto planimétricos como altimétricos. En el control de calidad se tomaron 8 puntos GNSS/GPS distribuidos aleatoriamente; alcanzando en la comparación de las ortofotos y restitución, desplazamientos menores a 17 cm; demostrando, que tanto la ortoimagen como la restitución cumplen con la normativa cartográfica del IGM para escala 1:1000. Finalmente, con la realización de esta tesis, tanto personas externas como estudiantes cuentan con una metodología y manuales para la generación de un proyecto fotogramétrico digital.

**PALABRAS CLAVE: RMSE, GCP, ORTOFOTO, RESTITUCIÓN, MDT**

## SUMMARY

The digital photogrammetric process is carried out through several stages like: flight plan, ground control, aerotriangulation, etc; where if must consider many factors as: flight altitude, camera type, area of study, morphology, coatings, among others. After the capture of photographs and compilation of other inputs, realize the orientation s of the images within a project, essentially rebuilding the opening scene of capture, eliminating errors by aircraft movements, correcting distortions, adjusting images in their true earth position and calculating the aerotriangulation. In the 100 km<sup>2</sup> of study covered by the orthophotos of Valle de los Chillos (GSD 30 cm), through the tool Advanced Robust Checking (which automatically remove gross errors), were positioned 11 GCP; obtaining from the aerotriangulation: the acceptance of convergence and a 0.2670 píxel as RMSE residual. Digital Terrain Models (DEM and MDS), are indispensable in the realization of orthophotos, reaching 20 MDS (entire) and 20 DEM (with GAP's); of which the MDS were chosen for generating 20 orthophotos and 1 orthomosaic. For restitution, software and hardware configuration they were indispensable; in this sense, it was generated a seed file to the scale of 1:5000, that helps to input the objects into the photogrammetric environment, both planimetry and altimetry. In quality control 8 GNSS/GPS points were taken randomly distributed; reaching in the comparison of the orthophotos and restitution, a small displacements less than 17 cm; demonstrating that the orthoimage and the restitution, satisfy with the IGM cartographic regulations to scale 1:1000. Finally, with the accomplishment of this thesis, both outsiders and students have a methodology and manuals for generation of a digital photogrammetric project.

**KEYWORDS: RMSE, GCP, ORTHOPHOTO, RESTITUTION, DMT**

## **CAPÍTULO I**

### **1 GENERALIDADES**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

En el año 2009 el MAGAP transforma los procedimientos tradicionales fotogramétricos ejecutados en Ecuador, con la contratación de procesos e insumos digitales para la generación del catastro rural.

En los procesos actuales de generación de cartografía, el Instituto Geográfico Militar (IGM) como la institución rectora de cartografía nacional, ha volcado sus procesos con el uso de tecnologías digitales de punta, por tanto, sus productos ofrecen confiabilidad en sus procesos y precisión.

La Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE acorde con el avance tecnológico adquiere en el 2014 estaciones fotogramétricas digitales.

Al ser una tecnología nueva, las instituciones indicadas tienen escasa información de cómo ejecutar los procesos y los productos adquiridos en su mayoría falta validar las precisiones obtenidas; por lo que, existe la necesidad de investigar cómo optimizar los procesos fotogramétricos digitales, con uso de software específico y determinar las precisiones que se alcanzan.

#### **1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Hoy en día la fotogrametría está afrontando un proceso de transición de la etapa analítica a la digital, dejando atrás el uso de fotogramas y utilizando imágenes digitales; pasando de equipos analógicos, semi-analíticos, analíticos a digitales; en ese sentido, los nuevos proyectos y procesos requieren la utilización de tecnologías de la información actualizados. Instituciones destacadas del país, han dejado atrás los procesos convencionales y han incorporado el uso de la era digital, invirtiendo en equipos y contratación de proyectos con empresas extranjeras por la falta de equipamiento. En la actualidad, ya se han obtenido productos, resultados, pero muchos de los usuarios, en su mayoría no conocen cómo utilizarlos y

darles su mejor funcionalidad, debido a que el detalle de estos productos no se encuentra descrito como prioridad para la ejecución de subprocesos.

La Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, en función de sus competencias y búsqueda de la excelencia en la educación, ha invertido en la adquisición de equipos, software y tecnología de punta, como es el caso de las estaciones fotogramétricas digitales; requiere por tanto, investigar su uso y potencialidad, generar procedimientos para afrontar los retos que demanda el Estado Ecuatoriano, la investigación y la evolución. Por ende, la investigación sobre el potencial de esta adquisición, así como los productos que se puedan generar, busca satisfacer futuros proyectos de investigación, vinculación con la sociedad y la transferencia de conocimientos a los alumnos de la Carrera.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La importancia de tener detallado un proceso, conlleva a la comprensión tanto de criterios cartográficos como sus procesos que conducen a la obtención del producto final.

La finalidad del proceso fotogramétrico digital, no solo es obtener la información mediante herramientas tecnológicas, sino que ayude a los profesionales en el uso de información confiable, además de que se amplíe su conocimiento en el campo fotogramétrico, ya que este proceso, más allá de solo usar un programa, conlleva más bien a poder configurar tanto sus componentes de software como de hardware.

La información detallada de ciertos procesos específicos para generar los productos anhelados, ayudará a que en base a estos conocimientos pre-establecidos se pueda profundizar en otros módulos del programa que ofrecen herramientas potenciales en el campo de Sensores Remotos, abriendo así, un interés por descubrir nuevos productos que puedan convertirse en insumos valiosos dentro del campo geográfico.

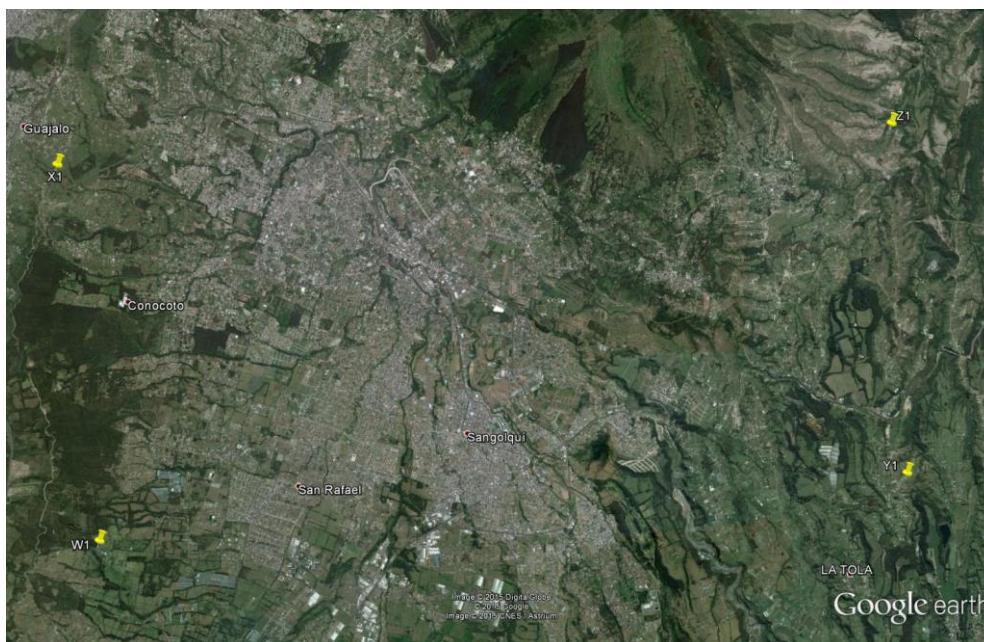
## 1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto se encuentra al sur de la provincia de Pichincha, dentro de las parroquias de San Rafael y Sangolquí, delimitado por las coordenadas de referencia de la Tabla 1.1 y como muestra la **Figura 1.1**.

Tabla 1.1

**Coordenadas que definen el área de estudio<sup>1</sup> expresadas en el sistema WGS84 UTM Zona 17**

<b>Nº</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Sur (m)</b>
<b>W1</b>	777374,81	9961836,60
<b>X1</b>	777033,63	9968278,44
<b>Y1</b>	791422,05	9962333,69
<b>Z1</b>	791501,75	9968414,18



**Figura 1.1 Área de estudio delimitada por 4 coordenadas**

Fuente: (Google Earth, 2015)

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo General

Generar ortofotos y cartografía 2d y 3D para escalas grandes mediante procesos fotogramétricos digitales, con software especializado para la configuración, edición y uso de las estaciones fotogramétricas digitales de la

<sup>1</sup> El área del bloque fotogramétrico es mayor al área de la restitución, para esta se tomará un solo modelo.

Carrera, como insumo para la elaboración de cartografía y transferencia de conocimientos hacia los estudiantes.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Ajustar el Bloque Fotogramétrico mediante imágenes digitales y puntos aerotriangulados.
- Generar un Modelo Digital de Terreno (MDT) por correlación.
- Obtener la ortoimagen.
- Establecer los objetos a restituir mediante el catálogo de objetos.
- Configurar el entorno para la restitución digital.
- Restituir los objetos planimétricos y altimétricos.
- Realizar un control de calidad de los productos obtenidos.

### **1.6 Metas**

- Un manual del proceso fotogramétrico para escalas grandes.
- Un manual para elaborar un MDS.
- Un manual sobre el proceso para la generación de la Ortofoto.
- Un manual para la configuración del hardware y software.
- Un manual de restitución.
- Un mapa 1:5000 del área de estudio.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 GENERALIDADES SOBRE EL GNSS

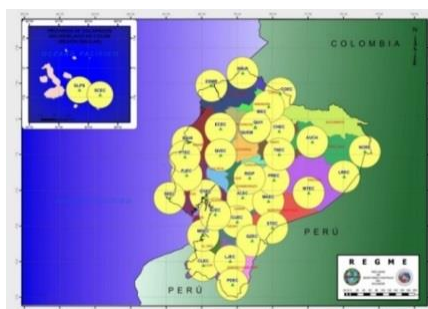
“El término, Sistema de Navegación Global por Satélite, se refiere a una constelación de satélites que proporcionan señales desde el espacio transmitiendo información de posición y tiempo” (EGNOS, 2011).

##### 2.1.1 Estaciones de Monitoreo Continuo

Estas estaciones están posicionadas sobre una superficie fija y se mantienen registrando datos de varios GNSS a la vez, dependiendo de la capacidad del mismo; obteniendo información sobre un punto fijo en un tiempo de referencia, estas coordenadas se podrían utilizar como base en el post-proceso de puntos tomados con otro receptor móvil, a más de otras funcionalidades de estas estaciones como datos hidrológicos, etc.

El IGM, con el apoyo de instituciones públicas y privadas del país, ha establecido la REGME, que es el conjunto de estaciones GNSS (GPS+GLONASS) de monitoreo continuo, enlazadas a la Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE) y a la Red Continental SIRGAS-CON (GEOPORTAL IGM, 2010).

La Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador, actualmente cuenta con 33 (ver **Figura 2.1**) estaciones GPS/GNSS instaladas, cubriendo casi el 90% del País con un radio de 100km c/u de ellas (Pazmiño & Bravo, 2014).

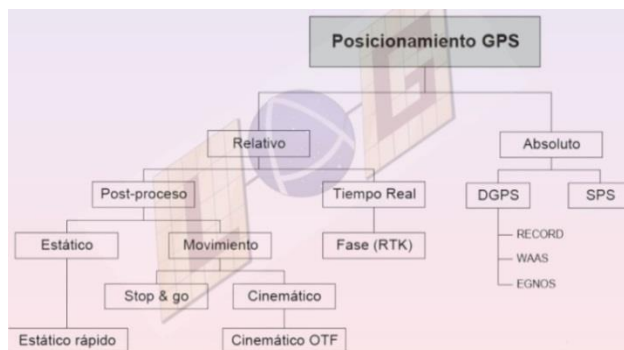


**Figura 2.1 Distribución de las 33 estaciones GNSS en el Ecuador**  
Fuente: (IGM)



## 2.1.2 Métodos de Posicionamiento GPS

Existen varias formas por las cuales se puede posicionar un punto sobre la superficie terrestre, pero dependiendo de la técnica se puede dividir a los métodos de la siguiente forma (**Figura 2.2**):

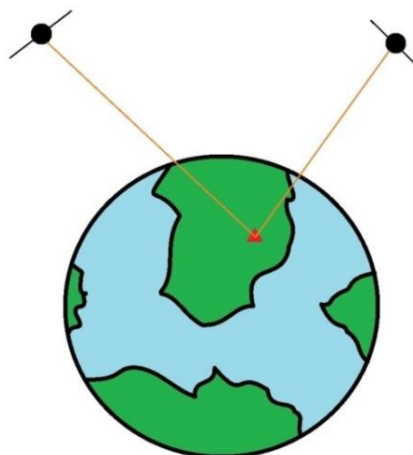


**Figura 2.2 Tipos de posicionamiento**

Fuente: (Universidad de Cádiz, 2009)

### 2.1.2.1 Posicionamiento Absoluto

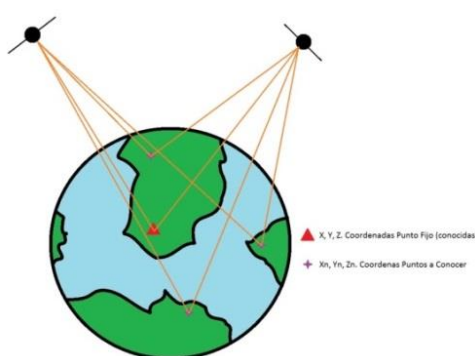
Según manifiestan (Berrocoso, M., Sánchez, A., Pérez, A., Jigena, B., Fernández, J., & Páez, R., 2009; Universidad de Sonora, 2008; Noguera, G., Mangiaterra A., & Huerta E., 2005; Ghio, G., 2008) se lo realiza con un solo receptor (ver **Figura 2.3**), que recibe la señal de los satélites de una manera independiente y opera de forma que mide la distancia a cada satélite que se encuentre en órbita, sobre el área rastreada por el equipo y establece coordenadas sobre el terreno, no tiene alguna corrección.



**Figura 2.3 Posicionamiento absoluto**

### 2.1.2.2 Posicionamiento Relativo

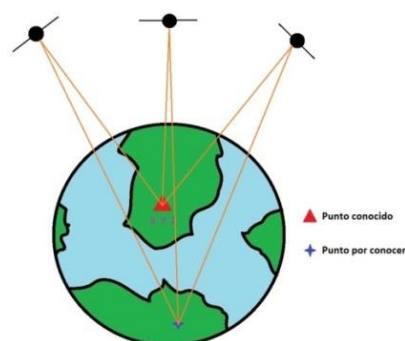
Los autores (Berrocoso et al., 2009; Universidad de Sonora, 2008) expresan que se mantiene una base fija rastreando, mientras uno o varios receptores se desplazan o mantienen en puntos donde se desean posicionar (ver **Figura 2.4**); para esto, ejecutan observaciones al mismo tiempo a los mismos satélites en un lapso de tiempo; las coordenadas de la base son pre establecidas de precisión y las obtenidas del levantamiento requieren de un post proceso.



**Figura 2.4 Posicionamiento relativo**

- **Método Estático**

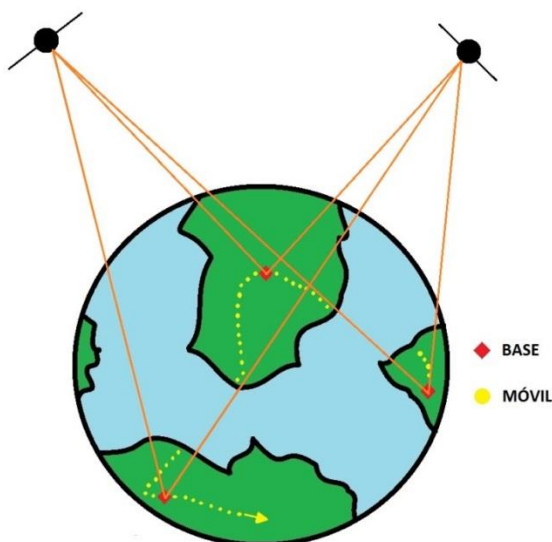
Para este método (Berrocoso et al., 2009; Universidad de Sonora, 2008; Noguera, G., Mangiaterra A., & Huerta E., 2005; Ghio, G., 2008) ostentan que receptor permanece firme sobre el punto cuyas coordenadas se necesitan conocer, mientras otro recibe datos de una posición conocida (ver **Figura 2.5**); el resultado alcanzado por este método se da por el promedio de las posiciones obtenidas. El tiempo necesario es desde 1 a 2 horas en adelante.



**Figura 2.5 Posicionamiento estático**

- **Método Estático Rápido**

Se fundamenta en el método estático con la diferencia de que se puede reducir el tiempo de posicionamiento (ver **Figura 2.6**), alcanzando precisiones similares al método estático. El tiempo necesario es de máximo 1 hora.



**Figura 2.6 Posicionamiento estático rápido**

### 2.1.3 Datos EPEC

Esta estación se encuentra ubicada en la terraza del edificio del laboratorio de la carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (ver **Figura 2.7**), sobre un pilar de 1.5 m e alto y tiene la siguiente información (Mejía, 2014):

- Tipo receptor: TRIMBLE NETR9.
- Tipo de antena: GNSS Choke w/SCIS Dome.
- Observables: (7) C1, L1, P1, S1, P2, L2, S2.
- Intervalo de registro: 1 segundo.
- Ángulo de máscara: 0 grados.
- Archivo Diario: Si.



**Figura 2.7 Estación de monitoreo continuo EPEC**

Las coordenadas pre-establecidas para este punto se muestran en la **Tabla 2.1**.

Tabla 2.1

**Coordenadas oficiales base EPEC**

<b>Coordenadas Geodésicas</b>			
Latitud	0°18'53.61237" S	SIGMA	0.024 m
Longitud	78°26'46.76473" W	SIGMA	0.031 m
Altura Elipsoidal	2523.067 m	SIGMA	0.025 m
<b>Coordenadas Planas (UTM 17 SUR)</b>			
Norte	9965160.102 m	SIGMA	0.024 m
Este	784250.746 m	SIGMA	0.031 m

Fuente: (IGM, 2014)

## 2.2 FOTOGRAMETRÍA

“La fotogrametría es realmente un sensor remoto, pues la toma fotográfica captura información de los objetos” (Universitat Politècnica de Catalunya, 2010).

Según la Universidad Industrial de Santander (2005) la palabra Fotogrametría proviene de palabras griegas: “photos” se traduce como luz, “gramma” se traduce lo que está dibujado o escrito y “metron” se traduce medir, por lo tanto es medir gráficamente por medio de luz.

“La fotogrametría (ver **Figura 2.8**) es la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto” (Bonneval, 1972).



**Figura 2.8 Fotogrametría terrestre**  
Fuente: (CARTODATA, 2014)

### 2.2.1 Fotogrametría digital

Es un tipo de fotogrametría en el cual los datos de entrada están en un formato digital obtenidos de fotos aéreas (ver **Figura 2.9**), de tal forma que el modelo estereoscópico se lo corrige digital o numéricamente.

Es importante en la Fotogrametría Digital lo relacionado al tratamiento digital de imágenes.



**Figura 2.9 Fotogrametría digital**  
Fuente: (RUNCO, 2014)

### 2.2.2 Tendencias de la fotogrametría

La situación actual del mundo fotogramétrico se caracteriza por varias tendencias:

- La prospección del mercado es abaratar paulatinamente los nuevos productos digitales e informáticos y que los programas a nivel usuario sean más amigables y sencillos.
- La integración de datos (alfanuméricos, gráficos y audiovisuales) en Sistemas de Información Geográfica (SIG), de diseño asistido por ordenador (CAD), bases de datos (BD) e internet.
- Sistemas digitales automatizados multitarea y multiproducto, de fácil manejo, compatibles y abiertos. En una misma estación fotogramétrica digital se pueden realizar orientaciones, modelos digitales, ortoimágenes, visualizaciones tridimensionales, triangulaciones, filtros, clasificaciones, videos, etc (Aparicio, 2007).
- Las cámaras de última tendencia, que se acoplan con mayor facilidad a cualquier sistema que la pueda transportar.
- Los sensores multiespectrales, ayudan a tener un mayor rango dentro del espectro electromagnético.
- El sistema IMU/GPS, que se acopla a la cámara, obtiene datos de posición y movimientos efectuados por el sistema que moviliza el sensor.

### 2.2.3 Cámaras Digitales

La publicadora Geomares Publishing (2008), hace referencia que las primeras cámaras digitales aéreas (ver **Figura 2.10**) se presentaron a la comunidad fotogramétrica en el congreso ISPRS del 2000 en Amsterdam. Z/I Imaging, (hoy Intergraph) y LH (hoy Leica Geosystems), fueron las dos empresas que transcurrieron por esta innovación. En la década de 1990, comenzó el ensayo en el desarrollo de las cámaras aéreas digitales, los problemas del diseño básico fueron: capturar más píxeles en el plano focal, el nivel apropiado de detalle indispensable para la cobertura del terreno y la forma de adquirir imágenes en color. Las soluciones básicas dieron lugar a

las celdas Charge Couple Device (CCD) en el plano focal o utilizar varios chips de área CCD. La respuesta área-celda CCD está en una cámara que consta de varios conos (multi-cabezales). Por ejemplo, la cabeza del sensor de la cámara Vexcel de UltraCamX.



**Figura 2.10 Primera cámara aérea WILD C1**  
Fuente: (WILD HEERBRUGG, 1925)

Existen varios componentes (ver **Tabla 2.2**) en una cámara, indistintamente del tipo que esta sea; siendo 4 las más importantes para el análisis de las cámaras.

Tabla 2.2

**Diferencias entre cámara analógica y cámara digital**

<b>Componentes</b>	<b>Cámaras Analógicas</b>	<b>Cámaras Digitales</b>
Óptica	Lentes y/o espejos	Lentes y/o espejos
Sensor	Emulsión fotográfica	Detectores de estado sólido (CCD, CMOS)
Procesador	Químico (revelado, fijado, lavado, secado)	Ordenador (Cálculo matemático)
Soporte	Película	Disco óptico y/o magnético

Fuente: (Santos, 2006)

### 2.2.3.1 Ultracam XP

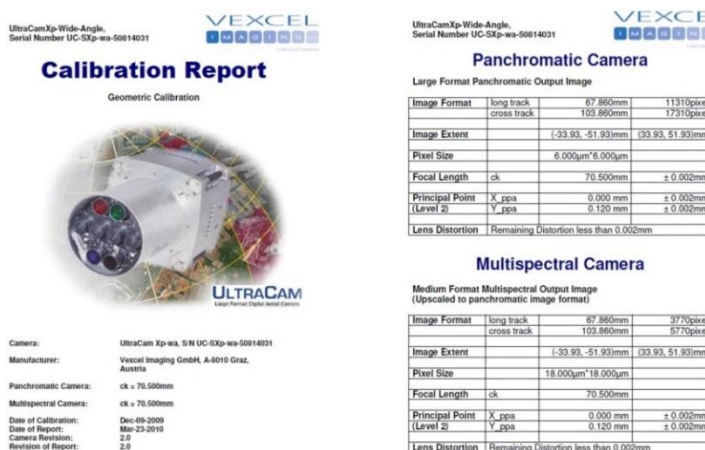
Es una cámara digital de formato Frame; se compone de la unidad del sensor, el almacenamiento a bordo y el sistema de captura de la información (ver **Figura 2.11**), el panel de interfaz de operadores y dos unidades de almacenamiento de datos extraíbles. La plataforma UltraMap ofrece un flujo de trabajo poderoso para el post proceso de las imágenes.



**Figura 2.11 Unidad del sensor (izquierda) y el sistema de almacenamiento a bordo (derecha), componentes de la Ultracam XP**  
Fuente: (Gruber & Wiechert, 2009)

Fue introducida en el mercado de mapeo internacional en julio del 2008 en Beijing. Los 17310 píxeles Cross Track y los 11310 píxeles en dirección del vuelo definen los 195 Megapíxeles del tamaño de la escena. La cámara es capaz de producir imágenes de 3 cm de tamaño de GSD con el 60% de traslapo y a una velocidad de 130 nudos (Gruber & Wiechert, 2009).

En un certificado de calibración (ver **Figura 2.12**) se aprecia el reporte de la calibración geométrica de la cámara.

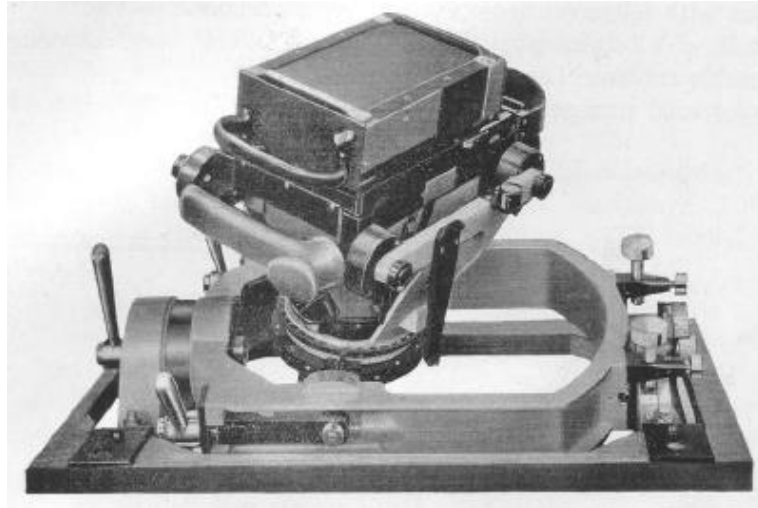


**Figura 2.12 Reporte calibración cámara UltraCam XP**  
Fuente: (VEXCEL, 2010)

### 2.2.4 Formatos

Las cámaras métricas aparecen en el año de 1927 con WILD C2 (ver **Figura 2.13**) que tiene un formato de 10x15 cm y también otro de 13 x 13 cm sobre placas de vidrios.







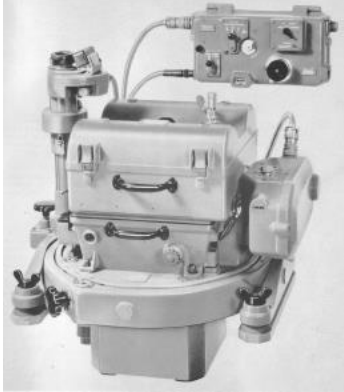
**Figura 2.13 Cámara aérea WILD C2**  
Fuente: (WILD HEERBRUGG, 1920)

A partir de este formato que fue establecido por la primera cámara aérea, se dieron varios cambios efectuados por la fábrica precursora que construía dichos sensores, llamada Wild Heerbrugg (ver **Tabla 2.3**).

Tabla 2.3

**Diferentes modelos de cámaras Wild según variación de formatos**

Cámara	Año	Formato (cm)	Imagen
WILD C3	1929	13x18	 <p><b>Figura 2.14 WILD C3</b> Fuente: (WILD HEERBRUGG, 1929)</p>
WILD RC3	1937	18x18	 <p><b>Figura 2.15 WILD RC3</b> Fuente: (WILD HEERBRUGG, 1937)</p>

RC8	1956	23x23	 <p data-bbox="871 584 1318 645"><b>Figura 2.16</b> WILD RC8 Fuente: (WILD HEERBRUGG, 1956)</p>
-----	------	-------	---

“Antes de la II Guerra Mundial aparece la película estable sobre formato 23x23cm” (Delgado, 2006).

La tendencia para realizar imágenes a escalas grandes ha volcado a que se rija el formato al número de píxeles que la cámara posea, que desde luego, está interrelacionado con el tamaño del píxel.

Para las cámaras digitales no existe un formato de sensor estándar. El marketing lo ha dividido en gran formato (como Intergraph DMC), mediano formato y pequeño formato; la mayoría de estas cámaras tienen un formato rectangular de imagen. El tamaño del sensor se define en píxeles (por ejemplo para Intergraph DMC 13824 × 7680 píxeles). Existe una amplia gama de longitudes focales de alrededor de 62 mm hasta 120 mm. Debido a que el formato del sensor es rectangular, el campo de visión es diferente en la dirección de vuelo y a través de la línea de vuelo (Neumann, 2012).

En el caso de la Vexcel UltraCam XP tiene 17,310 × 11,310 píxeles y un tamaño de píxel de 6 μm, dando como resultado un formato aproximado de 104 × 68.4 mm ó 10.4 × 6.84 cm, con 195 megapíxeles.

### 2.2.5 Certificado de calibración

Este es un documento, el cual muestra ciertos parámetros (constantes de calibración) con los que se monta o remonta una cámara sobre una base fija, con el objetivo que se pueda realizar la toma de fotografías; al respecto, los únicos autorizados para realizar calibraciones son las empresas mismas que fabrican las cámaras, las cuales emitirán un nuevo certificado de calibración.

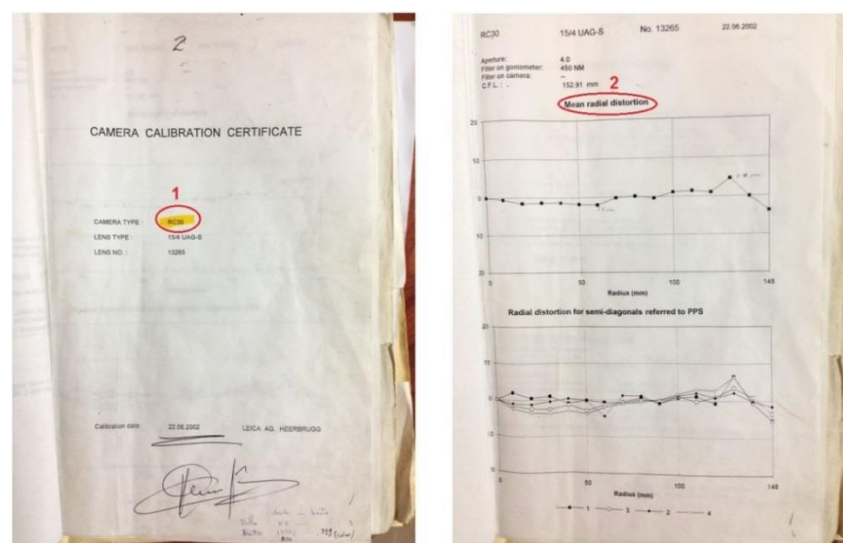
Debido a que las cámaras han evolucionado de analógicas a digitales, han sido diferentes los parámetros que se necesitan en el certificado de calibración, ya que las analógicas utilizaban una película para poder capturar una escena y las digitales almacenan de una manera digital.

