

REPUBLICA DEL ECUADOR  
INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS  
NACIONALES



TRABAJO DE INVESTIGACION INDIVIDUAL  
  
DIPLOMADO SUPERIOR EN ALTA GERENCIA

**“ VUELOS AÉREOS CINEMÁTICOS PARA LA OBTENCIÓN DE  
FOTOGRAFÍA AÉREA EN LA REGIÓN INSULAR “**

ING. JOSÉ LINCANGO

**III CURSO**

**2007**

**REPÚBLICA DEL ECUADOR**

**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS  
NACIONALES**



**III DIPLOMADO SUPERIOR DE MAESTRÍA EN  
ALTA GERENCIA**

**VUELOS AÉREOS CINEMÁTICOS PARA LA OBTENCIÓN DE  
FOTOGRAFÍA AÉREA EN LA REGIÓN INSULAR**

**ING. JOSÉ LINCANGO**

**III CURSO**

**2006 - 2007**

## AGRADECIMIENTO

*Por el amor y apoyo brindado de todo CORAZÓN, PALABRA Y PENSAMIENTO quiero expresar mi más profundo agradecimiento :*

*A Dios, por otorgarme la sabiduría y salud para lograrlo*

*A mis padres quienes me infundieron la ética y el rigor que guían mi transitar por la vida*

*A mi esposa Fanny Graciela y mis hijos José Daniel y Diana Carolina por su amor, cariño y comprensión*

*A mis compañeros y compañeras por su valioso aporte y colaboración*

*A las Autoridades del Instituto Geográfico Militar por la confianza depositada en mi persona*

*Al Sr. Arq. Bolívar Muñoz por su asesoramiento durante la redacción del trabajo*

*Por lo que ha sido y será....Gracias*

*José Alberto  
Ing. Geógrafo*

PROMOCIÓN 2006-2007



**REPUBLICA DEL ECUADOR**  
**SECRETARIA GENERAL DEL CONSEJO**  
**DE SEGURIDAD NACIONAL**

**INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES**

**III DIPLOMADO SUPERIOR DE MAESTRIA EN**  
**ALTA GERENCIA**

**TEMA DEL PROYECTO**

**VUELOS AÉREOS CINEMÁTICOS PARA LA OBTENCIÓN DE**  
**FOTOGRAFÍA AÉREA EN LA REGIÓN INSULAR**

**AUTOR**  
**ING. JOSÉ LINCANGO**

**ASESOR-DIRECTOR**  
**Arq. Bolívar Muñoz**

**Quito, julio 2007**

**INDICE**  
**TEMA DEL PROYECTO**

**VUELOS AÉREOS CINEMÁTICOS PARA LA OBTENCIÓN DE  
FOTOGRAFÍA AÉREA EN LA REGIÓN INSULAR**

**CAPITULO I**

|  |  |          |
|--|--|----------|
| <b>INDICE.....</b>                     |  | <b>2</b> |
| <b>1 MARCO REFERENCIAL.....</b>        |  | <b>5</b> |
| 1.1 Planteamiento del problema.....    |  | 5        |
| 1.2 Antecedentes.....                  |  | 5        |
| 1.3 Formulación del problema.....      |  | 6        |
| 1.4 Delimitación del problema.....     |  | 7        |
| 1.5 Objetivos.....                     |  | 10       |
| 1.5.1 Objetivos Generales.....         |  | 10       |
| 1.5.2 Objetivos Específicos.....       |  | 11       |
| 1.6 Justificación.....                 |  | 11       |
| 1.7 Descripción de la metodología..... |  | 11       |

**CAPÍTULO II**

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| <b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>  |  | <b>13</b> |
| 2.1 Consideraciones generales.....   |  | 13        |
| 2.1.1 Aspectos físicos que intervienen en la calidad de las<br>fotografías.....      |  | 13        |
| 2.1.2 Aspectos fotográficos que intervienen en la calidad de las<br>fotografías..... |  | 13        |
| <b>2.2 Equipo fotogramétrico.....</b>  |  | <b>14</b> |
| 2.2.1 Avión.....   |  | 14        |
| 2.2.2 Cámara Aérea.....  |  | 15        |
| 2.2.3 Administrador de vuelos fotogramétricos ASCOT.....                             |  | 16        |