### 2.2.5.1 Certificado de calibración analógico

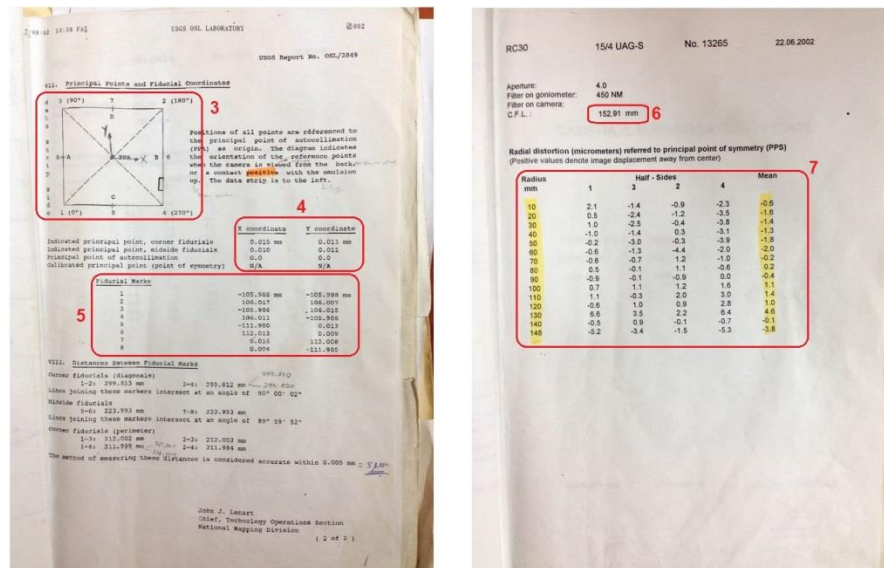
La información relevante que debe tener este certificado es:

- Curva promedio de distorsión.
- Coordenadas de las marcas fiduciales.
- Curva de distorsión radial para cada una de las cuatro semidiagonales referidas al centro de simetría.
- Distancia principal calibrada.
- Distancia focal.
- Ubicación del centro óptico de simetría y el centro de autocolimación, con respecto al punto determinado por las marcas fiduciales.

Se puede observar (**Figura 2.17** y **Figura 2.18**) un ejemplo del certificado de calibración de la Cámara WILD RC30.



**Figura 2.17** Certificado calibración cámara analógica parte 1  
Fuente: (IGM, 2002)



**Figura 2.18 Certificado calibración cámara analógica parte 2**  
Fuente: (IGM, 2002)

La simbología es la siguiente:

- 1: el tipo de cámara de la que se trata el certificado.
- 2: la gráfica de la media de la distorsión radial.
- 3: grafico de la ubicación del PPA y las marcas fiduciales.
- 4: coordenadas de PPA, PPS y otros.
- 5: coordenadas de las marcas fiduciales.
- 6: distancia focal.
- 7: valor de las distorsiones radiales referidas al PPS.

### 2.2.5.2 Certificado de calibración digital

En razón de que el sensor obtiene las imágenes de manera digital y no en una película, se debe tener en cuenta la siguiente información:

- Distancia focal.
- Punto principal de auto colimación (PPA).
- Punto principal de simetría (PPS).
- Distorsiones radiales de las lentes.
- Tamaño del píxel (CCD).

Ejemplos de dicho certificado y de algunos parámetros, se observan en la **Figura 2.19** y la **Figura 2.20** de la cámara Z/I DMC IIe.

**1**

Camera Calibration Certificate  
No: DMC IIe 230 - 23522

For  
**Richard Crouse & Associates**  
467 Aviation Way  
Frederick, MD 21701  
USA

DMC IIe 230 Calibration Protocol

### Geometric Calibration

The output image geometry is based on the Pan Camera head (reference head = master camera). All other camera heads are registered and aligned to this head. Aerial triangulation checks overall system performance based on.

#### Output image

Reference Camera	PAN	
Serial Number	00123118	
<b>2</b> Number of rows/columns (pixels)	<b>15552 x 14144</b>	
<b>3</b> Pixel Size [µm]	<b>5.600 x 5.600</b>	
Image Size (mm)	87.0912 x 79.2064	
<b>4</b> Focal Length (mm)	<b>92.0064 mm</b>	+/- 0.002 mm
<b>5</b> Principal Point (mm)	X= 0.0005 mm Y= -0.0032 mm	+/- 0.002 mm

The geometric calibration takes place at Carl Zeiss Jena on a certified test stand. More than 800 "light targets" projected on 28 lines that are distributed diagonally on the focal plane, are automatically measured by finding their centers light with a precision of less than 1/10 of a pixel. The light targets are projected from the "infinity" by using a collimator (Figure 1).

**6**

Figure 1: Light Target Pattern by Collimator

CalibProtocol\_DMCIIe230-23522.docx Document Version 3.0 page 1 of 43

**Figura 2.19 Certificado calibración cámara digital parte 1**  
Fuente: (Richard Crouse & Associates, 2014)

DMC IIe 230 Calibration Protocol

### Radiometric Calibration

#### Defect Pixel

NIR (00118804)

Defect pixels are detected during radiometric calibration and will be corrected during radiometric processing of the images. The quantity and cumulative percentage and specification of defects is described in Appendix "Defect Pixel Recognition".

Revision of calibration:	131073
CCD Revision:	1
Date Number:	1418230250
Date:	141210
Number of defect pixels:	236
Number of defect columns:	0
Number of defect rows:	0

Nr	Row	Column
0	2818	2499
1	30	773
2	81	5346
3	99	2989
4	102	4877
5	180	3024
6	181	1164
7	319	3385
8	377	817
9	405	8184
10	411	5185
11	634	4346
12	668	302
13	688	5362
14	776	5679
15	918	4926
16	1024	1833
17	1184	1331
18	1189	8300
19	1213	1381
20	1228	2741
21	1231	630
22	1382	6470
23	1382	4383
24	1398	1882
25	1399	2496
26	1405	4483
27	1405	4175
28	1409	2625
29	1619	1174
30	1619	5292
31	1619	2070
32	1614	2996
33	1636	5967
34	1708	8025
35	1736	4401
36	1767	4869
37	1776	8934
38	1754	3636
39	1852	4039
40	1858	4146
41	1922	1566
42	1922	3891
43	1927	2026

**7**

DMC IIe 230 Calibration Protocol

### Defect Pixel Recognition

The table below shows the maximal allowed physical defects on the CCD Sensor and its definitions.

Description	CCD Spec
Pixel	Bright image: Pixel whose signal, at nominal light (illumination at 50% of the linear range), deviates more than +20% from its neighboring pixels.
	Dark image: Pixel whose signal, in dark, deviates more than 60% from its neighboring pixels (about 1% of nominal light).
	Max Count: PAN ≤ 3500 MS ≤ 100
Column	Definition: A column which has more than 8 pixel defects in a 1 x 12 kernel. Column defects must be horizontally separated by 5 columns for single line defects and 10 for double line defects.
	Recognition (Bright and dark): Same as defect pixel recognition.
	Max Single column: PAN ≤ 140 MS ≤ 20 Max double Column: PAN ≤ 40 MS ≤ 6
Pixel	PPS Correction: Pixel whose gray value in a 10 x 10 kernel differs from the median more than 50%.
	Column: Pixel whose gray value in a 10 x 10 kernel differs from the median more than 5% and more than 15 defects in one column.

The Post-Processing-Software is correcting following pixel and columns:

CalibProtocol\_DMCIIe230-23522.docx Document Version 3.0 page 37 of 43

**Figura 2.20 Certificado calibración cámara digital parte 2**  
Fuente: (Richard Crouse & Associates, 2014)

La simbología es la siguiente:

- 1: el tipo de cámara de la que se trata el certificado.
- 2: número de píxeles en las filas y en las columnas.
- 3: tamaño del píxel (CCD).
- 4: distancia focal.
- 5: coordenadas del punto principal.
- 6: haces de luz que muestra la calibración geométrica.
- 7: defectos de los píxeles.

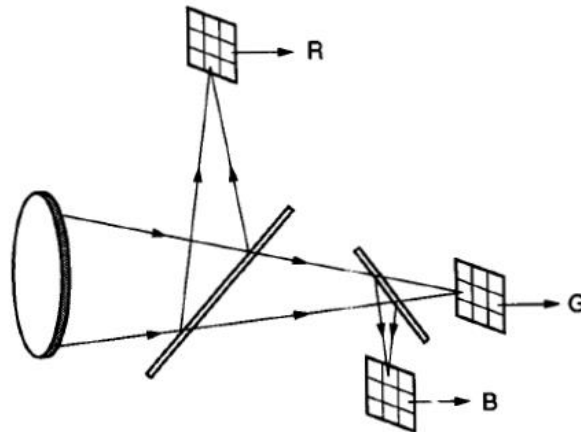
## 2.2.6 Arquitectura del Sistema y Escala

### 2.2.6.1 Charge Coupled Device (CCD)

El autor Neumann (2012), menciona que CCD hace referencia a la arquitectura de un semiconductor, en la que la carga se transfiere a través de las áreas de almacenamiento. Los dispositivos de carga acoplada (CCD) fueron inventados por Boyle y Smith en 1970. Los CCDs han evolucionado tanto, que hoy en día son asequibles, generando así, un sin número de aplicaciones en diversos campos, incluyendo la alta definición para las industrias de cámaras de precisión o fotogramétricas. La arquitectura del CCD tiene tres funciones básicas: (a) recolección de la carga, (b) transferencia de carga y (c) la conversión de la carga en una tensión medible. La mayoría de sensores que operan en la región del visible usan la arquitectura del CCD para leer la señal. En estas cámaras, la generación de la carga se considera como la función inicial del CCD.

La lectura del píxel ocurre mediante la detección de la transferencia de carga entre los condensadores en el espacio del píxel.

Dentro de una cámara de alta definición existen, dependiendo de la longitud de onda en el espectro electromagnético, matrices independientes que están en función del número de colores que tenga el sistema, por ejemplo: RGB (ver **Figura 2.21**). La luz es conducida por primas y filtros adicionales.



**Figura 2.21 Cámara de color de alta calidad**  
Fuente: (Holst, 1998)

Para las cámaras digitales, el tamaño en píxel del CCD debe considerarse, dependiendo de la manufacturación del CCD, oscila desde 7  $\mu\text{m}$  hasta 12  $\mu\text{m}$  para cada cámara digital; la combinación de la distancia focal y el tamaño del píxel, determinan su perfil de operación. Los parámetros de misión para la toma de fotografías aéreas con cámaras digitales, se determinan por el GSD requerido.

#### 2.2.6.2 Ground Sample Distance (GSD)

De acuerdo a los estudios de Comer, Kinn, Light & Mondello (1998), ellos manifestaron que en general, el GSD, es simplemente la dimensión lineal de una sola huella de píxel en el suelo. La escala es una medida fundamental, de utilidad y de calidad por algunas décadas con imágenes en papel. Un archivo de imagen digital, no tiene una escala per se; ésta puede ser desplegada e impresa en muchas escalas diferentes. Además, copadoras electrónicas modernas con software de visualización, permiten cambios rápidos en la escala de visualización. La escala está en función del dispositivo y el software utilizado para visualizar o imprimir el archivo, no en función del archivo de imagen en sí misma. Es preocupante el hecho de que los usuarios han estado siempre en sintonía con la interoperabilidad de asignar un nivel de foto basado en escala. Con las imágenes digitales, la distancia de muestra en el suelo (GSD) brinda una métrica más apropiada. El GSD por sí solo, tiene que estar cualificado para evitar la ambigüedad. La

imagen digital puede fácilmente ser resampleada para alterar la distancia de muestra en el suelo, ya sea sobre la marcha para la visualización en una pantalla o como un paso hacia la creación de un nuevo archivo de imagen, derivado del original. Si la imagen en el plano focal es detectada por un dispositivo de carga acoplada (CCD), entonces el GSD es la relación entre el tamaño del elemento de matriz, a la escala de la cámara, tal como se aprecia en la **Ecuación 2.1**.

Ecuación 2.1

#### **Ecuación de la relación del GSD**

$$\text{GSD} = \frac{\text{tamaño del píxel} * \text{altura de vuelo}}{\text{distancia focal}}$$

Fuente: (Comer, Kinn, Light, & Mondello, 1998)

Es así que, dependiendo del tamaño de GSD (ver **Figura 2.22**) al que se quiere obtener las imágenes aéreas, se tendrán que realizar ajustes en el proyecto, dentro de la planificación de la toma de las imágenes aéreas.



**Figura 2.22 Imagen aérea con GSD de 30 cm**

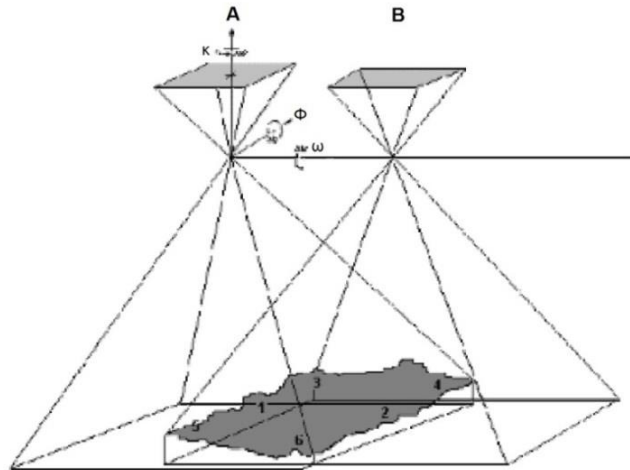
Fuente: (IGM, 2012)

## **2.3 BLOQUE FOTOGRAMÉTRICO**

### **2.3.1 Orientaciones**

Rodrigo Orellana (2007), explica que A y B (ver **Figura 2.23**) son dos posiciones continuas de la línea de vuelo desde las que se han fotografiado el terreno. Diversos rayos de luz han marcado las placas, mediante dos haces perspectivas.





**Figura 2.23 Rayos de luz impresionan placas mediante haces  
perspectivos**

Fuente: (Orellana, 2007)

Al colocar las fotografías en la misma posición relativa respecto a la que tenían cuando fueron impresas y luego iluminarlas con proyectores, se volverían a formar los mismos haces iniciales. Los rayos homólogos se cortarían, dando con sus intersecciones una reproducción exacta del terreno. Como este trabajo se hace en gabinete, la distancia A-B será más pequeña y el modelo estereoscópico estará a una cierta escala.

El problema que se debe resolver es conseguir en gabinete la reproducción de la posición exacta de los dos haces de rayos, y que su situación respecto al terreno, sea análoga a la que tuvieron al ser impresas las fotografías durante el vuelo.

La acción por la cual se consigue lo anteriormente dicho es la **ORIENTACIÓN INSTRUMENTAL**, la misma que está compuesta por dos etapas:

- Orientación Interna.
- Orientación Externa.

### **2.3.1.1 Orientación Interna**

Es la reconstrucción de la forma del haz perspectivo o lo que es lo mismo, reconstrucción de la cámara con la que se obtiene la imagen (ver **Figura 2.24**). El punto imagen "a" queda referido al punto de vista "S", es

decir, se determina el vector “aS” (Gómez, 2008).

El punto “a” es el punto que se ubica en la imagen referido del punto “S” que es el punto que se ubica en el terreno.



**Figura 2.24 Orientación interna**

En este proceso, los insumos de entrada son las especificaciones técnicas de la cámara fotográfica, dependiendo si el proceso es analógico o digital, son:

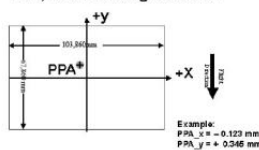
- Cámara analógica: punto principal referido al centro fiducial, distancia focal, número de fiduciales y las distorsiones de las lentes.
- Cámara digital: punto principal de autocolimación (PPA) (ver **Figura 2.25**), punto principal de simetría (PPS), distancia focal, IMU/GPS y distorsiones de las lentes.

UltraCamXp-Wide-Angle,  
Serial Number UC-SXp-wa-50814031

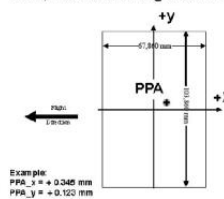


The coordinates in the figure below are only example values to illustrate the effect of image rotation on the principal point position, and do **not** correspond to the camera described in this report.

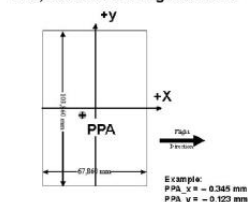
Lvl3, Rotation 0 deg clockwise



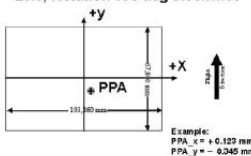
Lvl3, Rotation 90 deg clockwise



Lvl3, Rotation 270 deg clockwise



Lvl3, Rotation 180 deg clockwise



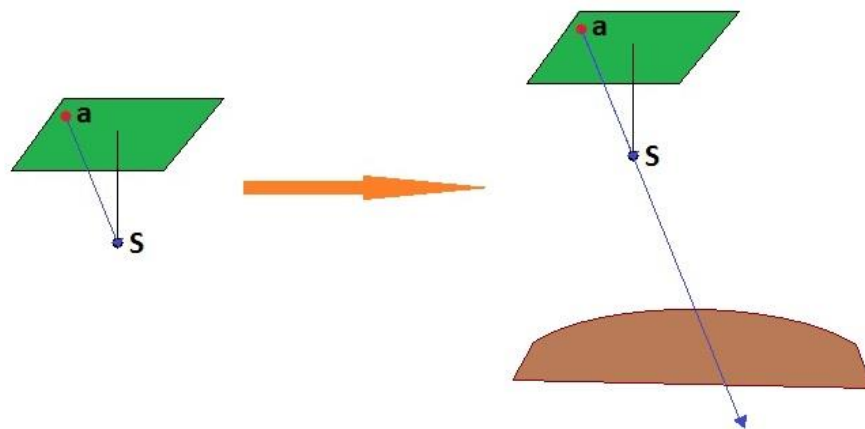
**Figura 2.25 Coordenadas PPA según rotación de la cámara y dirección de vuelo**

Fuente: (VEXCEL, 2010)

### 2.3.1.2 Orientación Externa

Buill, Núñez & Rodríguez (2003), relatan que en este proceso se determinan los parámetros de orientación de la cámara, los cuales están referidos a un sistema de coordenadas fijas, en el cual se asienta el dispositivo. Existen diferentes métodos para calcular, uno por la ecuación de colinealidad y otro mediante la resolución de la orientación relativa y absoluta.

Según Gómez (2008), la orientación externa “es la reconstrucción de la posición y orientación del haz perspectivo respecto del objeto (ver **Figura 2.26**). Esta reconstrucción puede hacerse en dos pasos”.

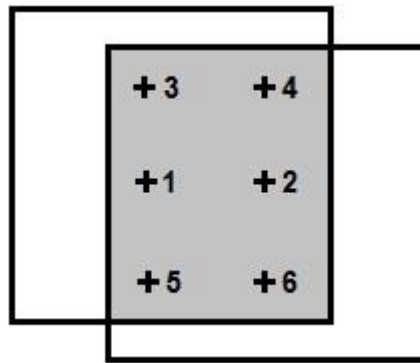


**Figura 2.26 Orientación externa**

#### 2.3.1.2.1 Orientación Relativa

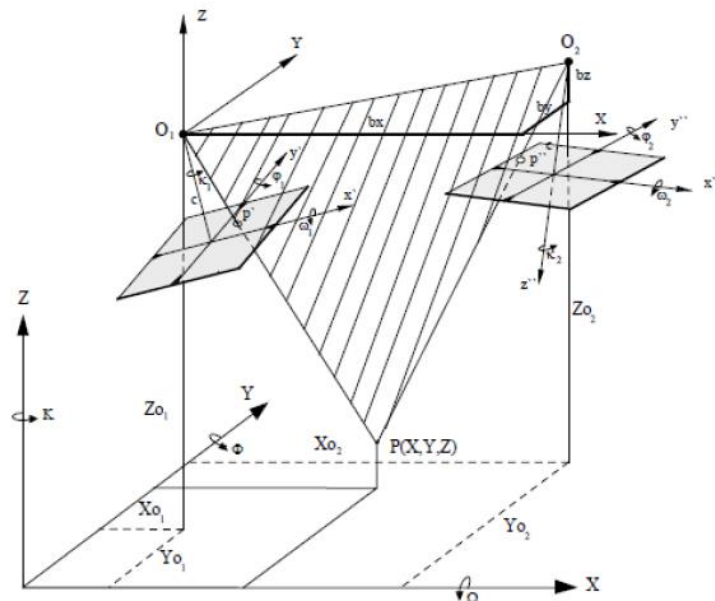
Elimina el paralaje vertical de un modelo estereoscópico y hace que los haces perspectivos (cuando existen más de uno) se orienten entre sí.

- Puntos de Von Grüber: Pérez (2001), sustenta que con la distribución de los puntos de Von Grüber (ver **Figura 2.27**), se habrá realizado correctamente la orientación, con un número mínimos de 5 puntos para lograr la formación del modelo.



**Figura 2.27 Distribución de Von Grüber sobre un par fotogramétrico**

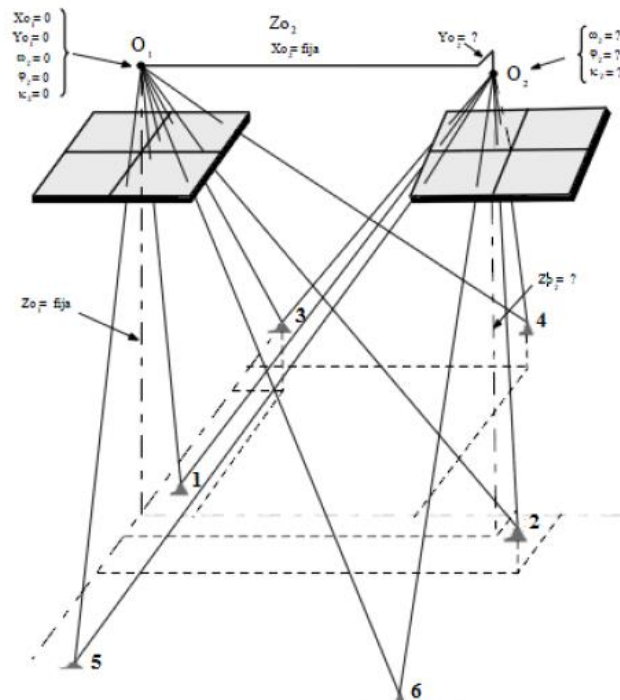
- **Coplanaridad:** según (García & Ortiz, 2012; Gómez, 2008), este método indica que los centros de proyección de dos imágenes contiguas ( $O_1$  y  $O_2$ ), dos puntos imagen homólogos ( $p'$  y  $p''$ ) y el punto homólogo de estos en el terreno,  $P(X, Y, Z)$ , forman parte del mismo plano (ver **Figura 2.28**).



**Figura 2.28 Condición de coplanaridad**

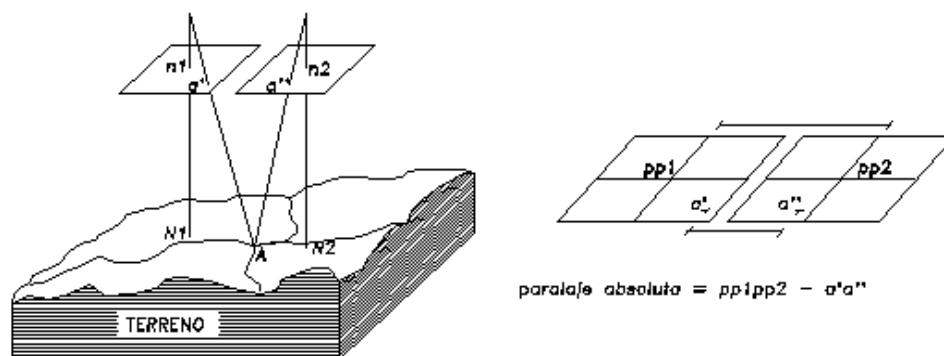
Fuente: (García & Ortiz, 2012)

- **Colinealidad:** los autores García & Ortiz (2012), establecen que el punto sobre el terreno, el punto en la imagen y el centro de proyección ( $O$ ) están alineados (ver **Figura 2.29**).



**Figura 2.29 Condición de colinealidad**  
Fuente: (García & Ortiz, 2012)

- **Paralaje:** (Jauregui, 2005; Otero, Ezquerro, Rodríguez, Martín & Bachiller, 2008) describen que es el desplazamiento que se produce por el cambio posición de la imagen de un punto en dos imágenes consecutivas (ver **Figura 2.30**), causado por el cambio de posición de la cámara al momento de la toma. Se pueden distinguir dos componentes: Paralaje vertical ( $P_y$ ), eliminado cuando se orienta correctamente el modelo estereoscópico, y Paralaje horizontal ( $P_x$ ), que permite encontrar las coordenadas del modelo.



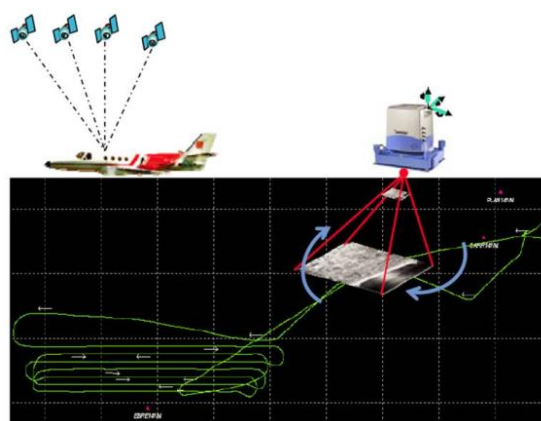
**Figura 2.30 Definición de paralaje absoluta**  
Fuente: (G.I.S. Ibérica, 2003)

### 2.3.1.2.2 Orientación Absoluta

Halla la correspondencia entre el sistema coordenado del modelo (ya realizado la orientación relativa) y el sistema coordenado del terreno; una vez orientados entre sí, se ubican en relación al objeto; incluye ubicación del modelo en su verdadera posición en la Tierra, escalado, correcciones debido al terreno e inclinación, etc.

### 2.3.1.3 Orientación Directa

García & Ortiz (2012), expresan que debido a ciertas dificultades topográficas que existen para posicionar el apoyo en el campo, surgió la orientación directa, técnica que ayuda a que no se prolonguen los procesos fotogramétricos, por lo cual, se vió la necesidad de incorporar un GPS, que vaya en compás con la cámara fotográfica. Este conjunto, se compone de un par receptores GPS (uno terrestre y otro aerotransportado), que graban las coordenadas del centro de proyección ( $X_0 Y_0 Z_0$ ) y el IMU (Unidad de Medida Inercial), que registra los giros ( $\omega \phi \kappa$ ) que efectúa el avión en el momento tomar la fotografía respecto a la superficie terrestre (ver **Figura 2.31**). Para que se realice un proceso directo, se debe contar con un hardware y software especializado.



**Figura 2.31 Orientación Directa**  
Fuente: (Generalitat de Catalunya, 2011)

Para calibrar el sistema GPS-INS, se miden distancias entre los tres elementos, donde el IMU viene a ser el centro del sistema; esto se realiza,

para que las imágenes obtenidas sean representadas en el mismo sistema de referencia. Las ventajas que ofrece esta técnica son: la garantía en el proyecto del vuelo, reducción del apoyo fotográfico, disposición de los parámetros de la orientación externa y garantía en la resolución de los procesos fotogramétricos.

### 2.3.2 Puntos de apoyo fotogramétrico

#### 2.3.2.1 Puntos de Control (Control Points)

Ground Control Point, por sus siglas en inglés GCP, se llama a los puntos que tienen una posición establecida sobre la superficie terrestre, que pueden ser usados con varios fines como georeferenciar, ajustar un bloque fotogramétricos, entre otros.

Armando un bloque fotogramétrico (sea con bandas combinadas en digital o fotogramas en físico) se puede posicionar puntos de control (ver **Figura 2.32**), esto ayuda a no caer en el levantamiento innecesario o exagerado de puntos en el campo.



**Figura 2.32 Ejemplo de GCP**

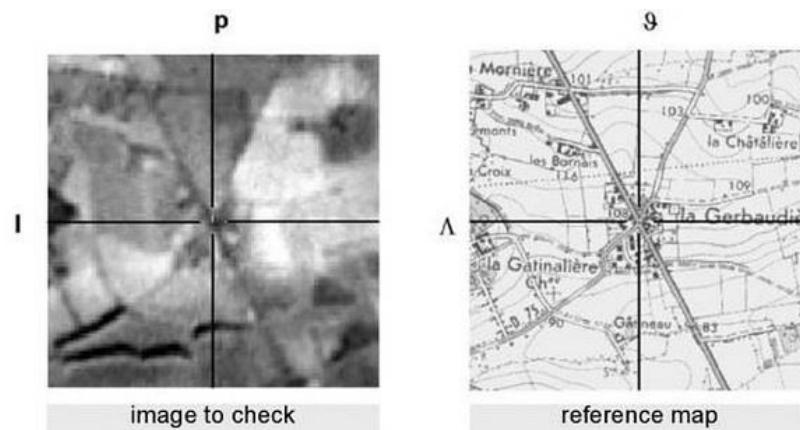
Tradicionalmente se suelen tomar las coordenadas de los puntos de apoyo exentas de error, es decir exactas, siendo estas suposiciones poco realistas y probables en la práctica. Luego, si realmente se quiere saber el grado de corrección a las coordenadas de los puntos de apoyo, se debe plantear y resolver el sistema libre de ecuaciones, y corroborar los resultados que se obtienen. Esta posibilidad permite cotejar que el apoyo

está bien hecho y que éste no introduce sistematismos en el sistema de ecuaciones (Lerma, 2009).

### 2.3.2.2 Puntos de Chequeo (Check Points)

De acuerdo a Oregon State University (2009), “son GCP adicionales que son usados para cuantificar la precisión de la triangulación. Estos no son necesarios para llevar a cabo realmente la triangulación”.

Un check point (ver **Figura 2.33**) se utiliza para valorar la precisión de la localización de la imagen a ser chequeada.



**Figura 2.33 Check point, en un cruce de vías, extraído de un mapa**  
Fuente: (Devillers & Jeansoulin, 2010)

Para Devillers & Jeansoulin (2010), pinchar estos puntos sobre los fotogramas es una labor compleja ya que va a depender de diversos parámetros como son: destreza del ejecutor, los objetos identificables, la escala de las fotos, la precisión del software o hardware usado, entre otros.

### 2.3.2.3 Puntos de Amarre o Empate (Tie Points)

El proceso de generación de los Tie Points (ver **Figura 2.34**) mide la posición de las coordenadas de la imagen de los puntos de control, las cuales están presentes en dos o más imágenes superpuestas.





**Figura 2.34 Tie Points**

Por ejemplo, en la localización  $(X_s, Y_s, Z_s)$  de la plataforma no se sabe cuándo el terreno ha sido fotografiado, al menos tres puntos serán requeridos para interpolar esta localización usando la técnica llamada *triangulación*. Mediante el uso de más Tie Points se puede refinar esta localización de la plataforma minimizando el error medio cuadrático (Oregon State University, 2009).

### 2.3.3 Control terrestre

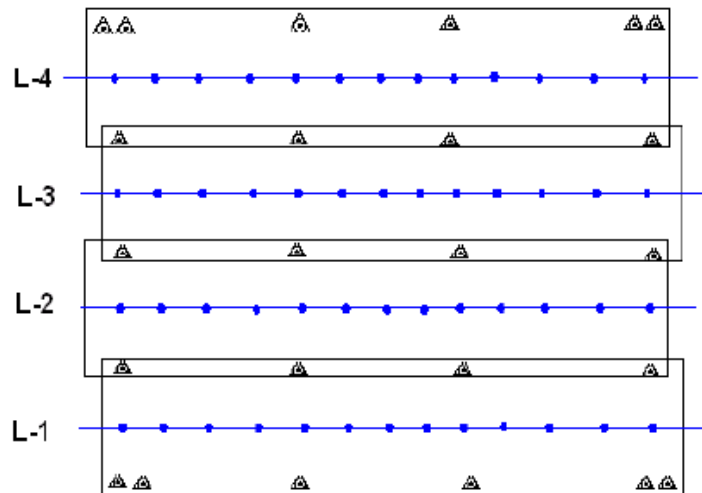
Existen varias teorías sobre la distribución de los GCP en el terreno, a continuación se presentan algunas de ellas:

- Instituto Geográfico Nacional de Perú

El IGN (2011), manifiesta que la distribución de los puntos de control para la aerotriangulación, es diferente para cada bloque, teniendo en cuenta lo siguiente:

- a. Un punto de control doble en cada esquina del bloque.
- b. Un punto de control en las esquinas internas de los enlaces entre líneas de vuelo, asegurando el amarre o enlace adecuado entre las mismas.

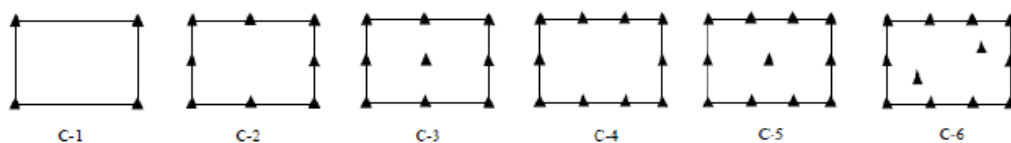
- c. Un punto de control cada cinco modelos (ver **Figura 2.35**), perpendicular a las líneas de vuelo, a los extremos y en las zonas de traslape de las mismas.



**Figura 2.35 Distribución GCP en un bloque fotogramétrico**  
Fuente: (IGN, 2011)

- Ackermann

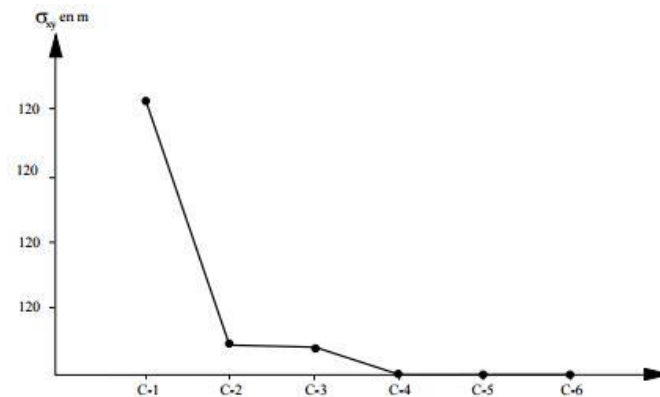
Según Ackermann (1987), la distribución óptima que ayuda a la precisión planimetría, es en el perímetro del bloque (ver **Figura 2.36**), porque la presencia de puntos en el interior no mejora dicha precisión.



**Figura 2.36 Distribución de puntos de apoyo planimétrico según Ackermann**

Fuente: (Ackermann, 1987)

En una distribución de precisiones (ver **Figura 2.37**), se puede apreciar lo que asevera la distribución de Ackermann.



**Figura 2.37 Precisiones de la distribución según Ackermann**  
Fuente: (Ackermann, 1987)

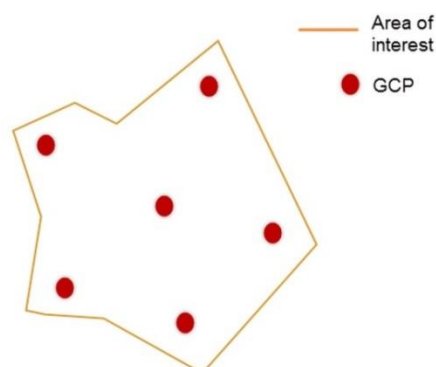
- PIX4D

La compañía PIX4D (2015), sugiere que se requiere un mínimo de 3 GCP para la reconstrucción y deberían estar pinchados en al menos 2 imágenes.

En bloques grandes, se recomienda usar al menos 5 GCP que se puedan identificar cada 5 imágenes, ya que minimiza las imprecisiones de las mediciones y ayuda a detectar errores que casualmente ocurren cuando se ingresan los GCP.

En casos que la topografía del área sea empinada o tenga varios cambios, más GCP llevarán; de hecho, a una mejor reconstrucción (más precisa).

Un mínimo de 5 GCP es recomendado; 5 a 10 GCP (ver **Figura 2.38**) son usualmente suficientes, incluso para proyectos grandes. Más GCP no contribuyen significativamente en aumento de la precisión.



**Figura 2.38 Distribución de los GCP**  
Fuente: (PIX4D, 2015)

### 2.3.3.1 Errores del control terrestre

De igual manera, diversas teorías sobre los errores de los GCP, a continuación se presentan algunas de ellas:

- Instituto Geográfico Nacional de Perú

El IGN (2011), expresa que el residuo máximo en los puntos de control será inferior a 1.5 veces el tamaño del GSD.

- PIX4D

PIX4D (2015), menciona que el error de los GCP es entre 1 a 3 veces la resolución del GSD.

- IGM

El Instituto Geográfico Militar (2006), en el documento *Especificaciones técnicas para realizar Cartografía a cualquier escala*, divide los errores en 2:

#### 2.3.3.1.1 Planimetría

El error medio cuadrático de las coordenadas de los puntos de apoyo será como máximo  $\pm 0.01$  cm por el módulo de la escala del mapa a obtener (ver **Ecuación 2.2**).

Ecuación 2.2

$$P_H = CD * MEM$$

Dónde:

- P<sub>H</sub>: Precisión en horizontal.
- CD: Capacidad de discriminación (Norma IGM= 0.3mm).
- MEM: Módulo de la escala del mapa a obtener.

Este valor se divide entre 3 o 4 para sacar la precisión de las coordenadas a obtener con el GPS tanto en vertical como en horizontal (ver

**Ecuación 2.3).**

Ecuación 2.3

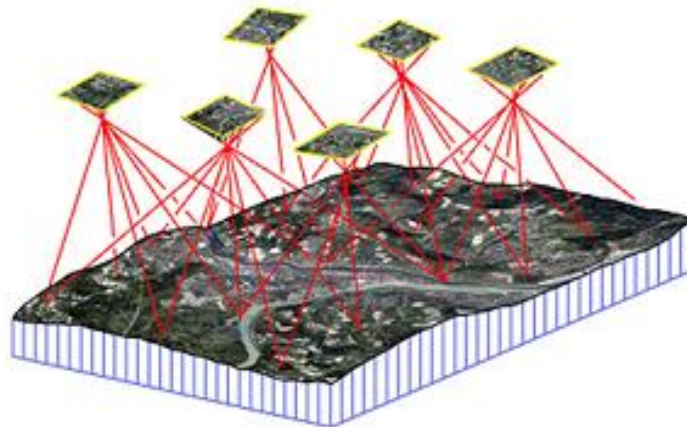
$$P_{GPS\ H-v} = \pm P_H / 3 \text{ o } 4$$

Fuente: (Anónimo, 2014)

**2.3.4 Aerotriangulación**

“Aerotriangulación es el término que se utiliza para describir el proceso de cálculo de coordenadas X, Y, Z (en un sistema de referencia local) de puntos y accidentes del terreno basadas en medidas realizadas sobre bloques de fotogramas” (Wolf, 1983).

En este proceso (ver **Figura 2.39**), para llegar a obtener las fotocoordenadas, se tiene que realizar algunas fases como: el ajuste del bloque fotogramétrico y la compensación del mismo. Como resultados se pueden obtener Modelos Digitales de Elevación, insumo previo a la generación de Ortofotos, entre otros.

**Figura 2.39 Aerotriangulación Digital**

Fuente: (Geoinpro, 2013)

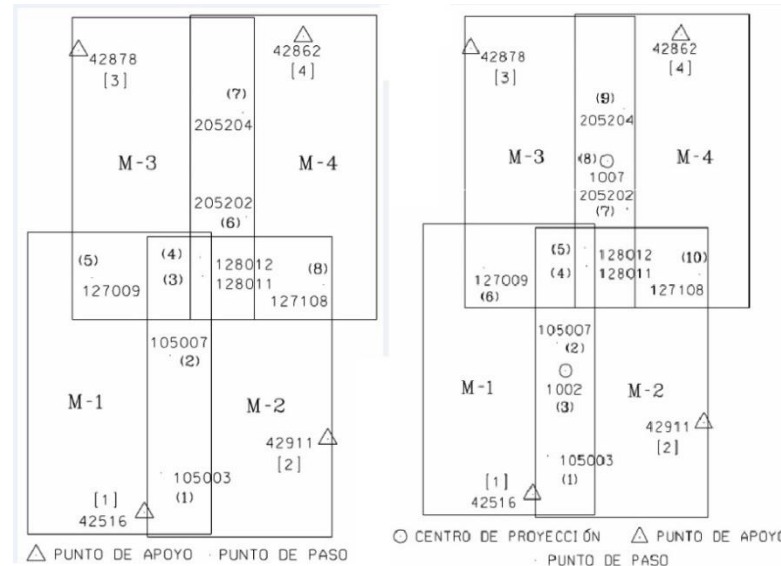
**2.3.4.1 Aerotriangulación por el método de los modelos independientes**

José L. Lerma (2009), expresa que se trata como unidad cada modelo estereoscópico que estructura un bloque. Las coordenadas de los puntos de

paso que provienen de cada modelo estereoscópico se fusionan para estructurar un único, que es parte de la compensación del bloque. En el proceso de ajuste, todos los modelos se unen en un sistema de coordenadas común.

En un caso general (se ajustan a la par las coordenadas planimétricas y altimétricas) se necesitan, además de los puntos de control y de chequeo, las coordenadas de los centros de proyección (se suponen parte de un modelo individual). En el ajuste tridimensional, cada modelo considerado como unidad puede trasladarse, rotarse y cambiar de tamaño, pero la estructura interna del modelo permanece invariable.

Las resoluciones de las compensaciones planimétrica y tridimensional (ver **Figura 2.40**), se efectúan considerando los sistemas tanto ligados como libres. En el supuesto del sistema ligado, se toman los puntos de control como puntos matemáticamente perfectos y exentos de error; mientras que, en el sistema libre, se consideran los puntos de control con cierto nivel de error y, por tanto, corregibles.



**Figura 2.40 Bloque izquierdo compensación planimétrica y bloque derecho compensación tridimensional**

Fuente: (Lerma, 2009)

### 2.3.4.2 Aerotriangulación por el método de los haces de rayos

José L. Lerma (2009), enuncia que se considera al rayo (óptico) espacial

como una unidad y formula el sistema de ecuaciones utilizando la condición de colinealidad. Esta condición se refiere a que en un fotograma, un punto sobre el terreno, su correspondiente punto imagen y el centro de proyección están alineados.

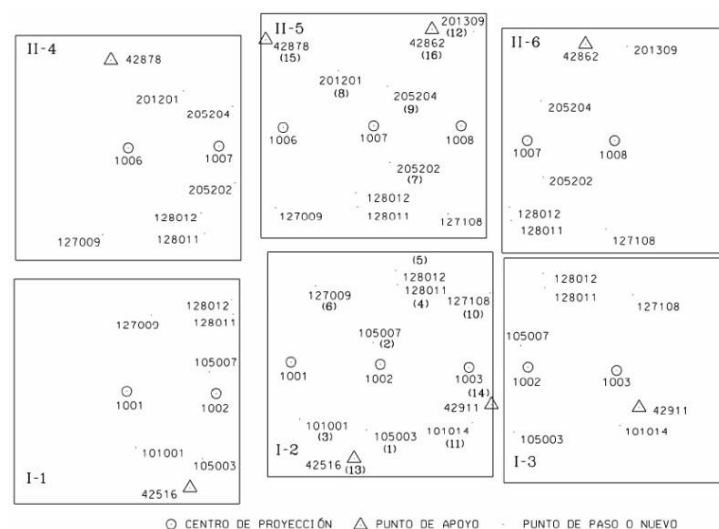
La orientación externa se efectúa al mismo tiempo para todos los fotogramas y las coordenadas del terreno de los puntos pinchados en más de un fotograma.

El principio del ajuste se basa en que los haces de rayos se desplazan y rotan, de modo que:

- Intersectan en los puntos de chequeo tan bien como pueden.
- Pasan a través de los puntos de control tan cerca como les es posible.

Los datos iniciales necesarios para realizar el ajuste son:

- Los parámetro de orientación interna del fotograma:  $f$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ .
- Los parámetros de orientación externa del fotograma:  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $K$ ,  $x_L$ ,  $y_L$ ,  $z_L$ .
- Las coordenadas imagen de los puntos de control, de chequeo y de amarre:  $x$ ,  $y$  (ver **Figura 2.41**).



**Figura 2.41** Distribución de las imágenes de los puntos utilizados en la compensación del bloque fotogramétrico

Fuente: (Lerma, 2009)

- Las coordenadas terreno de los puntos de control: X, Y, Z, y las coordenadas terreno, aproximadas, de aquellos puntos pinchados en más de un fotograma; llegando a calcular las coordenadas compensadas simultáneamente en la ajuste del bloque.

#### 2.3.4.3 Errores de la Aerotriangulación

García & Ortiz (2012) manifiestan que es imprescindible conocer el error cometido al orientar los modelos, pero cuando se conoce la relación que existe entre el tamaño de GSD y la escala de restitución correspondiente, se puede llegar a saber los errores permitidos.

El IGM (2006) como ente rector, hace referencia que la media de las desviaciones estándar de los puntos de aerotriangulación seleccionados no excederá del 0.1% de la altura de vuelo sobre el terreno en planimetría y del 0.15% de la altura de vuelo sobre el terreno en altimetría. Cuando se maneja información digital se debe considerar los errores estándar en función del pixel:

- Error estándar para la orientación interior: 0.6 de pixel.
- Error estándar para el ajuste relativo: 1 pixel.
- Error estándar para el ajuste absoluto: 2 píxeles.

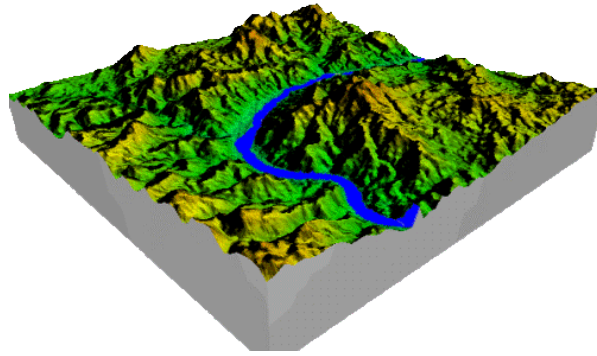
El Instituto Geográfico Nacional de Perú (2011), norma lo siguiente:

- Precisión planimétrica final (RMSE): inferior al GSD en metros.
- Precisión altimétrica final (RMSE): inferior al GSD en metros.

## 2.4 MODELOS DIGITALES

Son representaciones reducidas del entorno, dando a recalcar algunas propiedades que se representan por entidades menos complejas (ver **Figura 2.42**).





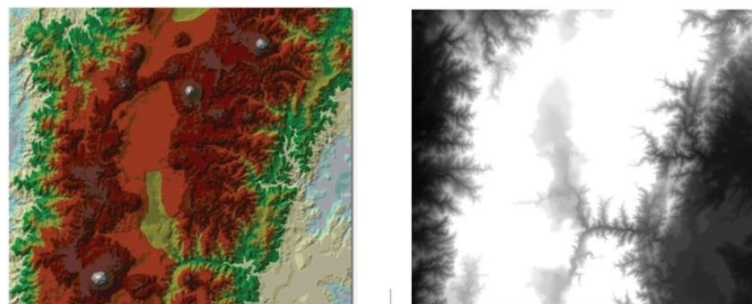
**Figura 2.42 Modelo digital de un área determinada**  
Fuente: (ALLPE, 2014)

Estos modelos se estructuran mediante una relación adecuada de la realidad y sus variantes tienden a realizar diferentes modelos, que expresan otras características de lo que se quiere representar; como por ejemplo pronosticar propiedades que no se sabe de un objeto.

#### 2.4.1 Modelo Digital del Terreno (MDT)

Según (Felicísimo, 1999; Cuesta, 2008), es una representación espacial (mediante estadísticas) de una base de datos numéricos, que representa cierta superficie del terreno, teniendo como base puntos acotados con valores conocidos en sus coordenadas x y z en un plano coordenado arbitrario. La variable Z va a definir el nombre del modelo, por ejemplo el valor de pH, entre otros.

De acuerdo a Cuesta (2008), sus productos se representan en dos modelos: vectorial y raster (ver **Figura 2.43**), siendo estos muy valiosos en la cartografía moderna.



**Figura 2.43 Ejemplos de TIN y Raster**  
Fuente: (Cuesta, 2008)



#### 2.4.4 Errores del Modelo Digital

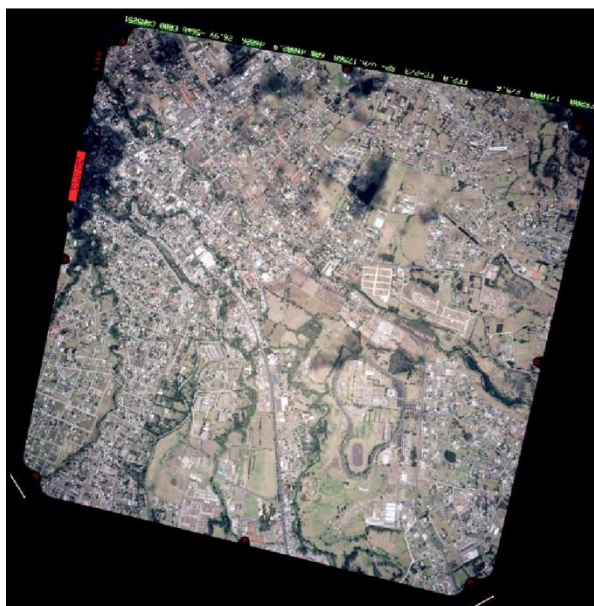
En este apartado se va a tomar en consideración las tolerancias para altimetría del documento *Especificaciones técnicas para realizar Cartografía a cualquier escala*, del IGM (2006), que se tratará en el apartado 2.6.3.

### 2.5 IMÁGENES CORREGIDAS

Una imagen corregida se refiere al ajuste geométrico, radiométrico y se encuentre georeferenciada, se basa en los sensores remotos y la fotogrametría para este proceso.

#### 2.5.1 Ortofoto

Según (IGM, 2006; Generalitat de Catalunya, 2014; Cartográfica de Canarias, 2013), es una representación fotográfica de una superficie específica de la tierra, presentado en escala homogénea, minimizando deformación y error (ver **Figura 2.46**). Debido a que es un producto derivado de la fotografía aérea y con las cualidades geométricas de un plano, con un marco de referencia, se convierte en una proyección ortogonal, la que ayuda a obtener información para realizar mediciones, planificación territorial, otros.



**Figura 2.46 Ortofoto con fotografías de la cámara WILD RC30**  
Fuente: (IGM, 2002)

### 2.5.1.1 Errores de la ortofoto

En el documento “Especificaciones técnicas para ortofotos digitales, del IGM” (2008), se observa que para la exactitud horizontal se acude a la estadística de estándares de exactitud posicional, estableciendo un círculo de error probable en el intervalo de confianza del 95%.

Se establecen (ver **Figura 2.47**) los valores mínimos de precisión que deberán cumplir las ortofotos digitales:

TAMAÑO DEL PIXEL (EN METROS)	ESCALA DE ORTOFOTOS	TAMAÑO DEL PIXEL (EN METROS)	PRECISIÓN HORIZONTAL (EN METROS)	PRECISIÓN VERTICAL (EN METROS)
0.07	1:1 000	0.10	0.30	0.25
0.14	1:2 000	0.20	0.60	0.50
0.28	1:2 500	0.25	0.80	0.60
0.42	1:5 000	0.50	1.50	1.25
0.84	1:10 000	1.00	3.00	2.50
0.84	1:20 000	1.00	6.00	2.50
0.84	1:25 000	1.00	7.50	5.00
0.84	1:50 000	2.00	15.00	10.00

**Figura 2.47 Especificaciones técnicas de ortofotos digitales**

Fuente: (IGM, 2008)

### 2.5.2 Ortomosaico

Proviene de la fusión y/o unión de varias ortofotos de una zona conocida, desde luego con las mismas características obtenidas del proceso fotogramétrico pre ejecutado, llegando a tener una vista global del área de estudio (ver **Figura 2.48**) y ayudando a interpretar elementos espaciales, deformaciones, entre otros usos.



**Figura 2.48 Ortomosaico**

Fuente: (mappingGIS, 2014)

## 2.6 RESTITUCIÓN

Es el sistema por el cual se obtienen detalles de la superficie terrestre y su entorno, extrayéndolos del proceso fotogramétrico antes efectuado (planificación proceso fotogramétrico, orientaciones, bloque fotogramétrico, entre otros); mediante herramientas digitales especializadas se puede interpretar y con esto dibujar lo apreciado para convertirlo en objetos con características determinadas, luego se monta esta información en una geodatabase o base de datos espaciales.

Dependiendo del tamaño de GSD al que se hayan tomado las imágenes, se va a tener la escala de la restitución, a continuación se muestra algunas normativas de varias entidades:

- España (Instituto Geográfico Nacional)

GSD (cm)	Escala producto	XY RMSE (m)	Equidistancia de curvas (m)
05-10	500	0,13	0,25
10-15	1000	0,25	0,5
15-20	1500	0,40	0,75
20-30	2000	0,50	1
25-35	2500	0,60	1,25
30-50	5000	1,25	2,5
40-60	10000	2,50	5
50-70	20000	5,00	10
50-80	25000	6,25	12,5
50-100	50000	12,50	20
50-100	100000	25,00	50

**Figura 2.49 Tamaño de GSD y tamaño mínimo de los objetos**  
Fuente: (Instituto Geográfico Nacional España, 2015)

- Colombia (Instituto Geográfico Agustín Codazzi)

ESCALA DE RESTITUCIÓN	RESOLUCIÓN ESPACIAL MÍNIMA (GSD)
1:2 000	7,5 cm a 20 cm
1:10 000	15 cm a 50 cm
1:25 000	30 cm a 60 cm

**Figura 2.50 Escala de restitución en función del GSD**  
Fuente: (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2011)

- Ecuador (Instituto Geográfico Militar)

ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA	TAMAÑO DEL PIXEL (EN METROS)
1:5 000	0.07
1:10 000	0.14
1:20 000	0.28
1:30 000	0.42
1:60 000	0.84
1:60 000	0.84
1:60 000	0.84
1:60 000	0.84

**Figura 2.51 Especificaciones técnicas ortofotos digitales**

Fuente: (IGM, 2008)

### 2.6.1 Restitución 2D

Dentro de este campo se encuentran todos los objetos que tenga que ver con la infraestructura u objetos naturales que están dentro o sobre del modelo de elevación, tales como carreteras, ríos, manzanas, árboles, etc.

La característica principal de esta restitución es que se va a representar en los cuadrantes X y Y (2D) mejor llamado planimetría.

### 2.6.2 Restitución 3D

Al igual que la restitución 2D (ver **Figura 2.52**), en esta se pueden extraer todos los objetos espaciales, pero la diferencia es que cada punto u objeto digitalizado va a tener una cota específica, dando a este sistema una variable más que viene a ser la Z, llamado altimetría.

Además, con este tipo de restitución se puede representar el relieve del terreno mediante la vectorización de las curvas de nivel y/o puntos acotados.



**Figura 2.52 Restitución 3D**

### 2.6.2.1 Principio Marca flotante

En un modelo estereoscópico, consiste en un ubicar dos marcas idénticas en el punto homólogo de las dos imágenes, para que se vean como un solo punto de contacto en el terreno (marca flotante). Si la una se mueve respecto a la otra en dirección paralela a la línea de vuelo parecerá que el punto sube o baja respecto al terreno (Jauregui, 2005).

### 2.6.2.2 Curvas de nivel

IGM (2006), menciona que la equidistancia entre curvas de nivel, para cartografía a escala grande será:

Ecuación 2.4

$$\text{Intervalo Curvas de Nivel} = \text{Denominador de la escala} / 1000 \text{ m}$$

### 2.6.3 Errores de la Restitución

El Instituto Geográfico Militar (2006), en el documento “Especificaciones técnicas para realizar Cartografía a cualquier escala”, divide los errores en 2:

- Planimetría

La posición del noventa por ciento (90%) de los puntos bien definidos, no diferirá de la verdadera, en más de dos décimas de milímetro (0,2 mm), a la escala del mapa (ver **Ecuación 2.5**).

Ecuación 2.5

$$P_H = (0.2 \text{ mm}) * \text{Módulo de la escala del mapa a obtener}$$

- Altimetría

Las cotas del noventa por ciento (90%) de los puntos bien definidos, no diferirán de las verdaderas en función de la escala en más de 1/10 del intervalo de curva de nivel (ver **Figura 2.53**):

Escala:	Precisión altimétrica
1/500	5 cm.
1/1000	10 cm.
1/2000	20 cm.
1/5000	50 cm.
1/10000	100 cm.

**Figura 2.53 Precisión altimétrica en función de la escala del mapa**

Fuente: (IGM, 2006)

La normativa del Perú, IGN (2011), menciona lo siguiente:

- Planimetría

En la planimetría la posición del 90 % de los puntos bien definidos no diferirá de la verdadera en más de 0.25 mm, y el 10 % restante no diferirá en más de 0.30 mm, a la escala del plano impreso.

- Altimetría

Las elevaciones del 95% de los puntos acotados en el mapa digital, no diferirá de la verdadera en más de  $\frac{1}{4}$  del valor del intervalo de curva de nivel, el 5% restante nunca excederá del valor del  $\frac{1}{2}$  del intervalo de curva de nivel.

## 2.7 TEORIA ESTADÍSTICA

### 2.7.1 RMS

Ortiz (2010), menciona que el error medio cuadrático (RMS, por sus siglas en inglés) es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los errores individuales de las lecturas, entendiendo por tales a sus diferencias respecto del valor medio medido; además, permite valorar la bondad de multitud de ajustes; a menor error medio cuadrático, mayor precisión de los ajustes.

### 2.7.2 Correlación

Según Ramón (2009), es una técnica usada para determinar la relación o dependencia entre dos o más variables, es decir si los cambios en una



variable influyen o no en la otra.

### 2.7.3 Matriz varianza y covarianza

“Representa a la matriz de pesos de un conjunto de variables observacionales” (Buill, Núñez, & Rodríguez, 2003).

### 2.7.4 Media

“La media es el valor promedio de la distribución” (Figueras, 2010).

### 2.7.5 Desviación Estándar

“Es la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación, es decir que mide la separación de los datos” (Ditutor, 2011).