|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.4 Estación de referencia. Receptor GPS- BASE.....     | 16        |
| 2.2.5 Tripulación de vuelo.....                           | 17        |
| 2.3 Fotografía aérea .....                                | 17        |
| 2.3.1 Importancia.....                                    | 18        |
| 2.3.2 Características.....                                | 19        |
| <b>2.4 Información marginal.....</b>                      | <b>19</b> |
| <b>2.5 Misión del vuelo fotogramétrico.....</b>           | <b>19</b> |
| <b>2.6 Línea de vuelo.....</b>                            | <b>20</b> |
| <b>2.7 Ejes de vuelo.....</b>                             | <b>20</b> |
| 2.7.1 Eje longitudinal.....                               | 21        |
| 2.7.2 Eje transversal.....                                | 21        |
| 2.7.3 Eje vertical.....                                   | 21        |
| <b>2.8 Traslapos y recubrimientos.....</b>                | <b>22</b> |
| 2.8.1 Longitudinal.....                                   | 22        |
| 2.8.2 Lateral.....  | 22        |
| <b>2.9 Deformaciones geométricas.....</b>                 | <b>22</b> |
| <b>2.10 Sistema de posicionamiento global GPS.....</b>    | <b>24</b> |
| 2.10.1 GPS en fotogrametría aérea.....                    | 24        |
| 2.10.2 Posicionamiento GPS cinemático relativo.....       | 25        |
| 2.10.3 Datos GPS en Aerotriangulación.....                | 26        |
| 2.10.4 Sistemas inerciales.....                           | 28        |
| <b>2.11 Vuelos aéreos cinemáticos.....</b>                | <b>28</b> |
| 2.11.1 Dispositivos del vuelo fotogramétrico con GPS..... | 29        |
| <b>2.12 Puntos de apoyo fotogramétrico.....</b>           | <b>31</b> |
| 2.12.1 Condicionantes para el apoyo fotogramétrico.....   | 31        |
| 2.12.2 Planificación del apoyo fotogramétrico.....        | 34        |
| 2.12.3 Configuración del apoyo fotogramétrico.....        | 35        |
| <b>2.13 Mediciones fotogramétricas.....</b>               | <b>37</b> |
| 2.13.1 Escáner fotogramétrico.....                        | 37        |
| 2.13.2 Aerotriangulación.....                             | 38        |

### CAPITULO III

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>3</b>   | <b>ANÁLISIS.....</b>  | <b>41</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Análisis filosófico.....</b>                                 | <b>41</b> |
| 3.1.1      | Foda.....   | 41        |
| 3.1.2      | Estructura orgánica.....  | 42        |
| 3.1.3      | Tecnología para vuelos GPS cinemático con pos proceso.....      | 43        |
| 3.1.4      | Tecnología GPS. Avances tecnológicos digitales.....             | 44        |
| <b>3.2</b> | <b>Análisis técnico-económico.....</b>                          | <b>45</b> |
| 3.2.1      | Planeación de vuelos y toma de fotografía aérea.....            | 46        |
| 3.2.2      | Planificación de apoyo fotogramétrico :                         |           |
|            | Sin datos GPS y con datos GPS.....                              | 47        |
| 3.2.3      | Cuadro económico.....   | 48        |
| 3.2.4      | Procesamiento de datos GPS (BASE-MÓVIL) y obtención             |           |
|            | De centros de exposición (x, y, z) para la Isla Fernandina..... | 48        |
| <b>3.3</b> | <b>Análisis psicosocial.....</b>                                | <b>48</b> |
| 3.3.1      | Recurso humano.....   | 48        |

### CAPITULO IV

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>CONCLUSIONES.....</b>    | <b>50</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b> | <b>53</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>    | <b>56</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>          | <b>57</b> |
| <b>RESUMEN.....</b>         | <b>68</b> |



## CAPÍTULO I

### MARCO REFERENCIAL

#### 1.1 Planteamiento del problema

Últimamente la fotografía aérea ha experimentado una transformación tecnológica formidable. Mediante el sistema de navegación GPS (vuelos aéreos cinemáticas) los vuelos fotogramétricos resultan mucho más eficientes. El post-proceso de los datos GPS permite determinar con precisión la posición de la cámara en el instante de cada toma, reduciendo de esta manera significativamente el número de puntos de control necesarios para la fase de AEROTRIANGULACIÓN y en consecuencia, su coste.

Contrariamente a lo antes mencionado el Departamento Aéreo del Instituto Geográfico Militar responsable de la toma de fotografía aérea de todo el País a pesar de disponer de esta tecnología no lo ha sabido explotar de manera eficiente. Más bien, vuelos aéreos cinemáticos ha pasado a planos secundarios; por lo que:

“VUELOS AÉREOS CINEMÁTICOS ASISTIDOS POR SISTEMAS GPS.”