## 2.8 CONTROL DE CALIDAD

Para esto se necesita posicionar puntos de igual o mejor precisión en referencia a la escala de los productos a obtener, para saber dónde situar y cuántos puntos tomar, existen varias normativas como:

- IGM

Si el área seleccionada para evaluar, cubre un sector geográfico suficientemente amplio cartografiado a una escala media o grande, se dividirá en hojas, realizando un muestreo estratificado de ellas, luego se sectorizará el área, en función de alguna característica geográfica importante. Cuando el número de hojas es demasiado grande, es necesario definir el tamaño de la muestra con la siguiente ecuación (IGM, 2008).

$$n = N * S^2 * Z^2 / ((N - 1) * E^2 + S^2 * Z^2)$$

Dónde:

- a. n = Tamaño de la muestra.
- b. N = Número de elementos de la población.

- c.  $S^2 = (0.5)^2$ ; varianza (valor constante).
- d.  $Z =$  Nivel de confianza (1.95 para el 95%).
- e.  $E =$  Error máximo admisible (0.1).

- Perú

El control de dichas precisiones se realizará mediante el levantamiento de una serie de puntos en diferentes zonas del trabajo elegidas al azar (IGN, 2011).

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

#### 3.1 METODOLOGÍA

##### 3.1.1 OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

En concordancia al avance de tecnología que existe en la cámara que el IGM posee, el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente de la ESPE vió la necesidad de adquirir nuevas imágenes aéreas y equipos que servirán en procesos de transferencia de conocimientos en la CIGMA,

##### 3.1.1.1 Imágenes

El día 18 de octubre de 2013 se obtuvieron las imágenes receptadas por el sensor Vexcel UltraCam XP, un total de 24 con las bandas R, G, B, IR respectivamente; la fecha de toma de las imágenes varía, ya que fueron entregadas 6 imágenes por línea de vuelo que van desde la 18 a la 21 (ver **Tabla 3.1**) con un tamaño de GSD de 30 cm.

Tabla 3.1  
**Imágenes entregadas por el IGM**

<b>Imágenes Entregadas del Proyecto Mejía Rumiñahui 30cm</b>				
<b>Línea</b>	<b>Número de Foto</b>			<b>Fecha de Toma</b>
	<b>Desde</b>	<b>Hasta</b>	<b>Total</b>	
18	537	542	6	9 de Agosto 2012
19	829	834	6	19 de Septiembre 2012
20	930	935	6	19 de Septiembre 2012
21	1240	1245	6	19 de Enero 2013
<b>Gran Total</b>			24	

##### 3.1.1.2 Escala

Como se expresa en el apartado 2.2.5.2 sobre GSD, no existe una escala per se para imágenes digitales, pero a continuación se muestra una comparación sobre la normativa nacional y países cercanos.

En la **Figura 3.1** se muestra un documento entregado por el IGM perteneciente a la cámara ULTRACAM XP, con un tamaño de GSD de 30 cm se tiene una equivalencia para 1:50.000.

ANEXO 2 ALTURA DE VUELO EN VUELOS FOTOGAMETRICOS						
ULTRACAM XP						
GSD (cm)	SUPERFICIE (Ha)	ESCALA FOTO	H. media Vuelo (Zm)		10%	20%
			metros	pies	Δh (m)	Δh (m)
2	8	3.333	333	1093	66	133
3	18	5.000	500	1640	100	199
4	31	6.667	667	2187	133	266
5	49	8.333	833	2733	166	332
6	70	10.000	1000	3280	199	399
7	96	11.667	1167	3827	233	465
8	125	13.333	1333	4373	266	532
9	159	15.000	1500	4920	299	598
10	196	16.667	1667	5467	332	665
12	282	20.000	2000	6560	399	798
14	384	23.333	2333	7653	465	931
15	440	25.000	2500	8200	499	997
16	501	26.667	2667	8747	532	1063
18	634	30.000	3000	9840	598	1196
20	783	33.333	3333	10933	665	1329
22	948	36.667	3667	12027	731	1462
24	1128	40.000	4000	13120	798	1595
26	1323	43.333	4333	14213	864	1728
28	1535	46.667	4667	15307	931	1861
30	1762	50.000	5000	16400	997	1994
32	2005	53.333	5333	17493	1063	2127
34	2263	56.667	5667	18587	1130	2260
36	2537	60.000	6000	19680	1196	2393
38	2827	63.333	6333	20773	1263	2526
40	3132	66.667	6667	21867	1329	2659
42	3453	70.000	7000	22960	1396	2792
44	3790	73.333	7333	24053	1462	2925
46	4143	76.667	7667	25147	1529	3057
48	4511	80.000	8000	26240	1595	3190
50	4894	83.333	8333	27333	1662	3323
52	5294	86.667	8667	28427	1728	3456
54	5709	90.000	9000	29520	1795	3589
56	6140	93.333	9333	30613	1861	3722
58	6586	96.667	9667	31707	1928	3855
60	7048	10.000	10000	32800	1994	3988

**Figura 3.1 Anexo 2 de UltraCam XP**

Fuente: (IGM, 2010)

Por otro lado, en el documento “Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales (Primer Borrador)”, del IGM (2008), se muestra un cuadro (ver **Figura 3.2**) en el que se puede apreciar que para un tamaño de GSD de 0.28 m (el más cercano a 30 cm) se tiene una escala de foto 1:20.000.

ESCALA DE LA FOTOGRAFÍA	TAMAÑO DEL PIXEL (EN METROS)
1:5 000	0.07
1:10 000	0.14
1:20 000	0.28
1:30 000	0.42
1:60 000	0.84
1:60 000	0.84
1:60 000	0.84
1:60 000	0.84

**Figura 3.2** Especificaciones técnicas de ortofotos digitales

Fuente: (IGM, 2008)

En la normativa del Instituto Geográfico Nacional de Perú (ver **Figura**

**3.3)** se muestra que para un tamaño de GSD de 30 cm se tiene una equivalencia para 1:15.000.

Escala	Tamaño de pixel	Distancia medida en el terreno (GSD)tamaño de pixel en el terreno
1:15 000	20 micrones	30 centímetros
1:20 000	20 micrones	40 centímetros
1:25 000	20 micrones	50 centímetros

**Figura 3.3 Especificaciones técnicas para cartografía escala 1:5.000**

Fuente: (IGN, 2011)

En la normativa del Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia (IGAC) (ver **Figura 3.4**) se tiene que para un tamaño de GSD de 15 cm (el más cercano a 30 cm) una escala de foto 1:10.000.

Escala de la fotografía	Tamaño del píxel en archivo digital o resolución (micras)	Tamaño del píxel en terreno (metros)
1:40.000	25	1.00
1:40.000	20	0.80
1:10.000	15	0.15

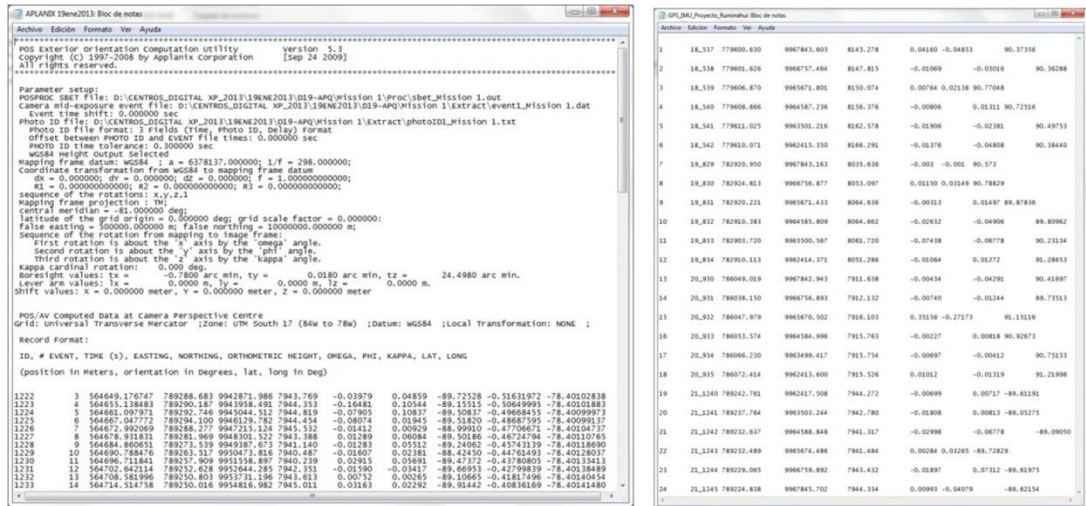
**Figura 3.4 Resolución de digitalización de fotografías aéreas**

Fuente: (INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, 2007)

Por todo lo anterior, es difícil definir una escala en sí de foto o de producto en general, pero en cuanto a la escala del producto a obtener, en este caso restitución, existen otras equivalencias que se analizará más adelante.

### 3.1.1.3 IMU/GPS

El IMU/GPS se obtuvo de los archivos APLANIX (datos en bruto) proporcionados por el IGM, de estos archivos se procedió a la extracción únicamente de los datos de las imágenes entregadas (ver **Figura 3.5**).



**Figura 3.5 Archivo APLANIX (izquierda) e IMU/GPS final (derecha)**  
Fuente: (IGM, 2013)

Cabe recalcar que se realizó una depuración de los datos, encontrando en la información 2 imágenes fuera del rango respecto a las demás (ver **Figura 3.6**); siendo así que se envió un correo electrónico al departamento de Aerotriangulación del IGM con dicha inquietud.

ID	#	EVENT	TIME (s)	EASTING	NORTHING	ORTHOMETRIC HEIGHT	OMEGA	PHZ	KAPPA	LAT	LONG
537	18	779600.63	9967843.6	8143.278	0.0416	-0.04853	90.37356				
538	18	779601.626	9966757.46	8147.815	-0.01069	-0.03016	90.36288				
539	18	779606.87	9965671.8	8150.074	0.00764	0.02138	90.77048				
540	18	779608.866	9964587.24	8156.376	-0.00806	0.01311	90.72516				
541	18	779611.025	9963501.22	8162.578	-0.01906	-0.02381	90.49753				
542	18	779610.071	9962415.35	8166.291	-0.01376	-0.04808	90.3844				
829	19	783748.175	9982005.51	8025.521	1.43434	14.71186	76.41667				19 de septiembre de 2012
830	19	782924.813	9966756.88	8053.097	0.0115	0.03149	90.78829				
831	19	782920.221	9965671.43	8064.636	-0.00313	0.01497	89.87836				
832	19	782910.383	9964585.81	8064.662	-0.02632	-0.04906	89.80962				
833	19	782903.72	9963500.57	8061.72	-0.07438	-0.06778	90.23134				
834	19	782910.113	9962414.37	8051.286	-0.01064	0.01272	91.28653				
930	20	786049.019	9967842.94	7911.638	-0.00434	-0.04291	90.41697				
931	20	786038.15	9966756.89	7912.132	-0.0074	-0.01244	89.73513				
932	20	786047.979	9965670.5	7916.103	0.35156	-0.27173	91.15116				19 de septiembre de 2012
933	20	786053.574	9964585	7915.763	-0.00227	0.00818	90.92673				
934	20	786066.23	9963499.42	7915.754	-0.00697	-0.00412	90.75133				
935	20	786072.414	9962413.6	7915.526	0.01012	-0.01319	91.21998				
1240	21	789242.761	9962417.51	7944.272	-0.00699	0.00717	-89.61191				
1241	21	789237.764	9963503.24	7942.78	-0.01808	0.00813	-89.05275				
1242	21	789232.637	9964588.85	7941.317	-0.02998	-0.06778	-89.0905				
1243	21	789232.489	9965674.49	7941.484	0.00284	0.03265	-89.72829				
1244	21	789229.065	9966759.89	7943.432	-0.01897	0.07312	-89.61975				
1245	21	789224.838	9967845.7	7944.334	0.00993	-0.04079	-89.62154				

**Figura 3.6 Posibles errores en archivo IMU/GPS**

En respuesta a este mail se recibió el valor ratificado de la imagen 829 (ver **Figura 3.7**) y respecto a la otra imagen los valores eran correctos.

Re: Ayuda Con Ratificación De Valores IMU-GPS

Rafael Peña Agregar a contactos 21/05/2015 |  
Para: Guillermo Barragán ✉

ID	TIME	X	Y	Z	OMEGA	PHI	KAPPA	LAT	LONG
825	318384.016	782934.222	9972186.255	8011.850	0.880	-0.656	89.758	-0.251	-78.458
826	318390.572	782929.713	9971100.440	8029.733	0.241	-0.263	90.371	-0.261	-78.458
827	318397.157	782928.886	9970013.900	8037.070	0.010	0.010	90.402	-0.271	-78.458
828	318403.732	782924.116	9968929.395	8031.178	-0.039	-0.067	89.851	-0.281	-78.458
829	318410.305	782920.950	9967843.163	8035.636	-0.003	-0.001	90.573	-0.291	-78.458
830	318416.902	782924.813	9966756.877	8053.097	0.012	0.031	90.788	-0.300	-78.458

Saludos  
Rafa

Dirección: Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, Sector El Dorado.  
Casilla postal: 17-01-2435  
Quito - Ecuador  
Website: [www.igm.gob.ec](http://www.igm.gob.ec); [www.geoportalmgob.ec](http://www.geoportalmgob.ec)



**Figura 3.7 Ratificación de un valor del IMU/GPS**

#### 3.1.1.4 Altura de vuelo

Se analizó en referencia a 3 fundamentos, el primero considera la base teórica, el segundo utiliza las alturas obtenidas en el archivo APLANIX y la tercera fue una entrevista al camarógrafo del IGM.

Como se indicó en el párrafo anterior, primero se basa en la teoría expresada en la ecuación del apartado 2.2.5.2 referente a GSD, que expresa:

$$\text{Altura de Vuelo} = \frac{\text{GSD} * \text{distancia focal}}{\text{tamaño del píxel}}$$

$$\text{Altura de Vuelo} = \frac{(0.3 \text{ m}) * (0.1005 \text{ m})}{(0.000006 \text{ m})} = 5025 \text{ m}$$

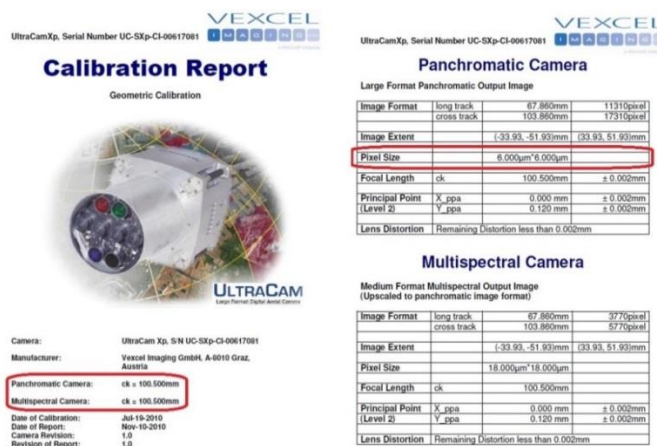
El segundo, se tiene una altura promedio de 8016.749 m, pero no se sabe qué referencia tiene el sistema de alturas en el que fueron tomados estos datos, por lo que se descartó este dato.

El tercero, se obtuvo de una conversación con el camarógrafo del IGM, quien manifestó “a ese tamaño de GSD se vuela a 15000 pies o 4572 m”.

Por lo tanto, se tomó en cuenta la teoría y la información del camarógrafo, determinando que 5000 m es la altura adecuada a la que el avión pudo haber volado para obtener ese tamaño de píxel en el terreno.

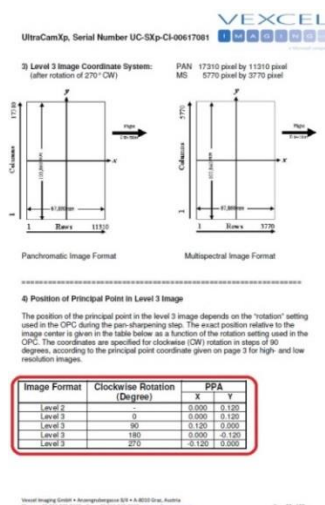
### 3.1.1.5 Información de la cámara

El IGM proporcionó el Certificado de Calibración vigente a la fecha de la última calibración de la cámara, el mismo que contiene toda la información necesaria como son: la distancia focal, el tamaño de píxel de la cámara y el PPA, etc (ver **Figura 3.8**).



**Figura 3.8 Certificado de calibración Vexcel Ultracam XP**  
Fuente: (IGM, 2010)

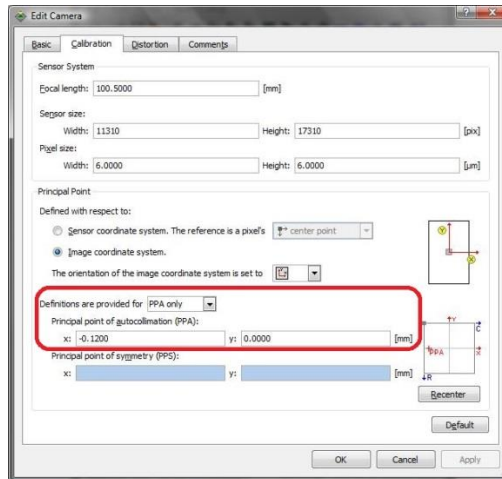
El punto principal de autocolimación (PPA), se encuentra definido en base a la rotación que tiene la cámara (ver **Figura 3.9**), por lo cual se envió un mail al departamento de Aerotriangulación del IGM solicitando la información sobre la rotación de la cámara y qué valor se ingresó en el software que ellos utilizan.



**Figura 3.9 Valores de PPA dependiendo la rotación de la cámara**  
Fuente: (IGM, 2010)



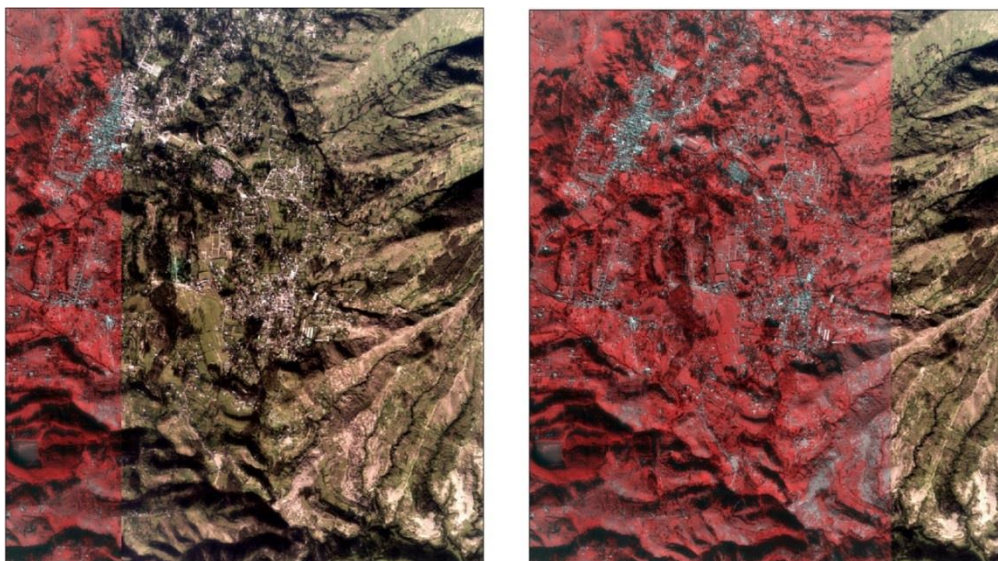
En respuesta al mail se recibió un recorte de pantalla de la calibración de la cámara (ver **Figura 3.10**) en donde se describe que se utilizaron los valores de rotación de 270°.



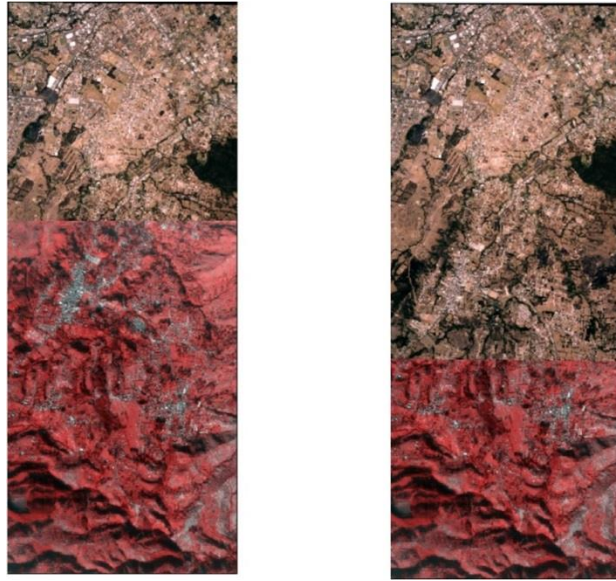
**Figura 3.10** Valor del PPA que ingresa el IGM  
Fuente: (IGM, 2015)

### 3.1.2 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Dentro de las imágenes, lo primero que se realizó, fue identificar el traslape que tienen, encontrando que existe un traslape longitudinal de al menos 60% (ver **Figura 3.11**) y un traslape transversal de al menos un 30% (ver **Figura 3.12**).



**Figura 3.11** Traslape Longitudinal



**Figura 3.12 Traslado Transversal**

Luego de eso, se discriminó la existencia de estereoscopía (que toda la escena sea cubierta con al menos 2 imágenes) no considerando las áreas en lila ya que no hay traslapo (estereoscopía), ya que solo tienen traslapo transversal (ver **Figura 3.13**).



**Figura 3.13 Área exclusiva de trabajo**

En la **Tabla 3.2** se observan las coordenadas post procesadas de los extremos de la zona.

Tabla 3.2

**Área de estudio delimitada por coordenadas precisas**

<u>Nº</u>	<u>Este (m)</u>	<u>Sur (m)</u>
<b>W</b>	777372,520	9961837,692
<b>X</b>	777028,821	9968275,126
<b>Y</b>	791186,294	9962161,490
<b>Z</b>	791497,809	9968378,800

### 3.1.3 CONTROL TERRESTRE

Una vez delimitada la parte exclusiva de trabajo, se analizó la toma de los Ground Control Point (GCP), teniendo en cuenta las zonas donde exista el mayor número de imágenes y una distribución correcta de los mismos; para eso, se realizó un esquema que interpreta la ubicación de las imágenes y sus traslapos correspondientes, con la finalidad de ubicar bien los puntos.

Se esquematizaron 3 distribuciones diferentes para la ubicación de los GCP, la primera con 5 GCP (ver **Figura 3.14**), la segunda con 7 GCP (ver **Figura 3.15**) y la tercera con 11 GCP (ver **Figura 3.16**).

	△					△
0538_18_mejiarum	0830_19_mejiaru	0931_20_mejiaru	1244_21_mejiaru	minahui30_130119_hi-rgbi.tif		
0539_18_mejiarum	0831_19_mejiaru	0932_20_mejiaru	1243_21_mejiaru	minahui30_130119_hi-rgbi.tif		
0540_18_mejiarum	0832_19_mejiaru	0933_20_mejiaru	1242_21_mejiaru	minahui30_130119_hi-rgbi.tif		
0541_18_mejiarum	0833_19_mejiaru	0934_20_mejiaru	1241_21_mejiaru	minahui30_130119_hi-rgbi.tif		
	△					△

**Figura 3.14** Distribución de 5 GCP en el Bloque Fotogramétrico

	△					△
0538_18_mejiarumiñahui300830_19_mejiarumiñahui300931_20_mejiarumiñahui301244_21_mejiarumiñahui30130119_hi-rgbi.tif			△			
0539_18_mejiarumiñahui300831_19_mejiarumiñahui300932_20_mejiarumiñahui301243_21_mejiarumiñahui30130119_hi-rgbi.tif						
0540_18_mejiarumiñahui300832_19_mejiarumiñahui300933_20_mejiarumiñahui301242_21_mejiarumiñahui30130119_hi-rgbi.tif				△		
0541_18_mejiarumiñahui300833_19_mejiarumiñahui300934_20_mejiarumiñahui301241_21_mejiarumiñahui30130119_hi-rgbi.tif						△
	△					

**Figura 3.15** Distribución de los 7 GCP en el Bloque Fotogramétrico

△						△
		△				
0538_18_mejiarumiñahui300830_19_mejiarumiñahui300931_20_mejiarumiñahui301244_21_mejiarumiñahui30130119_hi-rgbi.tif					△	
0539_18_mejiarumiñahui300831_19_mejiarumiñahui300932_20_mejiarumiñahui301243_21_mejiarumiñahui30130119_hi-rgbi.tif				△		
0540_18_mejiarumiñahui300832_19_mejiarumiñahui300933_20_mejiarumiñahui301242_21_mejiarumiñahui30130119_hi-rgbi.tif					△	
0541_18_mejiarumiñahui300833_19_mejiarumiñahui300934_20_mejiarumiñahui301241_21_mejiarumiñahui30130119_hi-rgbi.tif		△				△
	△					

**Figura 3.16** Distribución de los 11 GCP en el Bloque Fotogramétrico

Una vez analizada la distribución, se procedió a identificar lugares exactos dentro del área de interés de cada punto, donde se pudieran posicionar éstos con GPS en el modo Estático Rápido; en ese sentido, se visualizaron las imágenes del proyecto desplegadas en ERDAS IMAGINE 2014 y ubicándose a la vez en Google Earth Pro, para ver que sean foto-identificables y sigan existiendo en el terreno, ya que las fotos fueron obtenidas en 2 años diferentes. Se identificó de 1 a 3 puntos posibles a posicionar (ver **Figura 3.17**, **Figura 3.18** y **Figura 3.19**), ya que existieron lugares en los cuales el punto identificable no sea posible tomarlo.



**Figura 3.17 Lugares foto-identificables sector Rumiloma**



**Figura 3.18 Lugares foto-identificables sector ESPE**



**Figura 3.19 Lugares foto-identificables sector vía al Aeropuerto**

Identificados los lugares donde se van a tomar los GCP, se analizó (antes de salir al posicionamiento de los mismo) qué estación REGME podría servir para el post-proceso (conociendo a qué distancia se encuentra dicha estación) y el tiempo de toma de los puntos; se observó que la estación más cercana es la EPEC (dentro de la ESPE), con una distancia al punto más alejado de 8 km, seguida por la estación QUEM (cerca del Bosque Protegido Puengasí) con una distancia al punto más alejado de 25 km.

Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió la base EPEC como referencia para el post-proceso, con tiempos de posicionamiento entre 40 y 50 minutos,

tiempo suficiente para alcanzar un punto de precisión.

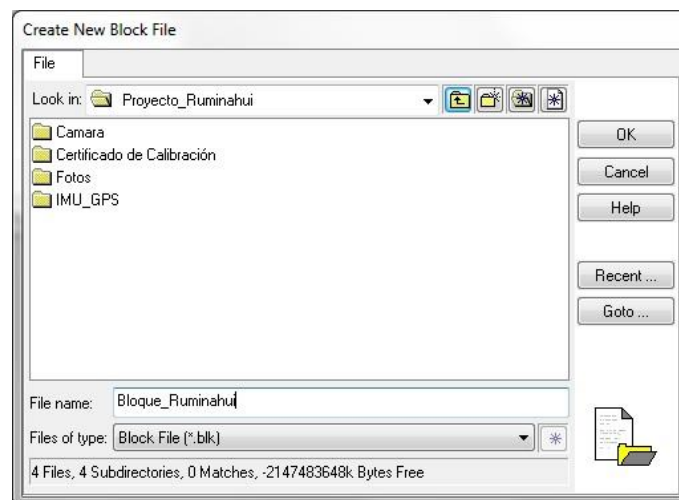
Como resultado de lo anterior se obtuvieron las Monografías de los 11 GCP, alcanzando un error máximo de 1.4 cm en horizontal y 2.8 cm en vertical, respectivamente.

### 3.1.4 BLOQUE FOTOGRAMÉTRICO

La estructuración y procedimientos que conlleva la rectificación de las imágenes, se encuentra detallada en el ANEXO 1, ilustrando cada paso para el ajuste del bloque propiamente. A continuación se realiza un breve resumen de este proceso.

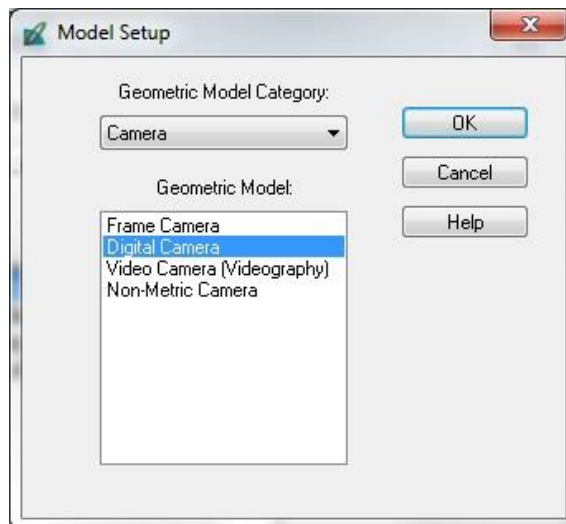
#### 3.1.4.1 Creación del bloque, cámara e ingreso IMU/GPS

Dentro del módulos IMAGINE Photogrammetry del ERDAS 2014, se crea un nuevo bloque, en el cual se archivarán los procesos de rectificación a realizarse (ver **Figura 3.20**).



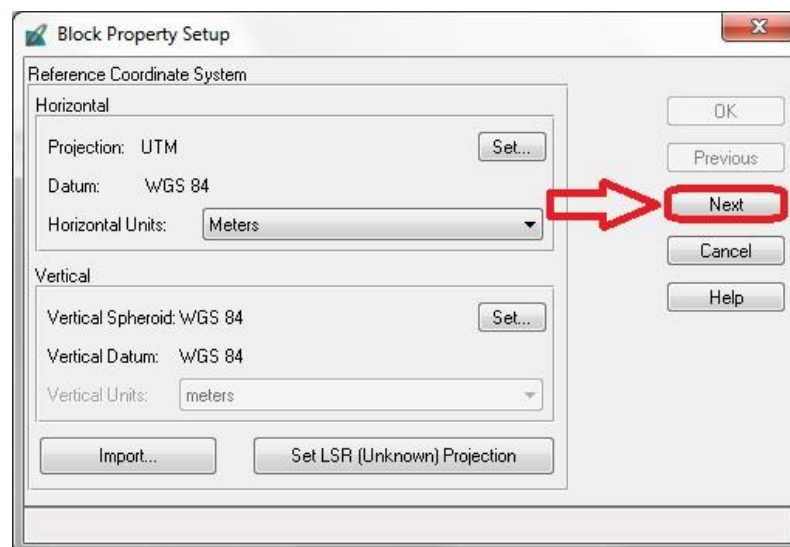
**Figura 3.20 Creación del bloque fotogramétrico**

En la especificación del modelo de geometría (ver **Figura 3.21**), refiriéndose al tipo de cámara utilizada, las fotos a usarse son de tipo Digital.



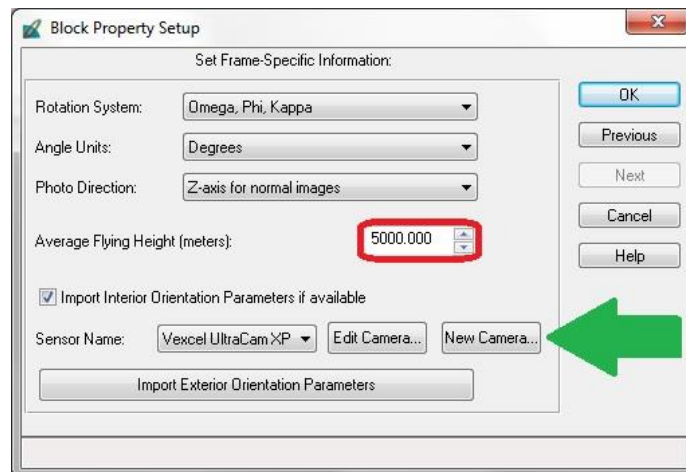
**Figura 3.21 Tipo de cámara**

El sistema de coordenadas de referencia es (ver **Figura 3.22**): UTM WGS 84 South, y la proyección: UTM Zone 17 (Range 84W – 78W).



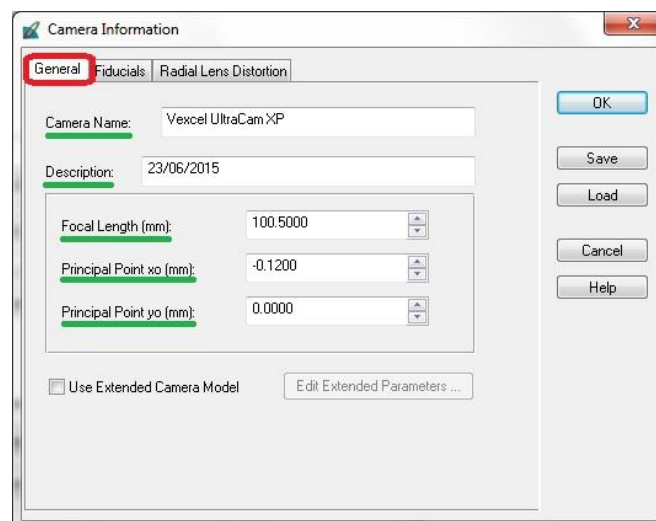
**Figura 3.22 Sistema coordenado de referencia**

Las especificaciones de las propiedades del bloque son diversas; al respecto se ingresó: omega, phi y kappa como rotación, grados en unidades de ángulos y eje Z como dirección de la foto; la altura de vuelo, medida desde la superficie fotografiada hasta el avión u plataforma que transporte el sensor, marcada con cuadro rojo; y luego la creación de la cámara (ver **Figura 3.23**).



**Figura 3.23 Propiedades del bloque fotogramétrico**

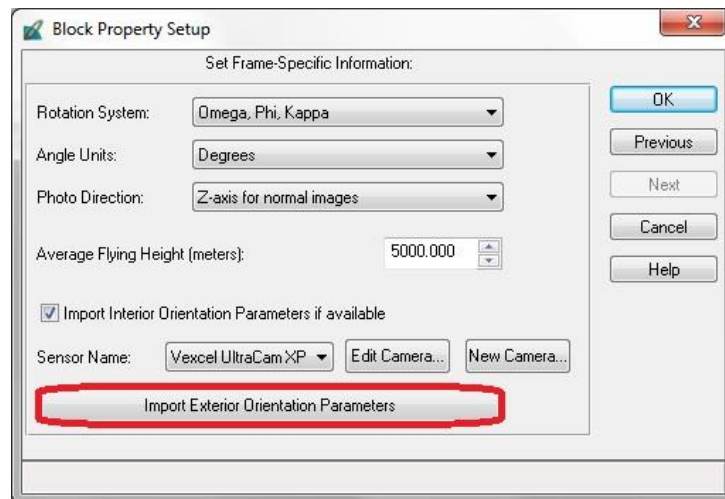
Dentro de la información de la cámara (ver **Figura 3.24**), se ingresaron las especificaciones que se obtienen del certificado de calibración propio de la cámara; en el caso de las fiduciales, no existen en este tipo de cámaras, y las distorsiones radiales de las lentes, no se consideran, debido a que no se especifican en el software por color o banda que tiene cada imagen.



**Figura 3.24 Creación de la cámara con especificaciones**

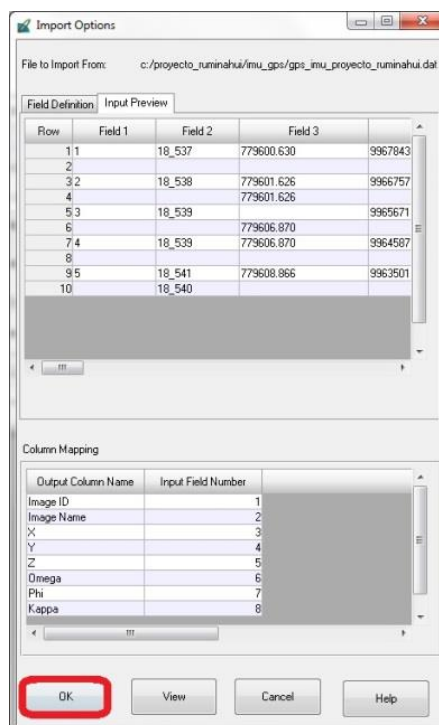
Posteriormente, se ingresó el IMU/GPS (ver **Figura 3.25**) que es parte de los parámetros de la orientación exterior.





**Figura 3.25 Ingreso al entorno de ingreso de IMU/GPS**

Se seleccionó la proyección y unidades, luego ingresar el archivo .dat de las imágenes a ocupar (ver **Figura 3.26**), finalizado el proceso se guarda la información.



**Figura 3.26 IMU/GPS estructurado según columnas de mapeo**

De esta manera, el bloque quedó listo para seguir con los siguientes procesos, finalmente escoger OK para seguir al entorno general (ver **Figura 3.27**).

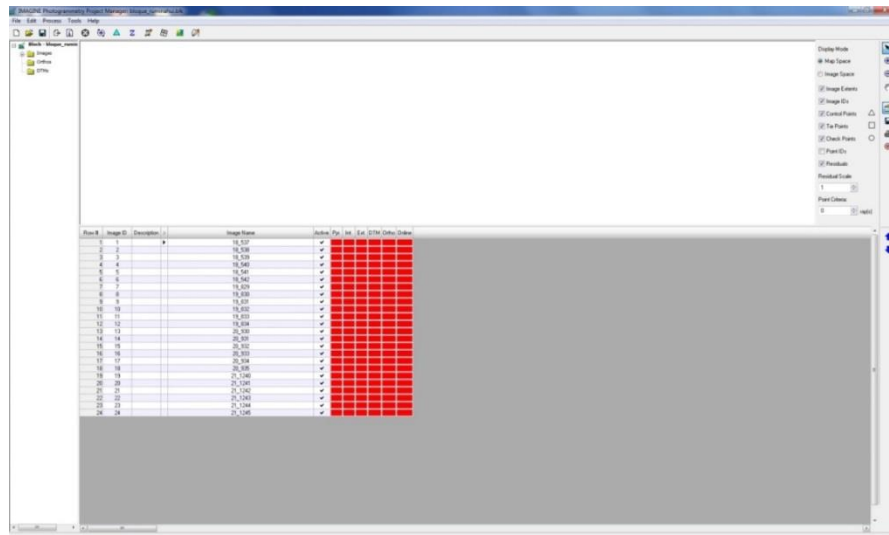


Figura 3.27 Entorno de Imagine photogrammetry

### 3.1.4.2 Carga de imágenes en el bloque, creación de layer piramidales y orientación interior (orientaciones interior y exterior)

En la ventana de orientación interior  (ver **Figura 3.28**), se cargaron las imágenes, especificando el sensor utilizado dentro de la pestaña *sensor*.

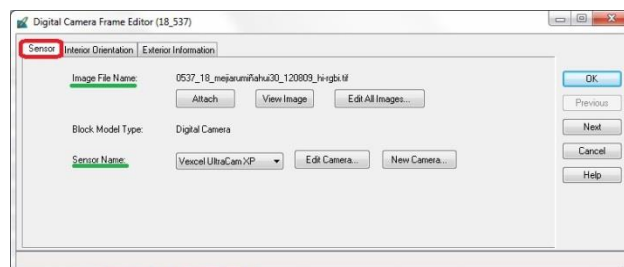


Figura 3.28 Imágenes cargadas y cámara digital seleccionada

En la pestaña de *orientación interior*, se ingresaron el tamaño de CCD (ver Figura 3.29) que tiene la cámara y se aplica a todas en general.

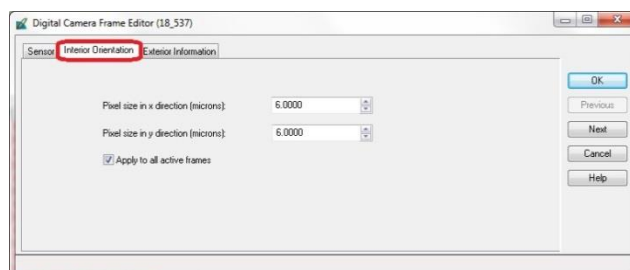
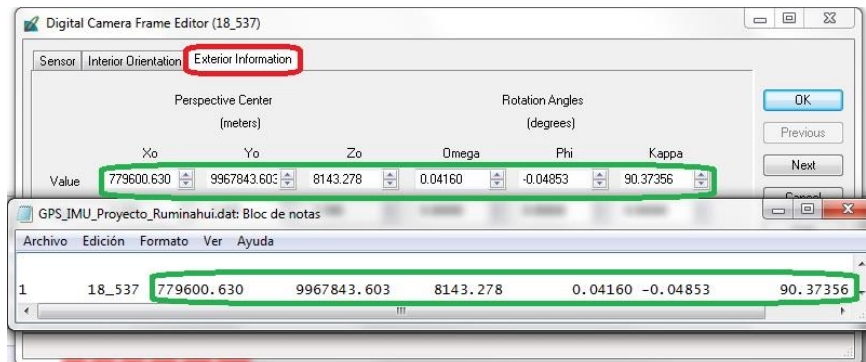


Figura 3.29 Ingreso del tamaño de CCD de la cámara

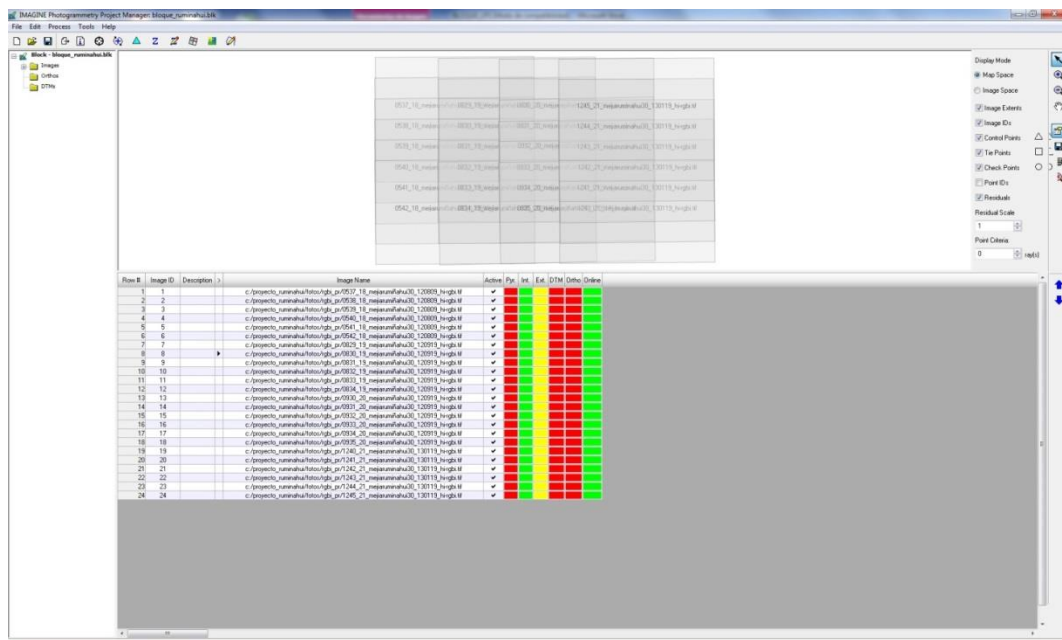
En la pestaña de *orientación exterior*, se revisó que los valores de

IMU/GPS de las imágenes se hayan ingresado correctamente (ver **Figura 3.30**), comparandolos con el archivo, abierto en otro editor.



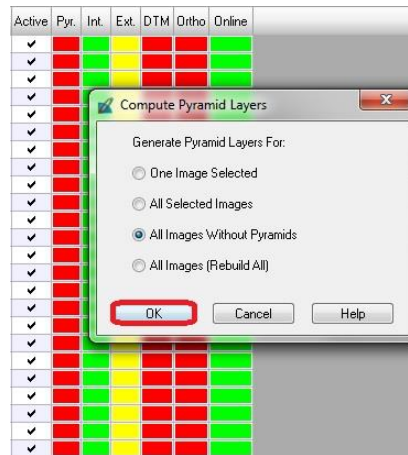
**Figura 3.30 Ratificación de los valores ingresados para el IMU/GPS**

Guardados los cambios, ir al entorno del Imagine Photogrammetry, en el entorno de sombras de las imágenes (ver **Figura 3.31**), en donde: las celdas de orientación interior están en verde, significando que este proceso se ha realizado; online se activa, reconociendo la ubicación de las imágenes.



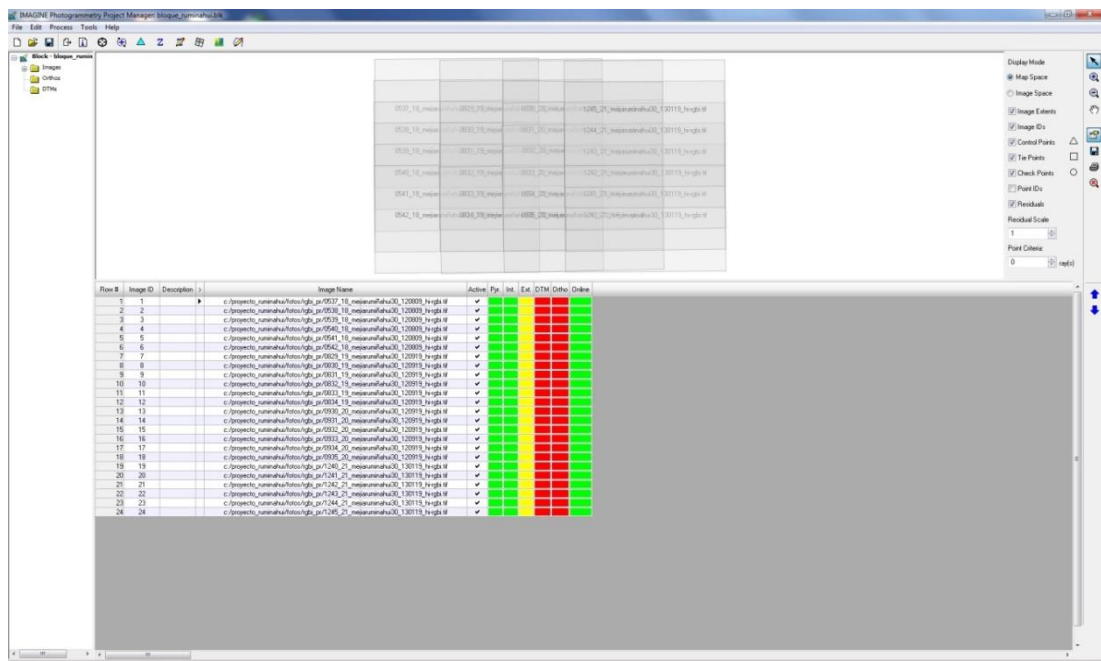
**Figura 3.31 Entorno del bloque fotogramétrico**

Se continuó con el proceso de layer piramidales (ver **Figura 3.32**), el cual genera una visualización más rápida cuando se acerca o aleja de las imágenes.



**Figura 3.32 Creación de layer piramidales a todas las imágenes**


Las casillas de layer piramidal (ver **Figura 3.33**) están activadas, para dar paso a la orientación exterior.



**Figura 3.33 Layer piramidales construidos para todas las imágenes**

La orientación exterior en amarillo indica que se tiene este proceso en ejecución, faltando el pinchado de los GCP y tie point.

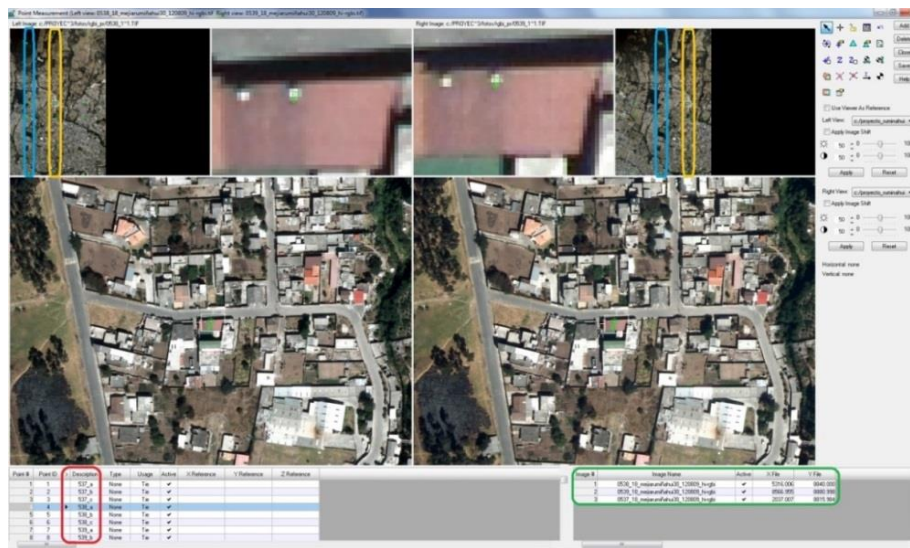
### 3.1.4.3 Puntos Von Grüber, GCP y Tie points

Ingresar a Point Measurement  (ver **Figura 3.34**), en donde se realizará el pinchado de los puntos necesarios para el ajuste del bloque.



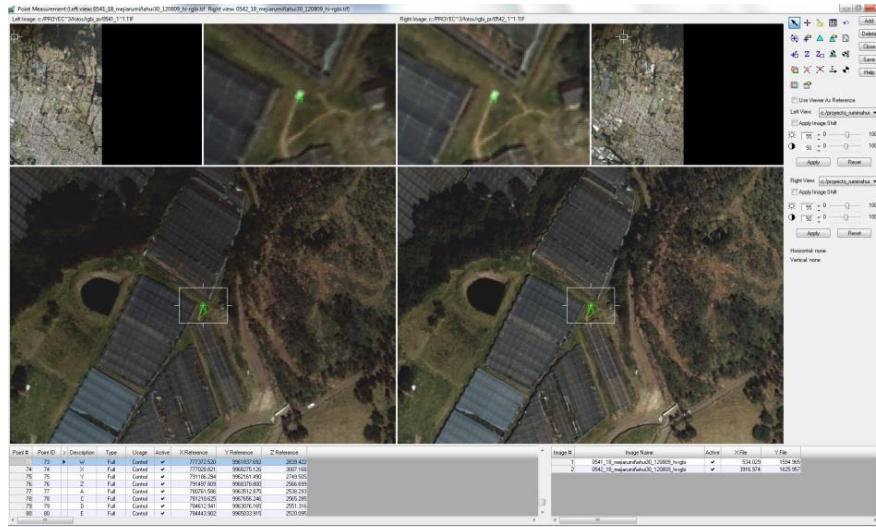
**Figura 3.34 Entorno de Point Measurement**

En primera instancia pinchar los puntos de Von Grüber, 3 por imagen distribuidos en la línea imaginaria vertical del centro de cada imagen, al centro (a), superior (b) e inferior (c) (ver **Figura 3.35**), los mismos que serán trasladados a las imágenes que contenga sus homólogos. En este caso fueron 72 los puntos ingresados.



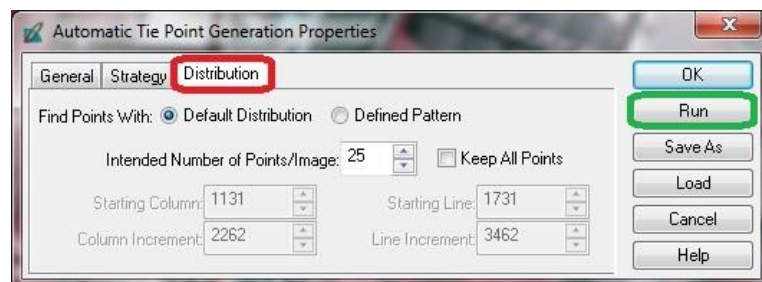
**Figura 3.35 Punto de Von Grüber colocados en las imágenes**

Luego ingresar los GCP (ver **Figura 3.36**), en este caso, como se mencionó en el apartado 3.3, se realizó la prueba con 3 distribuciones diferentes.



**Figura 3.36 Ingreso de los GCP**

Para finalizar este proceso, se parametrizaron las propiedades de la distribución de los tie point (ver **Figura 3.37**), especificando como insumo de correlación los GCP y tie point de los puntos de Grüber con una densificación de 25 puntos por imagen.



**Figura 3.37 Realización de los tie point**

Como resultado, luego de correr los tie point, se obtuvieron 247 puntos que fueron identificados en todas las imágenes (ver **Figura 3.38**).

Row #	Image ID	Image Name	Number of Intended Points	Number of Found Points	Number of Patterns	Point Success Rate %	Pattern Success Rate %
1	1	0537_18_mejaraminshu30_120809	25	40	25	100.00	68.00
2	2	0538_18_mejaraminshu30_120809	25	46	25	100.00	88.00
3	3	0539_18_mejaraminshu30_120809	25	46	25	100.00	88.00
4	4	0540_18_mejaraminshu30_120809	25	52	25	100.00	88.00
5	5	0541_18_mejaraminshu30_120809	25	45	25	100.00	88.00
6	6	0542_18_mejaraminshu30_120809	25	32	25	100.00	68.00
7	7	0829_19_mejaraminshu30_120919	25	33	25	100.00	64.00
8	8	0830_19_mejaraminshu30_120919	25	40	25	100.00	76.00
9	9	0831_19_mejaraminshu30_120919	25	45	25	100.00	84.00
10	10	0832_19_mejaraminshu30_120919	25	42	25	100.00	72.00
11	11	0833_19_mejaraminshu30_120919	25	43	25	100.00	84.00
12	12	0834_19_mejaraminshu30_120919	25	31	25	100.00	64.00
13	13	0830_20_mejaraminshu30_120919	25	36	25	100.00	68.00
14	14	0931_20_mejaraminshu30_120919	25	43	25	100.00	88.00
15	15	0932_20_mejaraminshu30_120919	25	45	25	100.00	88.00
16	16	0933_20_mejaraminshu30_120919	25	50	25	100.00	88.00
17	17	0934_20_mejaraminshu30_120919	25	35	25	100.00	84.00
18	18	0935_20_mejaraminshu30_120919	25	29	25	100.00	48.00
19	19	1240_21_mejaraminshu30_130119	25	35	25	100.00	60.00
20	20	1241_21_mejaraminshu30_130119	25	37	25	100.00	84.00
21	21	1242_21_mejaraminshu30_130119	25	41	25	100.00	76.00
22	22	1243_21_mejaraminshu30_130119	25	35	25	100.00	76.00
23	23	1244_21_mejaraminshu30_130119	25	32	25	100.00	80.00
24	24	1245_21_mejaraminshu30_130119	25	29	25	100.00	72.00

Average Point Success Rate (%): 100.00    Average Pattern Success Rate (%): 76.83  
Total unique tie points found: 247

Figura 3.38 Reporte del proceso automático de los tie point

### 3.1.4.4 Aerotriangulación (Orientación Exterior)

Para especificar ciertas características de la aerotriangulación, ingresar a las propiedades (ver **Figura 3.39**).

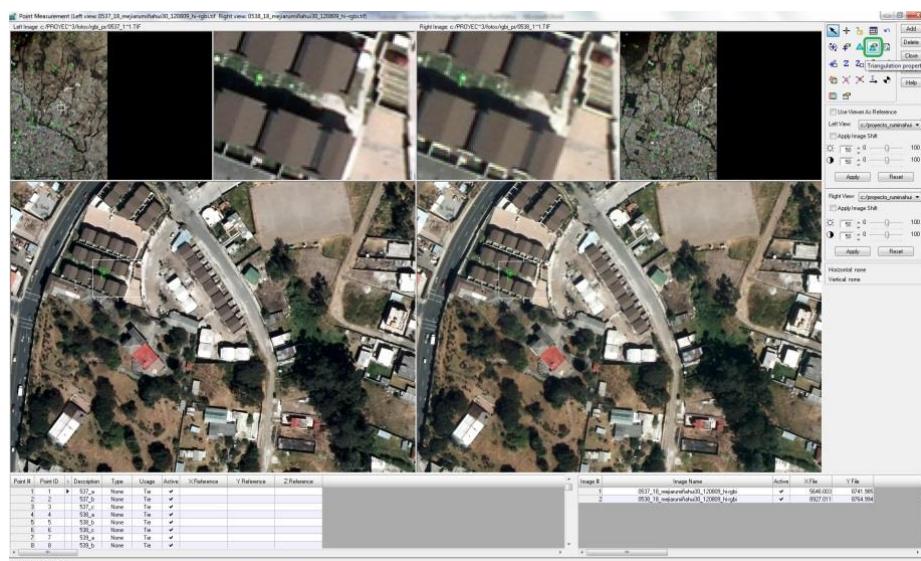
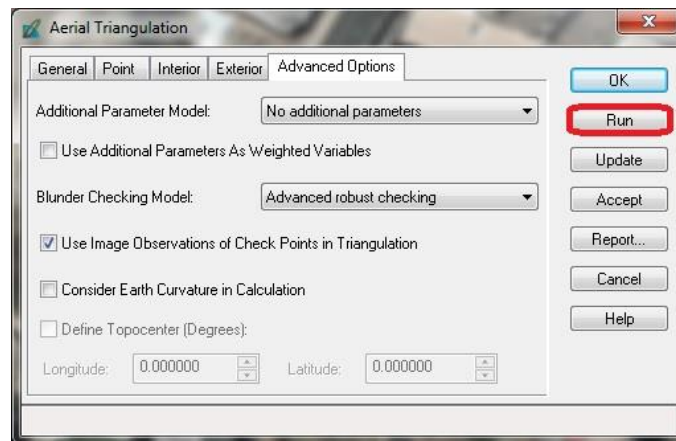


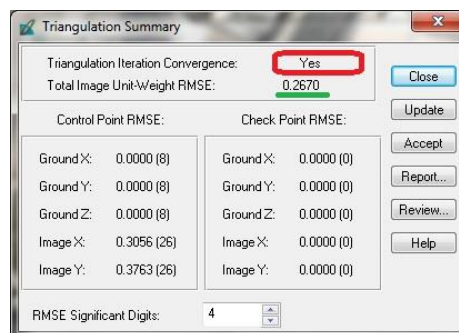
Figura 3.39 Ingreso a las propiedades de la aerotriangulación

En caso de especificar pesos para los puntos de control o un valor específico para la desviación estándar de los puntos de imagen, se modifican los parámetros de la viñeta para realizar un chequeo robusto de todos los puntos (ver **Figura 3.40**), esto permitirá eliminar errores groseros y no son ingresados como parte de la aerotriangulación.

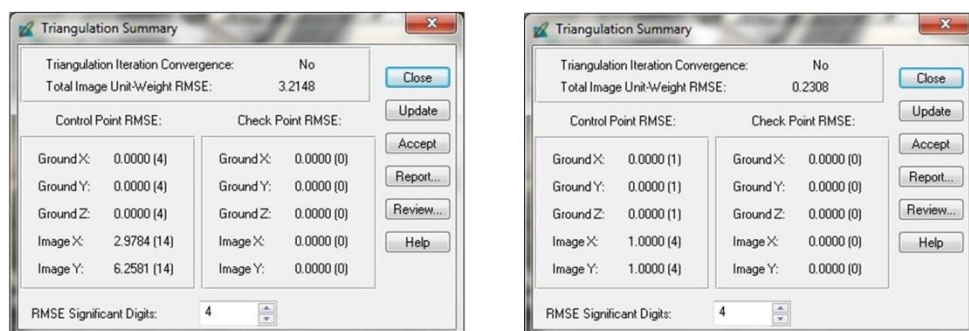


**Figura 3.40 Inicio de la aerotriangulación con parámetros definidos**

Luego de seleccionar RUN, la aceptación o no de la convergencia de la triangulación, para el caso de 11 GCP la **Figura 3.41** y para el caso de 7 y 5 puntos la **Figura 3.42** respectivamente.



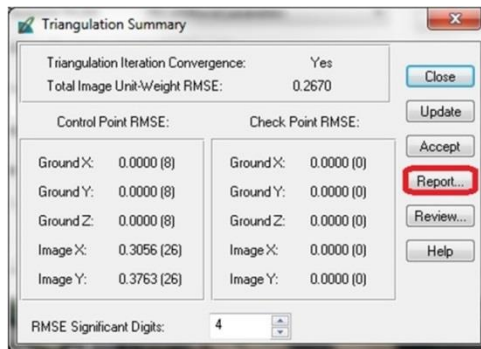
**Figura 3.41 Resumen aerotriangulación con 11 GCP**



**Figura 3.42 Resumen aerotriangulación con 7 y 5 GCP**

Con la finalidad de controlar el proceso, conocer detalles y parámetros de todo el proceso se revisa el reporte de la aerotriangulación (**ver Figura 3.43**), con mayor detalle en el ANEXO 1.





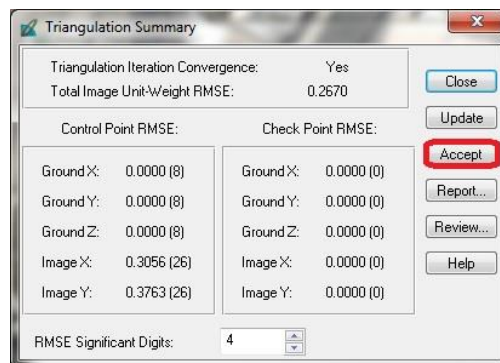
**Figura 3.43** Reporte de la aerotriangulación

The Triangulation Report With IMAGINE Photogrammetry  
 The output image x, y units: pixels  
 The output angle unit: degrees  
 The output ground X, Y, Z units: meters

The Input Image Coordinates  
 image ID = 1

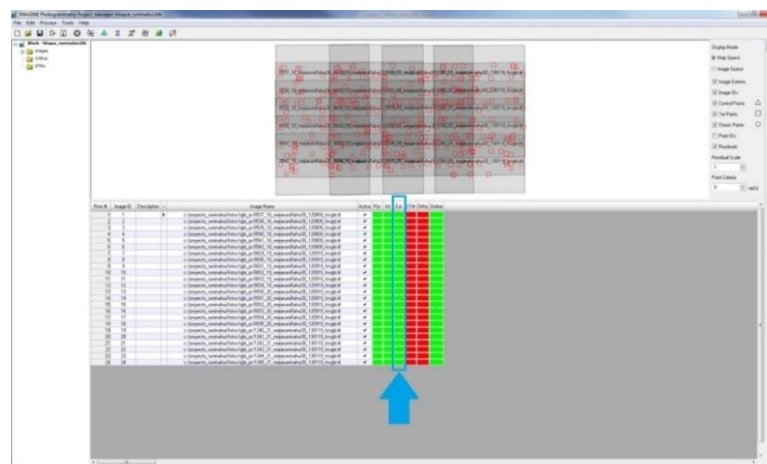
Point ID	X	Y
1	5646.003	8741.985
2	5639.956	261.946
3	5475.085	17461.025
4	2037.007	8815.984

Para que todo el sistema adquiera las propiedades de la aerotriangulación, escoger update y aceptar (ver **Figura 3.44**), luego cerrar el diálogo.



**Figura 3.44** Aceptar el ajuste de la aerotriangulación


Finalmente, en la ventana principal del bloque, aparece que ya se realizó la orientación exterior (ver **Figura 3.45**), lo que abre paso a obtener los siguientes productos derivados de este proceso fotogramétrico.



**Figura 3.45** Orientación exterior realizada


### 3.1.4.5 Generación modelo digital del terreno (MDT)

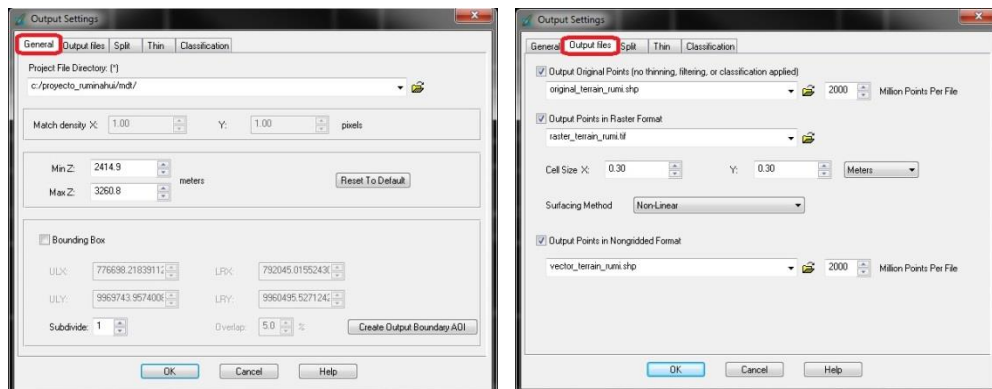
Los procedimientos que conllevan a la extracción del MDS, se encuentran detallados en el ANEXO 2. A continuación se realiza un breve resumen.

En el entorno de Imagine Photogrammetry, seleccionar DTM Extraction (  ), en este caso se selecciona el método eATE (ver **Figura 3.46**).




**Figura 3.46 Selección del método de extracción del MDT**

A continuación, ingresar a **Show Output Settings Dialog** (  ), donde se edita algunos parámetro de salida y edición del MDT (ver **Figura 3.47**).



**Figura 3.47 Configuración del archivo de salida**

En la ventana eATE Manager, realizar el proceso de división de los modelos (elementos o partes), los cuales mediante el proceso de BATCH (  ), generarán los modelos.

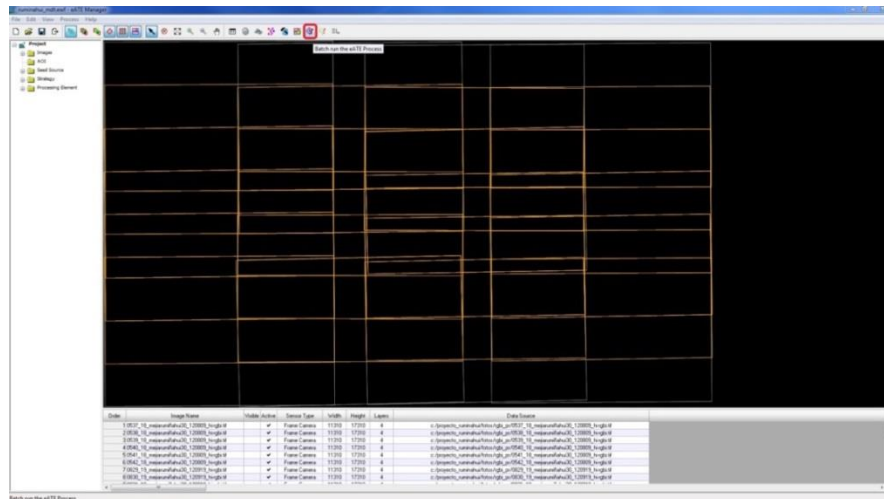


Figura 3.48 Bloque fotogramétrico dividido en elementos

Seleccionar el modelo a generar y eliminar los demás. Verificada la información, correr el proceso (ver **Figura 3.49**)

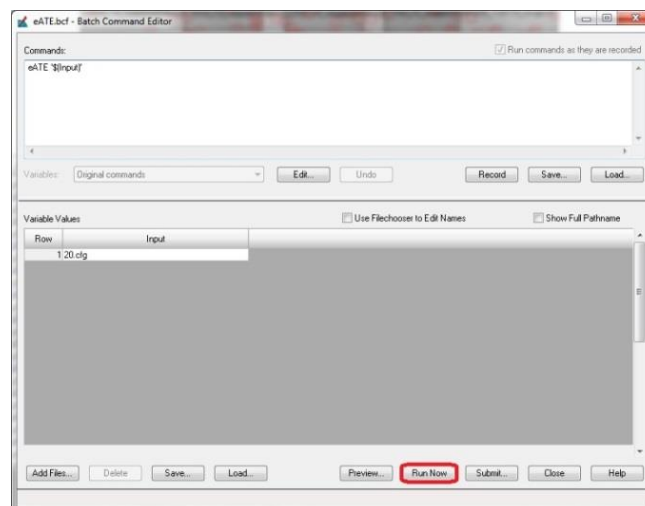
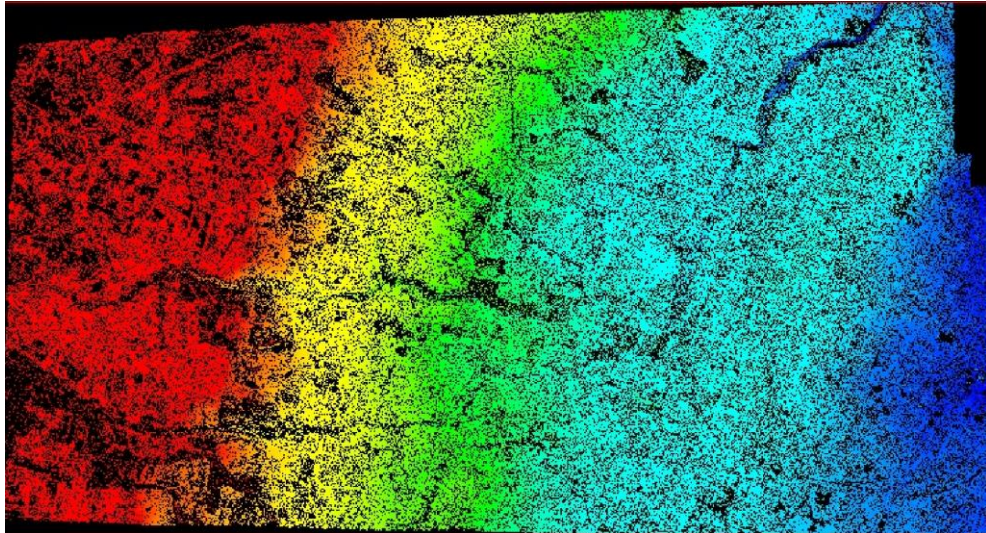


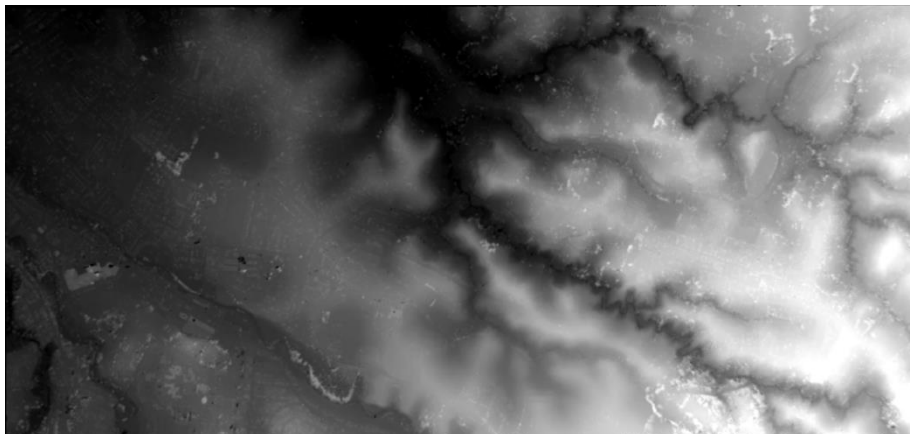
Figura 3.49 Comando o ventana BATCH

El modelo obtenido, que se observa en la **Figura 3.50**, tuvo problemas con la clara intervención de GAP's (ver), los mismos que generarán vacíos en el la ortofoto.



**Figura 3.50 MDE realizado mediante el método eATE**

Una prueba en ERDAS IMAGINE 2011, realizada con Classic eATE para la obtención del mismo modelo, dió a evidenciar que se puede realizar de una manera más versátil un modelo sin GAP's (ver **Figura 3.51**).



**Figura 3.51 MDS realizado mediante el método Classic eATE**

Por otro lado, también se obtiene una imagen de calidad del MDS, la misma que indica, qué tan bien está estructurado el producto obtenido (ver **Figura 3.52**).

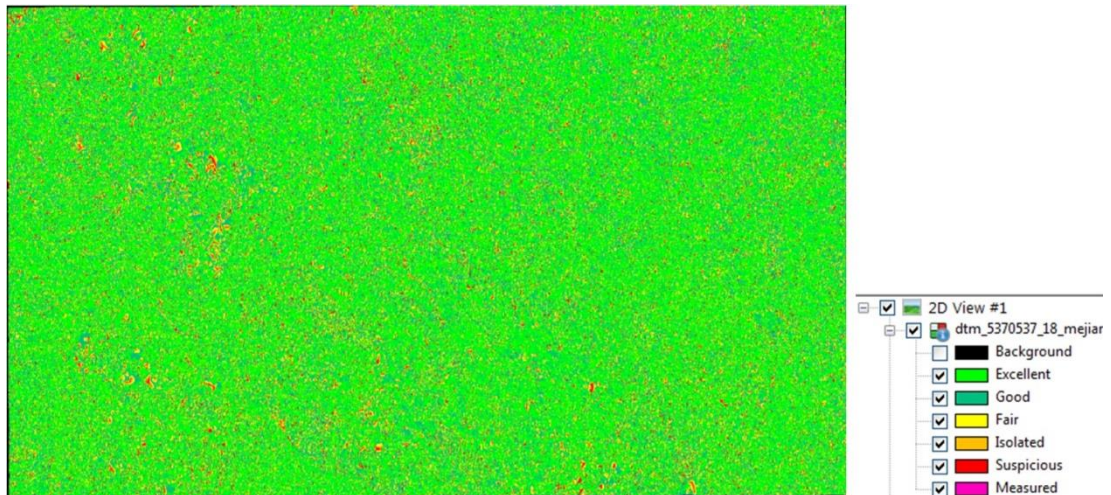


Figura 3.52 Archivo de calidad del MDS

### 3.1.4.6 Generación ortoimagen

Las especificaciones para la obtención de una ortoimagen, se encuentran detalladas en el ANEXO 3. A continuación se describe un resumen.

En el bloque fotogramétrico, seleccionar Ortho Resampling (📐), en la ventana del mismo, especificar en primera instancia el DTM a utilizar y el tamaño del píxel o GSD (ver **Figura 3.53**).

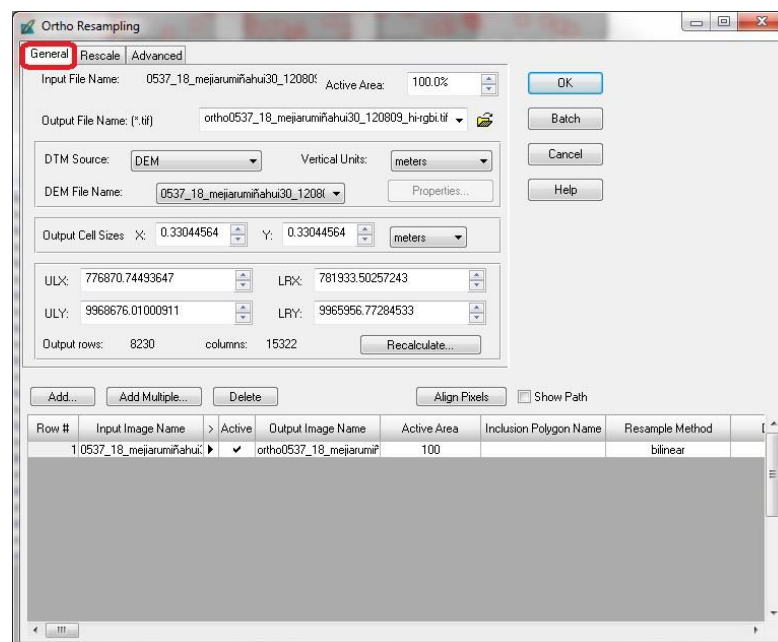
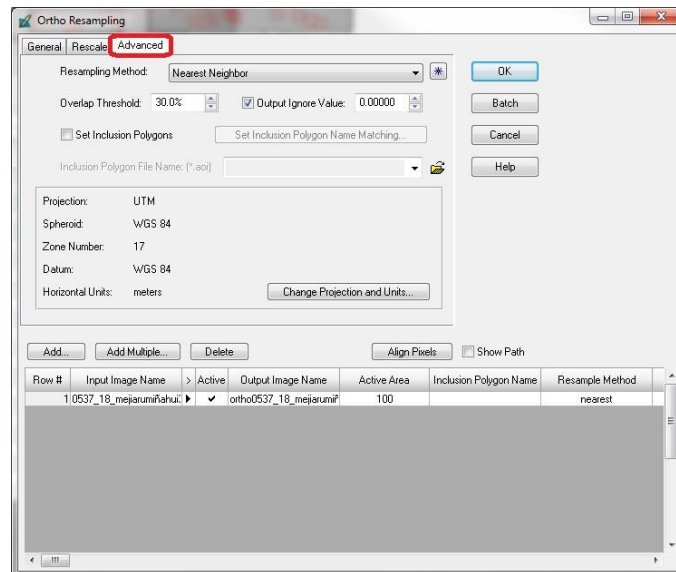


Figura 3.53 Especificaciones generales para la ortoimagen

Como opciones avanzadas, escoger el método de resampleo, valor a

ignorar en la salida, entre otros; también, se refleja la visualización de la proyección (ver **Figura 3.54**).



**Figura 3.54** Especificaciones avanzadas para la ortoimagen

Especificados los parámetros requeridos, generar la ortoimagen, para ello, como primer producto se utiliza el MDE, dando como resultado una ortoimagen también con GAP's (ver **Figura 3.55**).



**Figura 3.55** Ortoimagen generada con MDE obtenido de eATE

Mientras que haciendo una prueba ingresando el MDS obtenido por el Classic eATE, genera un producto sin GAP's. (ver **Figura 3.56**).



**Figura 3.56 Ortoimagen generada con MDS obtenido de Classic eATE**

En la **Figura 3.57**, se visualiza la comparación existente entre la ortoimagen con y sin problemas de GAP's, encontrando que se realizan estos no data, en lugares aleatorios.



**Figura 3.57 Diferencia significativa entre ortoimágenes según MDT extraído**

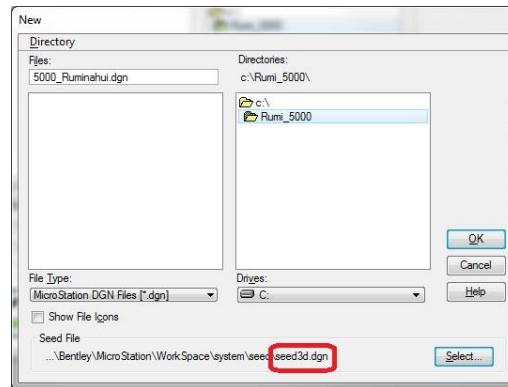
### 3.1.5 RESTITUCIÓN

Los procedimientos ejecutados en la restitución, se encuentran detallados en los ANEXOS 7 y 8. A continuación se realiza un breve resumen.

#### 3.1.5.1 Configuración del archivo semilla

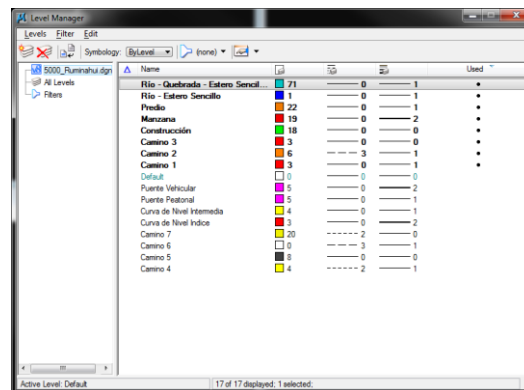
##### 3.1.5.1.1 Creación del DGN y atributos a restituir

Dentro de microstation, crear un nuevo archivo .dgn, el mismo que tendrá como característica un archivo semilla 3D (**Figura 3.58**).



**Figura 3.58 Creación de un nuevo archivo .dgn**

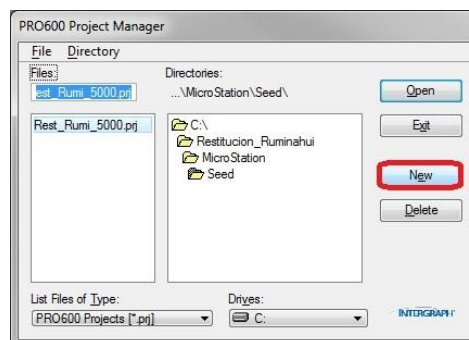
Una vez abierto el archivo, configurar y crear los objetos a restituir (según la escala del producto), dentro de Level (**Figura 3.59**).



**Figura 3.59 Editor de niveles**

### 3.1.5.1.2 Generación del proyecto y parámetros del archivo semilla

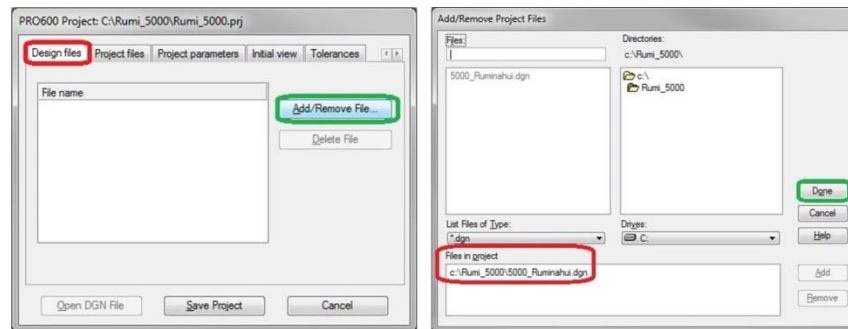
Ingresar a PRO600 for IMAGINE Photogrammetry del PRO600 2014 y crear un nuevo proyecto (ver **Figura 3.60**).



**Figura 3.60 Administrador de proyectos del PRO 600**

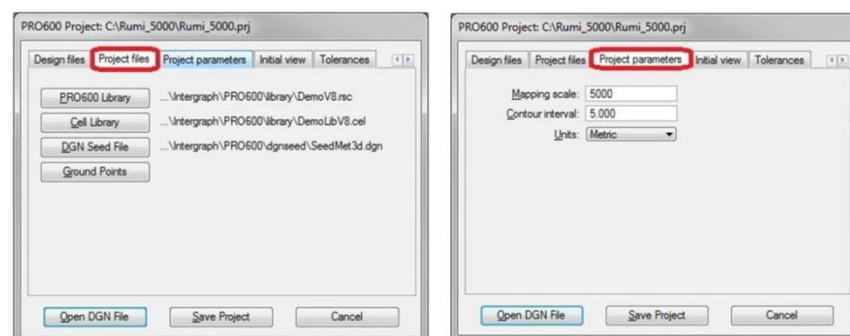


En la ventana PRO600 Project, dentro de la pestaña Design Files, agregar el archivo .dgn que se creó en el anterior apartado (ver **Figura 3.61**).



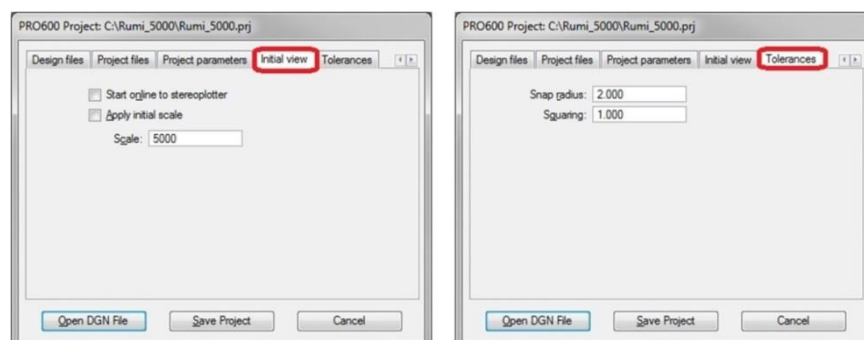
**Figura 3.61** Ingreso del archivo .dgn al proyecto

La pestaña Project files, se configurará más adelante. En la pestaña, Project parameters se especifica escala, intervalo de curva y unidades (ver **Figura 3.62**).



**Figura 3.62** Parámetros de project files y project parameters

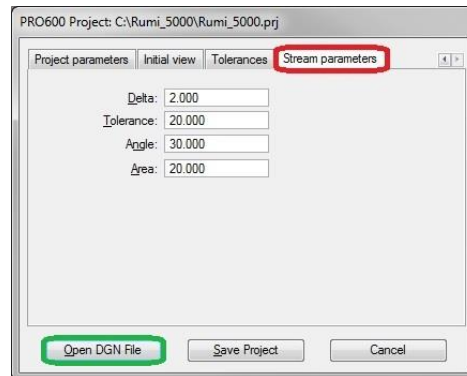
En initial view, se define la escala de visualización inicial y las tolerancias de los trazos (ver **Figura 3.63**).



**Figura 3.63** Parámetros de initial view y tolerances

Parámetros stream (trazo de vectores) de nodos y tolerancias (ver

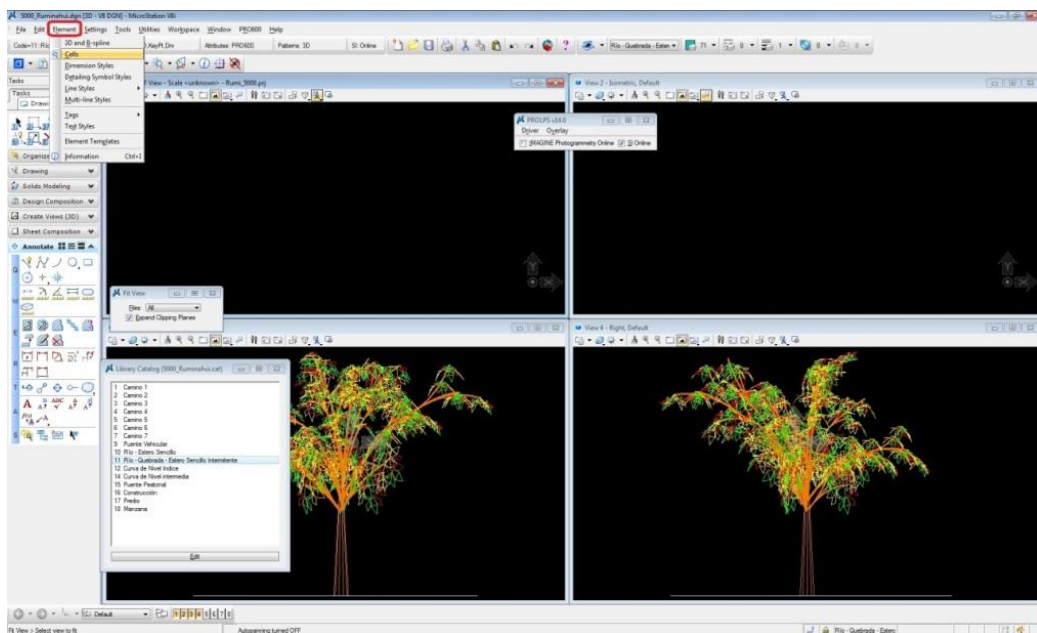
**Figura 3.64).** A continuación, abrir el archivo DGN.



**Figura 3.64** Parámetros de stream

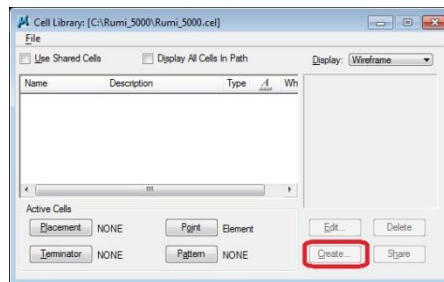
### 3.1.5.1.3 Estructuración del archivo célula (archivo .cel)

Dentro del Microstation, ingresar a Cells, donde se estructura un archivo célula (**Figura 3.65**), que puede contener los gráficos que se le asigne.



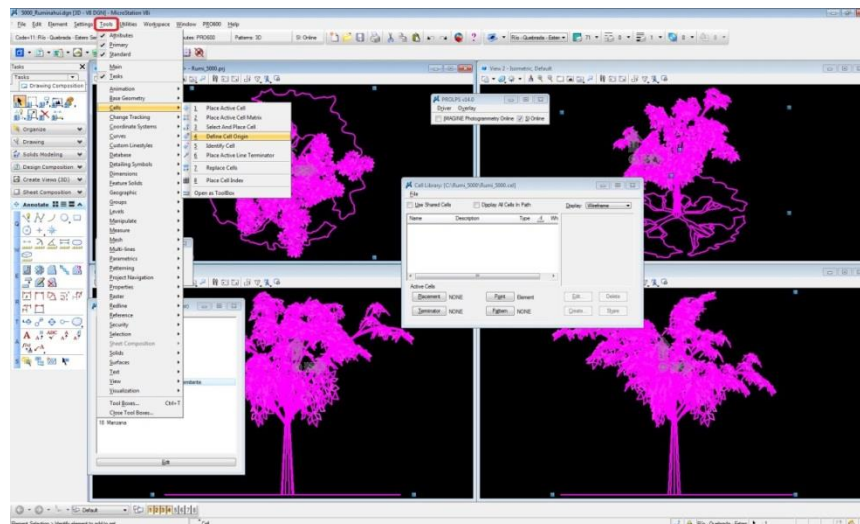
**Figura 3.65** Ingreso al administrador de archivos célula

En primera instancia, el botón **Create...** no se encuentra habilitado, teniendo primero que especificar una figura (ver **Figura 3.66**).



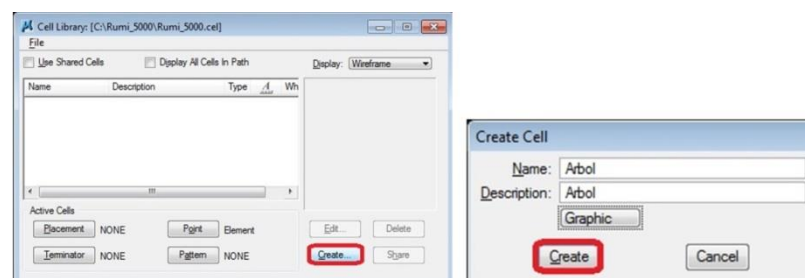
**Figura 3.66** No habilitado el botón de crear un objeto

Para ello, primero seleccionar el gráfico, luego seleccionar la herramienta **Define Cell Origin** (ver **Figura 3.67**) y definir el centro del objeto.



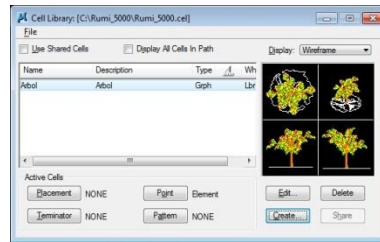
**Figura 3.67** Definir el origen o centro del objeto

De esta forma queda habilitado el botón **Create...**, clic en él y definir un nombre y descripción, finalmente crear dicha célula (ver **Figura 3.68**).



**Figura 3.68** Habilitación del botón create e introducción del objeto

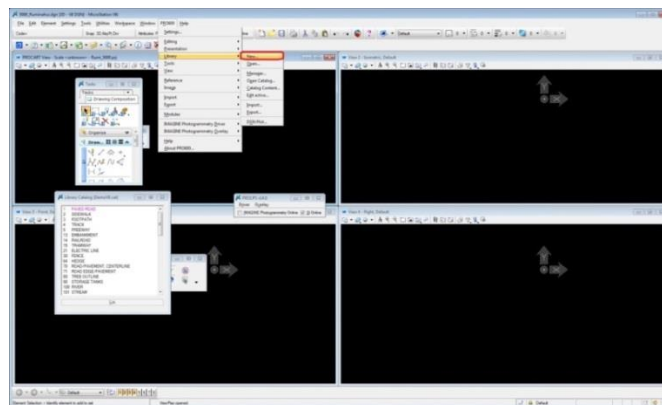
La librería de células muestra los gráficos que se van creando (ver **Figura 3.69**). De la misma forma se realiza para otros objetos.



**Figura 3.69** Archivo célula creado con un objeto

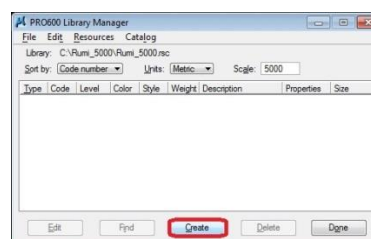
#### 3.1.5.1.4 Creación de la librería (archivo .rsc)

Dentro de microstation, crear una nueva librería de PRO600 (archivo .rsc), esto ayuda a ingresar a la catalogación de dicha librería, los objetos a restituir dentro del ambiente fotogramétrico (ver **Figura 3.70**).



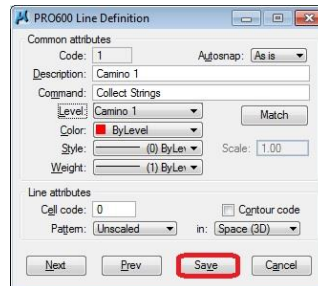
**Figura 3.70** Creación nueva librería de PRO600

Dentro de la librería establecida, se crea uno a uno los objetos a restituir (ver **Figura 3.71**).



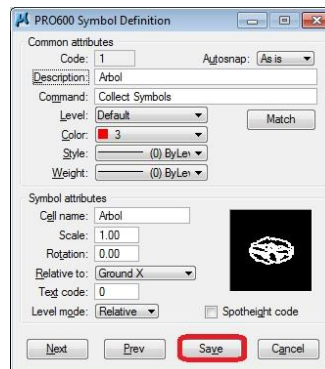
**Figura 3.71** Creación nuevos atributos a restituir

Seleccionar el nivel asignado y dar una descripción al mismo, así se configuran automáticamente los atributos del objeto (ver **Figura 3.72**).



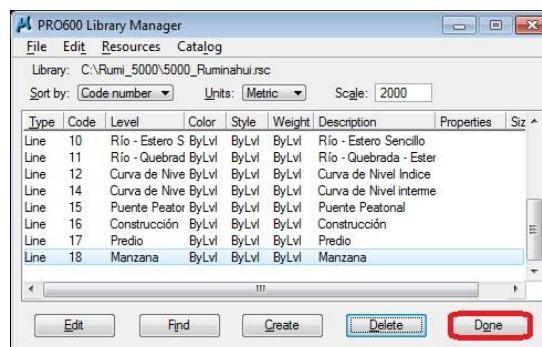
**Figura 3.72** Atributo editado según nivel asignado

En el caso del archivo célula, se debe escribir el nombre con el que fue creado el objeto a crear, en la celda de Cell name, automáticamente mostrándose el objeto seleccionado (ver **Figura 3.73**).



**Figura 3.73** Atributo célula llamado por el nombre

De esta manera, se establecen en el catálogo de la librería de PRO600, los objetos a restituir (ver **Figura 3.74**).



**Figura 3.74** Catalogación completa

### 3.1.5.2 Ambiente fotogramétrico

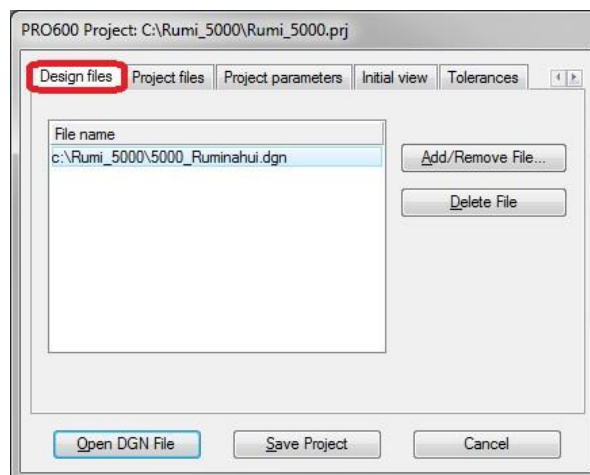
#### 3.1.5.2.1 Configuración del ambiente fotogramétrico con PRO600 dentro del ERDAS

Mediante la ventana que contiene el bloque fotogramétrico, ingresamos a PRO600 for IMAGINE Photogrammetry (ver **Figura 3.75**).



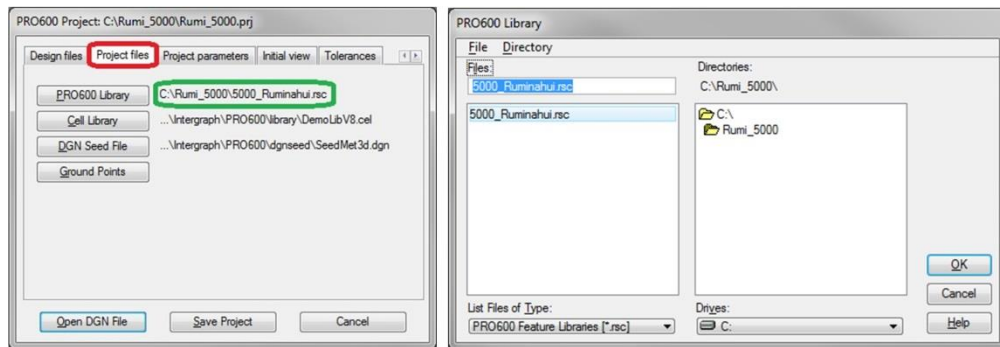
**Figura 3.75 Ingreso a PRO600 para la restitución**

Como se realizó anteriormente este paso, aparece automáticamente el archivo .dgn, o si no, agregarlo nuevamente (ver **Figura 3.76**).



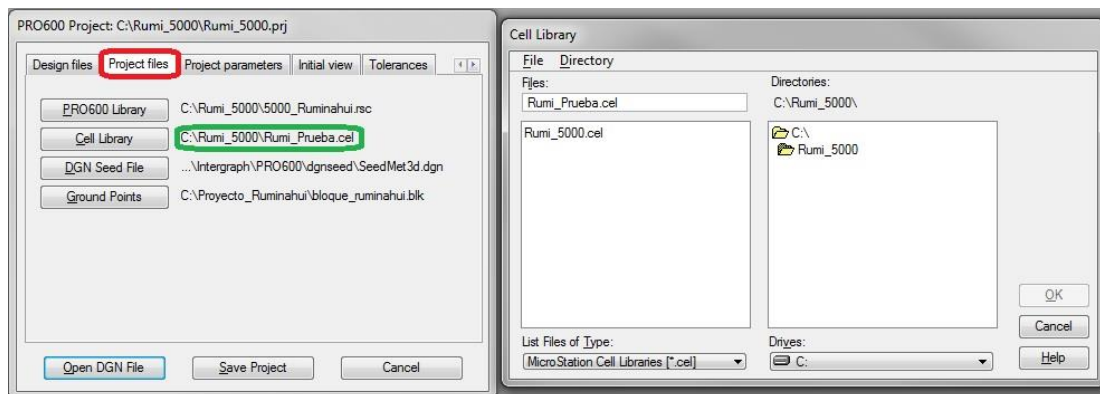
**Figura 3.76 Design files, donde se aloja el archivo .dgn**

En la librería del PRO600, escoger el archivo .rsc creado anteriormente (ver **Figura 3.77**).



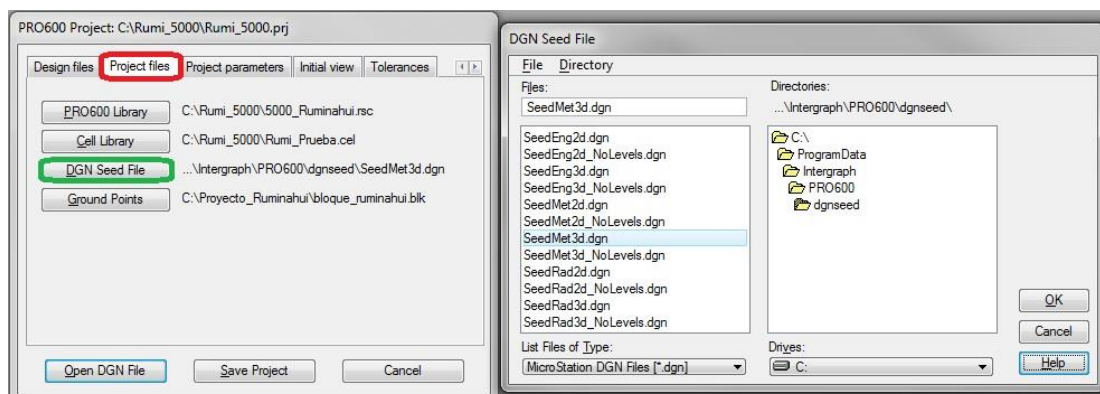
**Figura 3.77 Ubicar el archivo .rsc dentro de la librería de PRO600**

En la librería de células, seleccionar la célula creada para los gráficos a restituir (ver **Figura 3.78**).



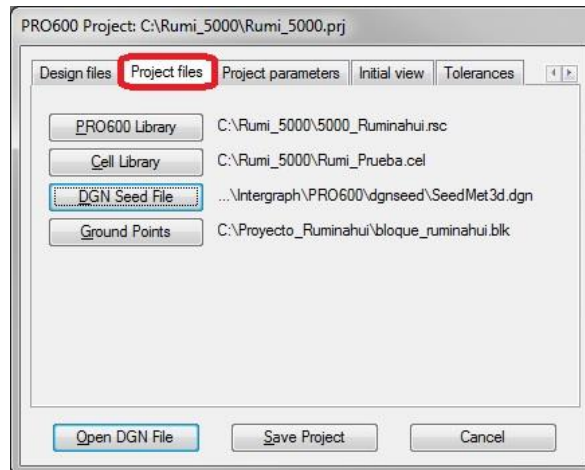
**Figura 3.78 Ingreso del archivo célula en los archivos del proyecto**

El archivo seedmet3d.dgn, establece la configuración en tres dimensiones para enlazar el archivo semilla del microstation con el del PRO600, este se carga por default (ver **Figura 3.79**).



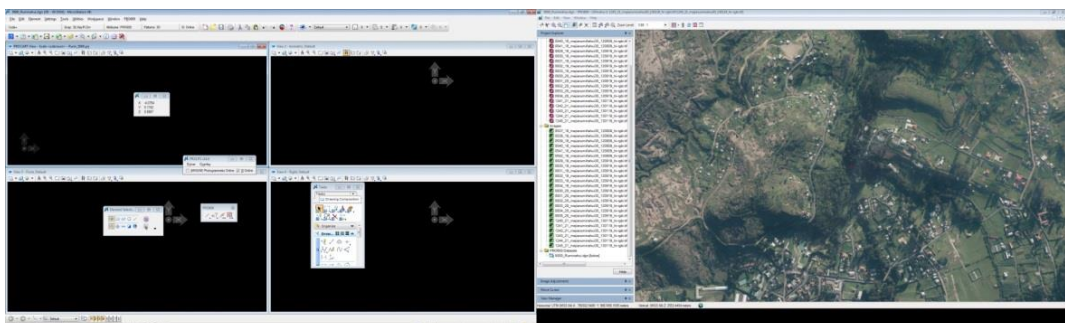
**Figura 3.79 Ubicación del seed 3D cargado**

Por último, cargar el archivo del bloque fotogramétrico (.blk) dentro de Ground Points (ver **Figura 3.80**). Así se tiene todo configurado, ya que las demás pestañas fueron editadas en el apartado anterior. Abrir el archivo DGN.



**Figura 3.80 Archivos ingresados, necesarios para el proyecto**

Se abre el PRO600 conectado con el Microstation y el PRO600 conectado al ERDAS (ver **Figura 3.81**).

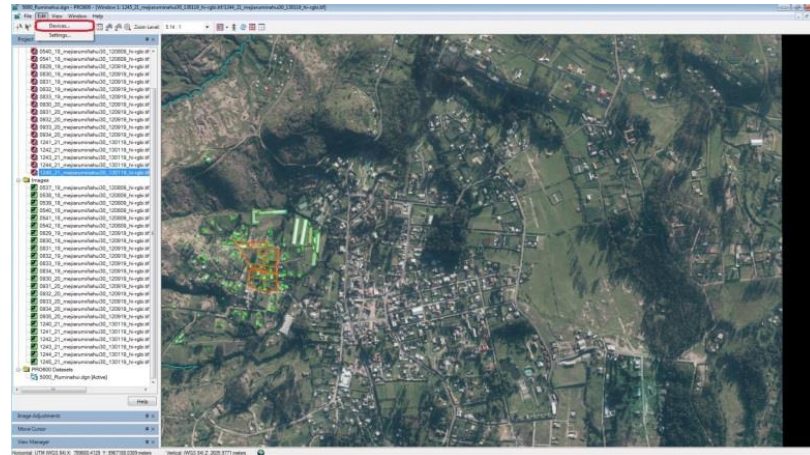


**Figura 3.81 Ambiente fotogramétrico inicializado**

### 3.1.5.2.2 Configuración softmouse

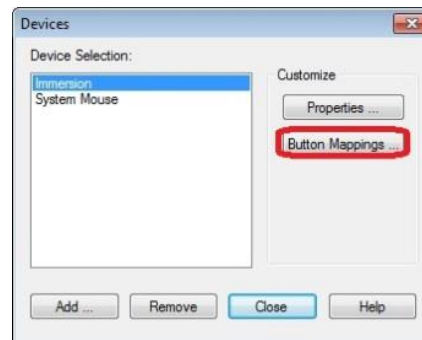
Para que el programa reconozca el softmouse, primero se tiene que conectar éste, luego ingresar a la pestaña Devices (ver **Figura 3.82**).





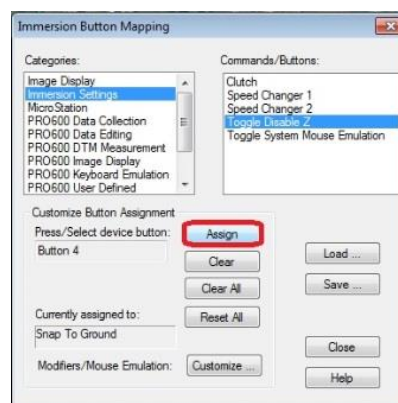
**Figura 3.82 Ingreso a la ventana que edita los mouse o softmouse**

Agregar el dispositivo desde Properties; escoger Inmersión, luego de eso, la configuración de los botones en Button Mappings (ver **Figura 3.83**).



**Figura 3.83 Softmouse conectado e ingreso a opciones de los botones**

Para setear cada botón, seleccionar un comando, clic en el botón del softmouse requerido y por último clic en Assign (ver **Figura 3.84**).



**Figura 3.84 Asignación de un comando específico al softmouse**

### 3.1.5.2.3 Ambiente fotogramétrico

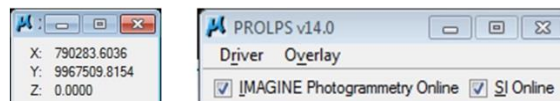
En este apartado se describe ciertos detalles a tener en cuenta antes de la restitución, los mismos que ayudan a tener un flujo de trabajo conocido.

Se deben revisar características como: la configuración de los botones del softmouse (ver **Figura 3.85**), dando una simbología para conocimiento de nuevos restituidores.



**Figura 3.85 Softmouse configurado**

Por otro lado se tiene la ventana X,Y,Z, que muestra las coordenadas de dónde se encuentra la marca flotante y PROLPS que indica que los casilleros están activados cuando el softmouse está en movimiento (ver **Figura 3.86**).

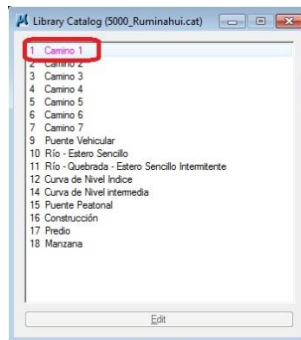


**Figura 3.86 Visualizador de coordenadas y actividad de softmouse**

### 3.1.5.3 Captura de datos

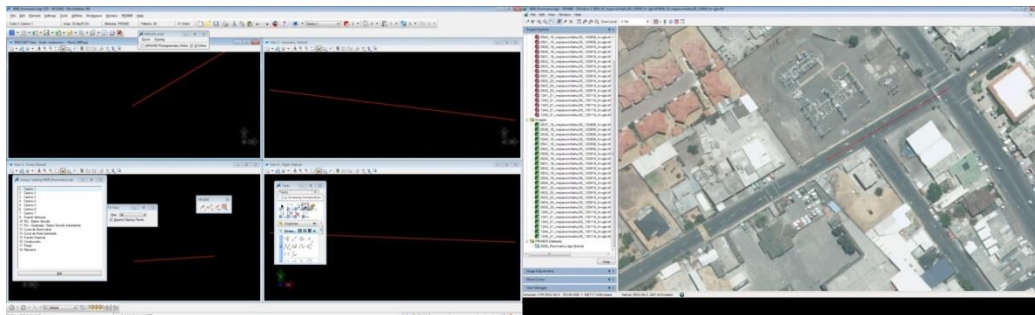
#### 3.1.5.3.1 Restitución planimétrica

Seleccionar el objeto a restituir en la librería del PRO600 dentro del Microstation (ver **Figura 3.87**).



**Figura 3.87 Selección de un objeto planimétrico**

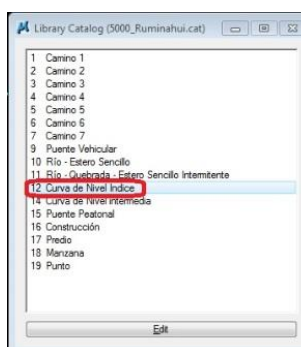
Mover el softmouse y automáticamente se direcciona a la ventana del PRO600 dentro del ERDAS. Posteriormente, se empieza el trazo, aplicando el principio de la marca flotante (una sola marca a piso), viéndose que en el microstation también empieza a dibujarse el vector (ver **Figura 3.88**).



**Figura 3.88 Realización de la restitución planimétrica**

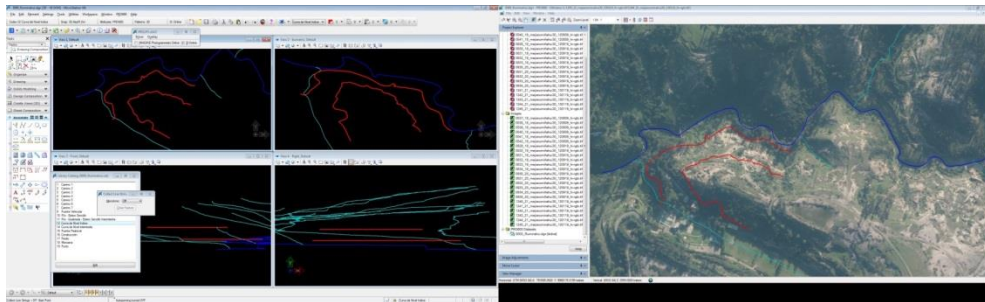
### 3.1.5.3.2 Restitución Altimétrica

Seleccionar el atributo a restituir en la librería del PRO600 dentro del microstation, en este caso curvas de nivel índice (ver **Figura 3.89**).



**Figura 3.89 Selección de un objeto altimétrico**

Realizar el trazo, manteniendo una altura constante, como se observa en la **Figura 3.90**.



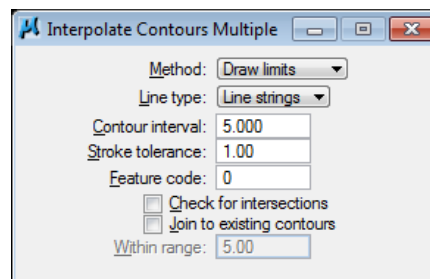
**Figura 3.90 Trazos de la restitución altimétrica**

Para la realización de las curvas intermedias, se puede realizar manualmente, o ingresar a Interpolate Contours, herramienta del PRO600 dentro del microstation (ver **Figura 3.91**).



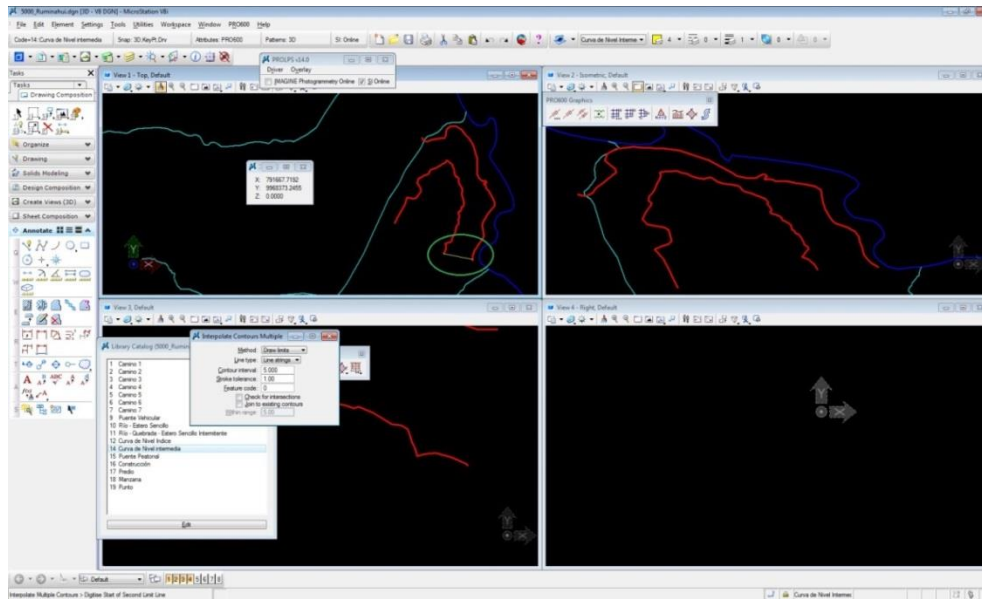
**Figura 3.91 Interpolación de curvas intermedias**

Editar los parámetros para la interpolación de dichas curvas, en este caso un método que delimita una sección entre dos curvas de nivel, por medio de 2 líneas (ver **Figura 3.92**).



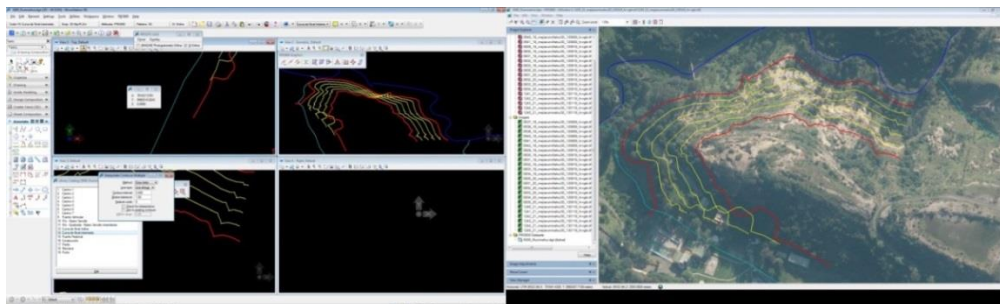
**Figura 3.92 Parámetros para la realización de curvas intermedias**

Delimitar los vértices de las curvas de nivel, entre los cuales se va a realizar la interpolación (ver **Figura 3.93**).



**Figura 3.93 Delimitación de las curvas índice para la interpolación**

Una vez ejecutada la acción, se visualizará que se han creado las curvas de nivel intermedias (ver **Figura 3.94**).



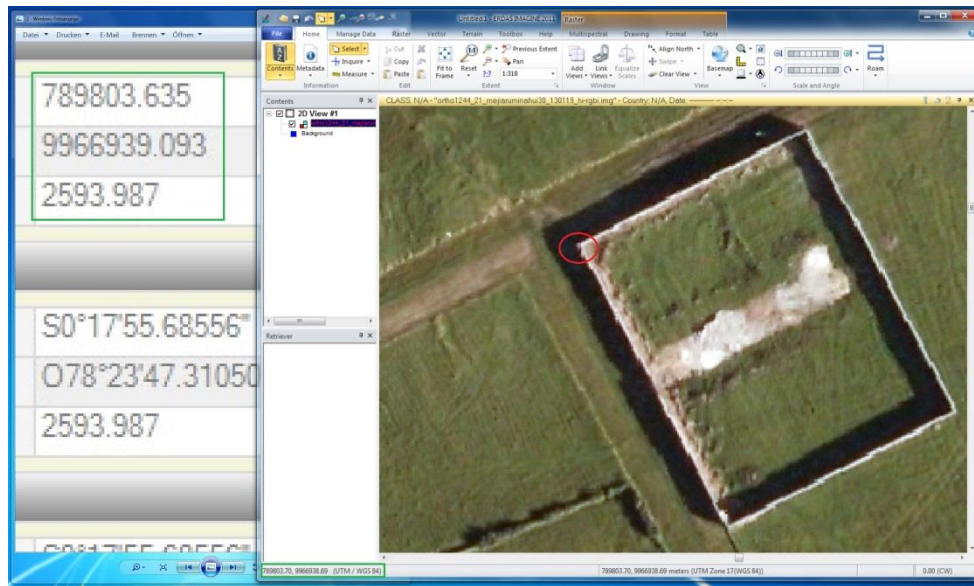
**Figura 3.94 Curvas intermedias interpoladas**

## 3.2 RESULTADOS DEL CONTROL DE CALIDAD

Se realizó la toma de 8 puntos de control en campo, aleatoriamente, en el área de estudio, con los cuales se compararon las precisiones en planimetría.

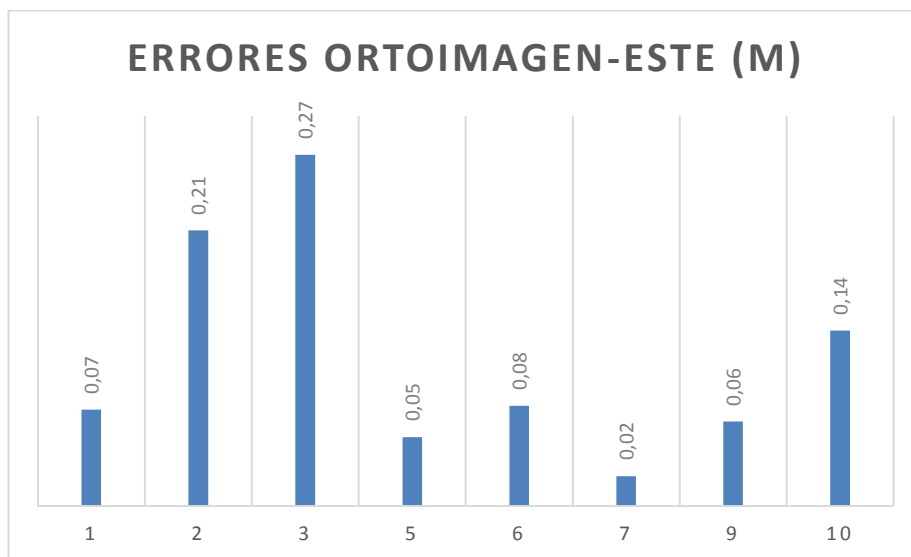
### 3.2.1 Ortoimagen

En la comparación realizada, entre la ortoimagen y el punto de control de calidad, pudo evidenciarse el error que existe entre las coordenadas (ver **Figura 3.95**).



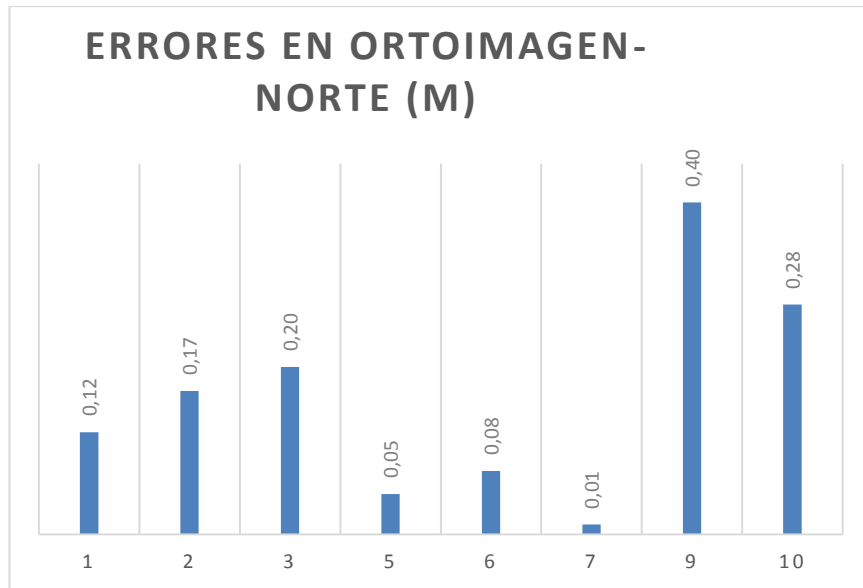
**Figura 3.95** Comparación entre punto de control y ortofoto

En la **Figura 3.96**, se indican los errores de los puntos al este, llegando a tener un error promedio de 0.11 m.



**Figura 3.96** Errores ESTE en la ortoimagen

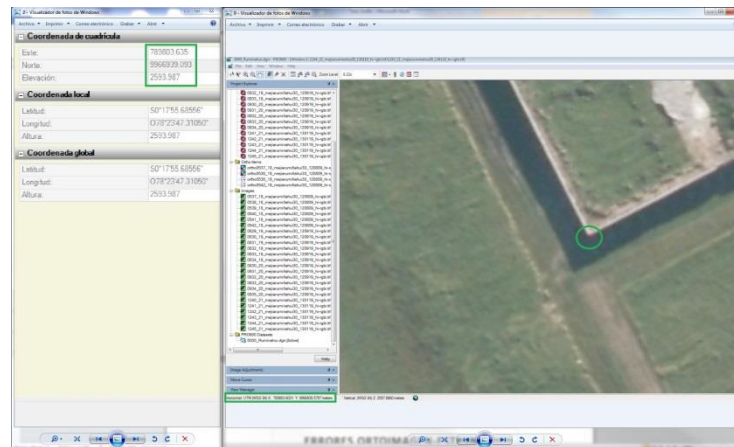
La **Figura 3.97**, muestra los errores al norte de los puntos, existiendo un error promedio de 0.17 m.



**Figura 3.97 Errores NORTE en la ortoimagen**

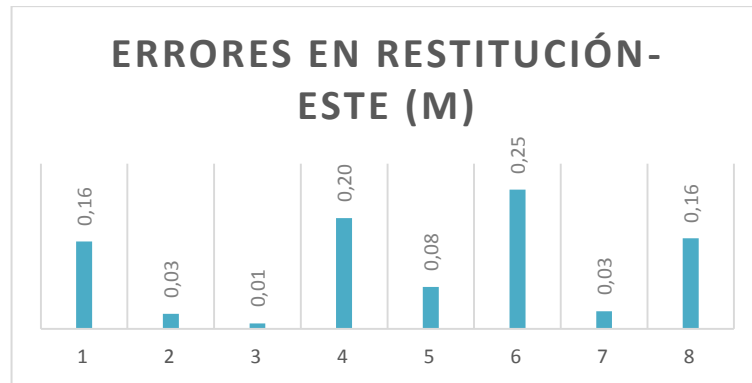
### 3.2.2 Restitución 2D y 3D

Para constatar el error, se posicionó la marca flotante a piso, sobre los objetos que se conocían las coordenadas de control (ver **Figura 3.98**).



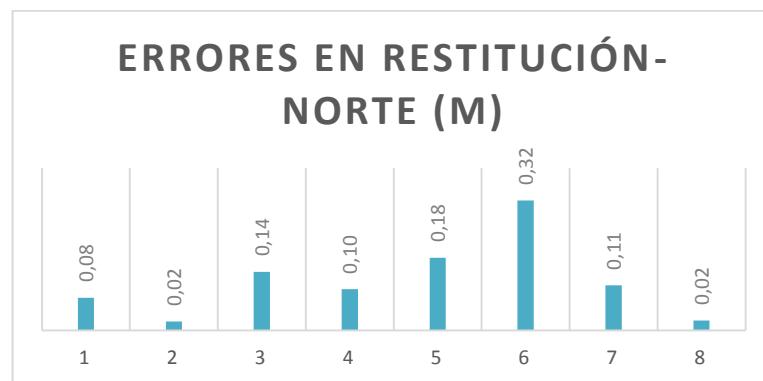
**Figura 3.98 Comparación entre las coordenadas del punto de control y la restitución**

La **Figura 3.99** indica los errores de los puntos, llegando a tener un error promedio de 0.12 m al este.



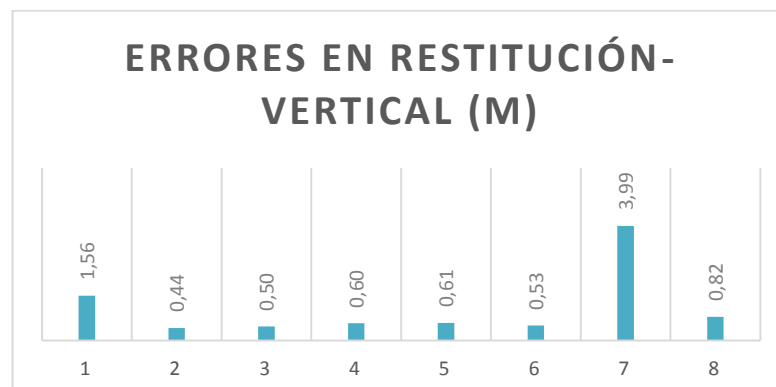
**Figura 3.99 Errores ESTE en la restitución**

La **Figura 3.100**, muestra los errores norte de los puntos, llegando a tener un error promedio de 0.15 m.



**Figura 3.100 Errores NORTE en la restitución**

La **Figura 3.101**, muestra los errores en vertical de los puntos, llegando a tener un error promedio de 1.18 m.



**Figura 3.101 Errores en VERTICAL dentro de la restitución**



## CAPÍTULO IV

### 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- Se ajustó el bloque fotogramétrico y se cumplieron con todos los objetivos del proyecto, además, manuales de todo el proceso que conlleva esta metodología, se redactaron para que sirvan de aporte a futuras investigaciones y enseñanza.
- Con una base de 231 m hasta 9 km, se posicionaron 11 GCP considerando un tiempo de entre 30 a 55 minutos por punto, con el post proceso se alcanzó un error medio de 1.4 cm en horizontal y 2.5 cm en vertical. De los puntos mencionados fueron indispensables para el ajuste los mismos 11 puntos, ya que con 5 y 7 no hubo convergencia y el RMSE fue alto para el caso de 7 puntos.
- La convergencia del bloque fotogramétrico fue aceptada con un RMSE de 0,2670 de píxel. Considerando el estándar del IGM, este proyecto estaría dentro del rango admisible para el error de los ajustes.
- Con pruebas entre dos tipos de licencias de generación de MDT, se evidenció que en el caso de la versión de la universidad, elabora un MDE con no datas o GAP's; en una versión anterior, su configuración realiza un MDS, generando un archivo homogéneo, sin GAP's. En ese sentido se generaron 20 MDE y 20 MDS.
- Las ortofotos fueron generadas con el MDS en total se obtuvieron 20 ortofotos. Finalmente con la herramienta Mosaic, se unieron las ortofotos y se obtuvo un Ortomosaico de 100 km<sup>2</sup>.
- En la captura de elementos de la restitución, se logró crear una propia librería de objetos .rsc para escala 1:5000, la misma que incluye entre los

objetos: vías, ríos, curvas de nivel, etc; pudiéndose añadir a ésta construcciones, alcantarillado, manzanas y diferentes objetos para escalas más grandes.

- Al momento de montar la información restituida sobre una ortofoto creada con un DTM constante, se aprecia que existe un desplazamiento considerable, dando a resaltar la importancia del MDT para la realización de las ortofotos.
- Para poder restituir, básicamente hay que tener un software, hardware (computadora de doble procesador, tarjeta gráfica moderna y memoria ram de alta capacidad), softmouse y gafas 3D. El monitor se debe configurar a 120 Hz (velocidad de refrescamiento). La captura de información se la realiza con el principio de la marca flotante, poniéndola a piso.
- En el control de calidad de las ortofotos y la restitución, se obtuvieron en campo 8 muestras, con precisiones medias de 0.4 y 0.7 cm en horizontal y vertical respectivamente. Con estos insumos se obtuvieron desplazamientos de 11 cm como mínimo y 17 cm como máximo, con una media de 14 cm para la ortoimagen, y de 12 cm como mínimo y 15 cm como máximo, con una media de 14 cm para la restitución, por lo tanto, con las precisiones obtenidas, según la normativa IGM, se entraría en el estándar de escala 1:1000.
- Respecto a la normativa peruana, en cuanto a la cartografía, en horizontal se alcanza una escala 1:1000 y en vertical una escala 1:5000.
- Finalmente, no existe una especificación técnica en común para los países de América, las normativas se rigen dentro de cada país, dependiendo de una entidad a cargo para la validación y aprobación de productos geográficos.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Para la ubicación de los GCP, se debe analizar antes de salir al posicionamiento, que los puntos a tomar se evidencien en campo; para ellos, se debe comprobar con Google Earth u otro medio que permita ver puntos foto identificables, ya que tal vez hayan sido modificados en el tiempo.
- Los GCP a tomar deben ser identificables en todas las imágenes que las contienen, tratando de que estos se posicionen en un triple traslapo de existir o si no un doble traslapo entre imágenes.
- Considerar la Estación de Monitoreo Continuo más cercana a los puntos de apoyo (menor a 10 Km), para que los tiempos de toma sean menores y el post proceso tenga mayor precisión.
- Se recomienda que el número de GCP para un área de 100 km<sup>2</sup> y con una pendiente de baja a media, sea de 10 a 11.
- En caso de que la finalidad del proyecto sea la cartografía, realizar una corrección por ruido a las imágenes para mejorar y homogenizar la radiometría; si el objetivo es la clasificación, no se recomienda, ya que altera la radiometría y cambia los valores de los niveles digitales.
- Se debería buscar un curso o investiga más a fondo sobre edición en la generación de los modelos digitales, pudiendo ser de utilidad los productos obtenidos según la configuración del software.
- Que el ente rector IGM, analice detenidamente el Catálogo de Objetos, ya que existen unidades geográficas de gran escala que se podrían restituir a menor escala.

- Establecer y mantener actualizado un manual específico de Control de Calidad (Precisiones o Tolerancias) para todos los procesos fotogramétricos.
- A nivel local y nacional, generar un manual de procesos para el control de calidad de cada etapa del proceso fotogramétrico – cartográfico, en dónde se incluya el número de muestras y con su nivel de confianza.
- El IPGH como organismo internacional encargado de la geografía e historia, podría realizar especificaciones técnicas en las que se puedan basar todos los países miembros del mismo, en las cuales aclare y homogenice la información para todos los procesos fotogramétricos actuales; ayudando a tener una información estandarizada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ackermann, F. (1987). The use of camera orientation data in Photogrammetry. *A review Photogrammetria*, 42.
- AIRBUS. (2015). Ejemplo de GCP.
- ALLPE. (2014). Modelo Digital.
- Anónimo. (2014).
- Aparicio, M. d. (21 de Noviembre de 2007). *LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena:  
<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/177/6/CAP%C3%8DTULO%205.pdf>
- Berrocoso, M., Sánchez, A., Pérez, A., Jigena, B., Fernández, J., & Páez, R. (15 de Mayo de 2009). *SISTEMAS GNSS: FUNCIONAMIENTO, POSICIONAMIENTO Y PRECISIÓN*. Obtenido de Universidad de Cádiz: [http://lagc.uca.es/web\\_lagc/docs/curso\\_rap/Presentacion\\_II.pdf](http://lagc.uca.es/web_lagc/docs/curso_rap/Presentacion_II.pdf)
- Bonneval, H. (1972). *Photogrammétrie Générale* (Vol. 1). (Eyrolles, Ed.) París, Francia.
- Buill, F., Núñez, A., & Rodríguez, J. (2003). *Fotogrametría analítica*. Obtenido de Google Books:  
[https://books.google.com.ec/books?id=YjKs5\\_Qp5jsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=YjKs5_Qp5jsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Buill, F., Núñez, M., & Rodríguez, J. (1 de febrero de 2003). *Fotogrametría analítica*. Barcelona, Catalunya, España: Ediciones UPC.
- CARTODATA. (2014). *Fotogrametría Terrestre*. México.
- Cartográfica de Canarias. (2013). *Ortofotos*. Obtenido de Cartográfica de Canarias: <http://www.grafcan.es/ortofotos>
- Comer, R., Kinn, G., Light, D., & Mondello, C. (1998). *Talking Digital*. Obtenido de American Society for Photogrammetry and Remote Sensing:  
<http://www.asprs.org/a/publications/pers/98journal/december/12-98-digital.pdf>
- Cuesta, R. (2008). *Los Modelos Digitales del Terreno y su uso en Cartografía Temática*. Obtenido de Geoportal IGM:  
[http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb\\_dl=33](http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=33)
- de Luis Ruiz, J. (2010). *FOTOGRAMETRÍA*. Obtenido de Universidad de Cantabria: [http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/topografia-y-geodesia-1/temas/UD%20IV%20\\_Todo\\_def\\_.pdf](http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/topografia-y-geodesia-1/temas/UD%20IV%20_Todo_def_.pdf)
- Delgado, J. (30 de Marzo de 2006). *Sensores Electroópticos. Cámaras Digitales*. Obtenido de Universidad de Jaén:  
[http://coello.ujaen.es/Asignaturas/fotodigital/descargas/FD\\_tema4b.pdf](http://coello.ujaen.es/Asignaturas/fotodigital/descargas/FD_tema4b.pdf)
- Devillers, R., & Jeansoulin, R. (2010). Check Point, en un cruce de vías, extraído de un mapa.
- Devillers, R., & Jeansoulin, R. (Enero de 2010). *Fundamentals of Spatial Data Quality*. Obtenido de Google Books:  
[https://books.google.com.ec/books?id=WOkmngcSLpkC&pg=PA70&lp\\_g=PA70&dq=checkpoint+gcp+tie+points&source=bl&ots=880RdQiPlx&sig=pkv9oQ\\_JI4avLvbegvFmQd4TJO8&hl=es&sa=X&ei=NhsxVe34I](https://books.google.com.ec/books?id=WOkmngcSLpkC&pg=PA70&lp_g=PA70&dq=checkpoint+gcp+tie+points&source=bl&ots=880RdQiPlx&sig=pkv9oQ_JI4avLvbegvFmQd4TJO8&hl=es&sa=X&ei=NhsxVe34I)

- YvlsAXq5YD4Cg&ved=0CEQQ6AEwBQ#v=onepage&q=checkpoint%20gcp%20tie%20points&f=fal
- Ditutor. (25 de septiembre de 2011). *Desviación estándar*. Obtenido de Ditutor: [http://www.ditutor.com/estadistica/desviacion\\_estandar.html](http://www.ditutor.com/estadistica/desviacion_estandar.html)
- EGNOS. (23 de Noviembre de 2011). *What is GNSS?* Obtenido de EGNOS-Portal: <http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos/what-gnss>
- Felicísimo, A. (1999). *Modelos Digitales del Terreno*. Obtenido de Universidad de Oviedo: <http://www6.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>
- Fernández, T. (30 de Septiembre de 2008). *Tipos de SIG y MDT*. Obtenido de Universidad de Jaén: [http://coello.ujaen.es/asignaturas/cartografia/cartografia\\_%20descargas\\_%20archivos/Tema%201-4.%20SIG-MDT.pdf](http://coello.ujaen.es/asignaturas/cartografia/cartografia_%20descargas_%20archivos/Tema%201-4.%20SIG-MDT.pdf)
- Figueras, F. (7 de enero de 2010). *Apuntes-Estadística*. Obtenido de IES Francisco Figueras Pacheco: [http://figueraspacheco.com/PPC/Apuntes\\_estadistica\\_4ESO.pdf](http://figueraspacheco.com/PPC/Apuntes_estadistica_4ESO.pdf)
- G.I.S. Ibérica. (30 de septiembre de 2003). PARALAJE ESTEREOSCÓPICA. España.
- García, P., & Ortiz, E. (2 de Julio de 2012). *Influencia del GSD en la orientación de un bloque fotogramétrico*. Obtenido de Universidad del País Vasco: <https://addi.ehu.es/bitstream/10810/9005/1/Influencia%20del%20GSD%20en%20la%20orientaci%C3%B3n%20de%20un%20bloque%20fotogram%C3%A9trico.pdf>
- Generalitat de Catalunya. (2011). Orientación Directa.
- Generalitat de Catalunya. (2014). *Diferencias entre fotografía aérea y ortofoto*. Obtenido de Generalitat de Catalunya: <http://www.icc.cat/esl/Home-ICC/Mapas-escolares-y-divulgacion/Preguntas-frecuentes/Diferencias-entre-fotografia-aerea-y-ortofoto>
- Geoinpro. (2013). Aerotriangulación Digital.
- Geomares Publishing. (11 de Abril de 2008). *Digital Aerial Cameras*. Obtenido de GIM International: [http://www.gim-international.com/files/productsurvey\\_v\\_pdfdocument\\_25.pdf](http://www.gim-international.com/files/productsurvey_v_pdfdocument_25.pdf)
- GEOPORTAL IGM. (2010). *Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – REGME*. Obtenido de Geoportal IGM: [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page\\_id=207](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page_id=207)
- Ghio, G. (2008). *Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Conceptos, Funcionamiento, Evolución y Aplicaciones*. Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe: <http://www.cepal.org/celade/noticias/paginas/8/35368/pdfs/13selper.pdf>
- Gómez, J. (1 de Diciembre de 2008). *INTRODUCCIÓN A LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL: EL MÉTODO GENERAL DE LA FOTOGRAMETRÍA DIGITAL*. Obtenido de Universidad de Salamanca: <http://ocw.usal.es/eduCommons/enseñanzas-tecnicas/procesamiento-avanzado-de-imagenes-digitales/contenidos/Tema4.pdf>
- Gómez, J. (2008). Orientaciones.
- Google Earth. (1 de Abril de 2015). Área de estudio delimitada por 4

- coordenadas.
- Gruber, M., & Wiechert, A. (30 de Enero de 2009). *ULTRACAMXP THE NEW DIGITAL AERIAL CAMERA SYSTEM BY VEXCEL IMAGING MICROSOFT*. Obtenido de American Society for Photogrammetry and Remote Sensing: <http://www.asprs.org/a/publications/proceedings/baltimore09/0025.pdf>
- Gruber, M., & Wiechert, A. (30 de Enero de 2009). Unidad del sensor (izquierda) y el sistema de almacenamiento a bordo (derecha), componentes de la Ultracam XP.
- Holst, G. (1998). CCD ARRAYS.
- Holst, G. (1998). *CCD ARRAYS, CAMERAS, and DISPLAYS*. Obtenido de <http://tesis-nico.googlecode.com/svn/trunk/documentos/bibliografia/CCD%20arrays,%20cameras,%20and%20displays.pdf>
- IGM. (2002). Certificado Calibración RC30.
- IGM. (Abril de 2005). *PRINCIPALES CONCEPTOS, NORMAS Y PROCEDIMIENTOS FOTOGRAFIA AEREA V2.0*. Obtenido de INIGEMM: [http://www.inigemmm.gob.ec/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=80&Itemid=56](http://www.inigemmm.gob.ec/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=80&Itemid=56)
- IGM. (Mayo de 2006). *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA TOPOGRÁFICA A CUALQUIER ESCALA*. Obtenido de GEOPORTAL IGM: [http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb\\_dl=52](http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=52)
- IGM. (Octubre de 2006). *ORTOFOTOS*. Obtenido de IGM: [http://www.igm.gob.ec/work/index.php?option=com\\_content&view=article&id=43&Itemid=86](http://www.igm.gob.ec/work/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=86)
- IGM. (Octubre de 2006). *ORTOFOTOS*. Obtenido de IGM: [http://www.igm.gob.ec/work/index.php?option=com\\_content&view=article&id=43&Itemid=86](http://www.igm.gob.ec/work/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=86)
- IGM. (2008). *Control de la Exactitud Posicional en Cartografía*. Obtenido de [http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb\\_dl=50](http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=50)
- IGM. (2008). *Especificaciones Técnicas para Ortofotos Digitales*. Obtenido de IGM: [http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb\\_dl=43](http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=43)
- IGM. (2010). *ALTURA DE VUELO EN VUELOS FOTOGRAMÉTRICOS*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- IGM. (19 de Septiembre de 2012). Imagen Aérea con GSD de 30 cm.
- IGM. (2013). Archivo APLANIX. Quito.
- IGM. (2014). Estación de Monitoreo Continuo EPEC. Pichincha, Ecuador.
- IGM. (2015). PPA. Quito.
- IGM. (s.f.). Distribución de las 33 estaciones GNSS en el Ecuador. Quito, Pichincha, Ecuador.
- IGN. (2008). *Fotogrametría y Teledetección*. Obtenido de Instituto Geográfico Nacional de España: <http://www.ign.es/ign/resources/acercaDe/aig/A2.pdf>
- IGN. (2011). *Norma Técnica 1:5000*. Obtenido de [http://www.ign.gob.pe/public/images/norma\\_tecd\\_4dffa3247bdd0.pdf](http://www.ign.gob.pe/public/images/norma_tecd_4dffa3247bdd0.pdf)
- INEGI. (Diciembre de 2010). *Ortofotos Digitales*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/ortofoto/descripcion.aspx>

- INEGI. (2012). *Datos de Relieve*. Obtenido de INEGI: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/mdigitalelevacion.aspx>
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. (2007). *Fotogrametría*. Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2011). *Restitución Fotogramétrica Digital*. España.
- Instituto Geográfico Nacional España. (2015). *Curso de teledetección, fotogrametría, Lidar y ocupación*. España.
- Jauregui, L. (17 de septiembre de 2005). *Fotogrametría básica: paralaje*. Obtenido de Universidad de los Andes Venezuela: Web del Profesor: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO5.pdf>
- Jauregui, L. (17 de septiembre de 2005). *Fotogrametría Básica: paralaje*. Obtenido de Universidad de los Andes Venezuela: Web del Profesor: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO5.pdf>
- Lerma, J. L. (2009). *Aerotriangulación*.
- Lerma, J. L. (3 de Febrero de 2009). *AEROTRIANGULACIÓN: CÁLCULO Y COMPENSACIÓN DE UN BLOQUE FOTOGAMÉTRICO*. Obtenido de Página Web personal de JOSÉ LUIS LERMA GARCÍA: [http://jllerma.webs.upv.es/Lerma\\_AT\\_1999\\_UPV\\_p.pdf](http://jllerma.webs.upv.es/Lerma_AT_1999_UPV_p.pdf)
- mappingGIS. (2014). *Ortomosaico*.
- Mejía, D. (31 de Marzo de 2014). *REGME - EPEC*. Obtenido de Geoportal IGM: [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb\\_dl=49](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=49)
- Neumann, K. (12 de Marzo de 2012). *TRENDS FOR DIGITAL AERIAL MAPPING CAMERAS*. Obtenido de International Society for Photogrammetry and Remote Sensing: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1\\_pdf/93.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/93.pdf)
- Noguera, G., Mangiaterra, A., & Huerta, E. (Febrero de 2005). *GPS Posicionamiento satelital*. Obtenido de CARTOGRAFIA.CL: [http://www.cartografia.cl/download/libro\\_gps.pdf](http://www.cartografia.cl/download/libro_gps.pdf)
- Oregon State University. (11 de Noviembre de 2009). *Frame Camera Tour Guide*. Obtenido de Oregon State University: [http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/fall2012/cce201-001/Photogrammetry/LPS\\_LAB2.pdf](http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/fall2012/cce201-001/Photogrammetry/LPS_LAB2.pdf)
- Orellana, R. (21 de Septiembre de 2007). *APUNTES DE FOTOGAMETRÍA*. Obtenido de CARTOGRAFIA.CL: [http://www.cartografia.cl/download/apuntes\\_fotogrametria.pdf](http://www.cartografia.cl/download/apuntes_fotogrametria.pdf)
- Orellana, R. (2007). *Rayos de luz impresionan placas mediante haces perspectivas*.
- Ortiz, G. (30 de mayo de 2010). *Error medio cuadrático*. Obtenido de Diccionario GIS: [http://www.gabrielortiz.com/diccionario/busca\\_dic.asp?qd=q](http://www.gabrielortiz.com/diccionario/busca_dic.asp?qd=q)
- Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez, R., Martín, L., & Bachiller, I. (1 de Febrero de 2008). *FOTOGAMETRÍA*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA\\_11\\_FOTOGAMETRIA\\_Y\\_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria\\_cap\\_libro.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-cartografia-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGAMETRIA_Y_TELEDETECCION/Fotogrametria/fotogrametria_cap_libro.pdf)



- Pazmiño, E., & Bravo, E. (7 de Enero de 2014). *PROTOCOLO DE UTILIZACIÓN DE DATOS DE LA RED DE MONITOREO CONTINUO GPS/GNSS A TRAVÉS DE LA WEB, UN SERVICIO CON FINES DE INVESTIGACIÓN, PROYECTOS DE DESARROLLO, SEGURIDAD NACIONAL Y COMUNIDAD EN GENERAL*. Obtenido de SIRGAS: [http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Pazmino\\_Bravo\\_2013\\_Uso\\_REGME\\_a\\_traves\\_web\\_Ecuador.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Pazmino_Bravo_2013_Uso_REGME_a_traves_web_Ecuador.pdf)
- Pérez, J. (2001). *Apuntes de Fotogrametría II*. Obtenido de CARTESIA: [http://www.cartesia.org/data/apuntes/fotogrametria\\_analitica/ApuntesFotogrametria2.pdf](http://www.cartesia.org/data/apuntes/fotogrametria_analitica/ApuntesFotogrametria2.pdf)
- PIX4D. (1 de Abril de 2015). *Step 1. Before Starting a Project*. Obtenido de PIX4D Support Site: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489-Step-1-Before-Starting-a-Project-4-Getting-GCPs-in-the-Field-or-Through-Other-Sources-optional-but-recommended->
- Ramón, G. (12 de febrero de 2009). *Correlación entre variables: Apuntes de clase del curso Seminario Investigativo VI*. Obtenido de Viref: Biblioteca virtual de Educación Física: [http://viref.udea.edu.co/contenido/menu\\_alterno/apuntes/ac36-correlacion-variables.pdf](http://viref.udea.edu.co/contenido/menu_alterno/apuntes/ac36-correlacion-variables.pdf)
- Richard Crouse & Associates. (2014). Camera Calibration Certificate.
- RUNCO. (2014). *Fotogrametría Digital*. Argentina.
- Santos, L. (Julio de 2006). *Cámaras fotogramétricas aéreas digitales: ventajas e inconvenientes. Influencias en la ejecución de cartografía catastral*. Obtenido de Dirección General del Catastro: [http://www.catastro.meh.es/documentos/publicaciones/ct/ct57/04-catastro\\_57.pdf](http://www.catastro.meh.es/documentos/publicaciones/ct/ct57/04-catastro_57.pdf)
- Shragai, Z., Barnea, S., & Even-Paz, A. (2012). Tie Points.
- SIGTIERRAS. (2015). *Fotografía Aérea y Ortofotos*. Obtenido de SIGTIERRAS: [http://servicios.sigtierras.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=31](http://servicios.sigtierras.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=31)
- SVPROJECTS. (2015). Modelo Digital de Superficie.
- The-Crankshaft Publishing. (2012). GPS Positioning Modes.
- Universidad de Cádiz. (2009). Tipos de Posicionamiento. España.
- Universidad de Sonora. (18 de Septiembre de 2008). *REALIZACION DE UN POSICIONAMIENTO CON GPS*. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3042/Capitulo5.pdf>
- Universidad de Sonora. (2008). Tipos de Posicionamiento. México.
- Universidad Industrial de Santander. (22 de Febrero de 2005). *DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA FOTOGAMETRÍA*. Obtenido de [http://unvirtual.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/2611/mod\\_resource/content/1/libro\\_fotogrametria\\_parte1.pdf](http://unvirtual.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/2611/mod_resource/content/1/libro_fotogrametria_parte1.pdf)
- Universitat Politècnica de Catalunya. (2010). *Fotogrametría y Fotografía Aérea*. Obtenido de Página de la asignatura de Cartografía y Nuevas Tecnologías Cartográficas: [http://www.catalonia.org/cartografia/Clase\\_07/index\\_clase\\_07.html](http://www.catalonia.org/cartografia/Clase_07/index_clase_07.html)
- USGS. (25 de Noviembre de 2013). *Landsat 8 Ground Control Point Search*. Obtenido de USGS: [http://landsat.usgs.gov/ground\\_control\\_points.php](http://landsat.usgs.gov/ground_control_points.php)
- VEXCEL. (2010). Calibration Report Ultracam XP.

- Wide World. (2008). Restitución 3D.
- WILD HEERBRUGG. (1920). Cámara Aérea WILD C2.
- WILD HEERBRUGG. (1925). Primera Cámara Aérea WILD C1.
- WILD HEERBRUGG. (1929). WILD C3.
- WILD HEERBRUGG. (1937). WILD RC3.
- WILD HEERBRUGG. (1956). WILD RC8.
- Wolf, P. (1983). *Elements of photogrammetry, with Air Photo Interpretation and Remote Sensing*. McGraw-Hill.
- WorldDEM. (2014). Gariep Dam, South Africa - DEM.