Es cada vez más urgente, pues bien si no se eliminarían por completo, dichos puntos, pero de cualquier manera la reducción de los mismos puede ser muy significativa. De 0% al 80% de reducción (dependiendo del área ha ser fotografiada)

#### 1.2 Antecedentes

El Departamento Aéreo del Instituto Geográfico Militar para la esperada reducción de puntos de control terrestre que aspiraba obtener en la fase de aerotriangulación dispone del Sistema Gerencial de Vuelos Fotogramétricos ASCOT en el desarrollo de vuelos aéreos cinemáticos asistidos por GPS desde finales del año 2002. Pero recién a finales del



2004 se complemento la parte práctica y además en el mismo año se compró dos receptores LEICA de doble frecuencia L1/L2 para ser utilizados en las estaciones de referencia base en tierra; y el año 2005 se logró conseguir ya los primeros resultados

Varios han sido los factores que han contribuido para no poder alcanzar los resultados esperados, así:

- Aplicación de tecnología nueva con poca preparación técnica de los operadores
- Falta de lineamientos, normativas y responsabilidades definidas (por desconocimiento) en la captura y preparación de datos receptados. Ej.
  - Recepción de datos GPS-BASE y GPS-MOVIL con diferente intervalo de grabación
  - Archivos de datos GPS-MOVIL incompletos.
- Falta de comunicación y medios de los mismos en el momento de la toma. Ej. tiempo de grabación de datos GPS -BASE menor que GPS-MOVIL.

### **1.3 Formulación del problema**

La tecnología a cambiado, los automatismos y los nuevos productos que el mercado exige, a más de las fotografías aéreas, son la obtención de las coordenadas de los centros de las fotografías (X,Y,Z), pero para ello no es suficiente solo la experiencia y buena voluntad del personal, sino que los mismos tengan bases teóricas sólidas de todo el entorno de la cartografía, especialmente de: Fotografía Aérea - Geodésia- Aerotriangulación.

La que la ausencia de estos conocimientos(entre otros aspectos), hace que actualmente la obtención de fotografía aérea convencional



prevalencia sobre la obtención de datos GPS. A pesar que en los últimos proyectos ya se haya alcanzado resultados bastante buenos.

Por lo que, consecuente con las exigencias que la tecnología actual impone (preparación, conocimientos y resultados de calidad), es conveniente que el grupo técnico de vuelo este en condiciones de realizar:

- Planeación de vuelo
- Recepción de datos GPS- BASE
- Evaluación de datos de vuelo
- Procesamiento de centros de exposición y
- Preparar archivos para plotéo de líneas voladas

Todas estas responsabilidades son perfectamente factibles de realizar dentro de las comisiones, por lo que siempre permitirían determinar en SITU la validez o no de cada vuelo realizado (respecto de datos para procesamiento de centros de exposición).

Por lo que considero que no es lógico que la validez de un vuelo (por datos GPS) sea actualmente determinado después de haber finalizado las comisiones de vuelo y lo más grave, después de haber pasado días y/o hasta semanas de haber concluido las mismas.

#### **1.4 Delimitación del problema**

La obtención de datos GPS generados en los vuelos aéreos cinemáticas está definido por:

a) Tecnología disponible en el Departamento Aéreo del IGM.:

- Aeronave: CESSNA CTITATION II IGM-628
- Cámara : WILD RC-30



- Administrador de vuelos

Estándar Software:

ASCOT-Standard license (version V4-22)

Operating System Win 95, Win 98

Data carrier CD, Dongle, Disks

Hardware for Airborne Segment

ASCOT hardware without GPS receiver (L1)

AFP 30-ARINC 404 mounting base

Integrated airborne GPS -Basic

PCMCIA/Flash Card reader for desktop

- Data Processing Segment

FLYKIN Suite +, # 1 license. Versión 5.2x

- GPS Receiver, Ground

Leica GX1230 Receptor de 24 canales (12 L1 + 12 L2)

- Aerotriangulación: Software: PAT-B

b) Algoritmo método CBA para resolución de ambigüedades:



| <b>Criterio</b>  | <b>Resolución de ambigüedades en el vuelo AROF ( OTF )</b>                      | <b>Ajuste combinado del bloque con datos GPS CBA</b>                         |
|--|---|--|
| Máx. Distancia de la estación base GPS                       | 20 Km   | 500Km  |
| Principal campo de aplicación                                | Mediciones con apoyo cinemático   | Mediciones aéreas  |
| Susceptibilidad a los disturbios inosféricos y troposféricos | Muy sensible debido a requerimientos de posición absoluta                       | No muy sensible debido a requerimientos de posición relativa                 |
| Susceptible a pérdida de señal                               | No pierde señal permitiendo largos períodos de vuelo                            | Pierde la señal en las aproximaciones y giros                                |
| Requerimientos de frecuencia                                 | L1 / L2   | L1   |
| Control de calidad   | Dificultad para determinar  | Fácil determinar en el ajuste en bloque                                      |
| Robustez a método de cálculo                                 | Muy sensible a cualquier inconsistencia pequeña de las mediciones con GPS phase | El programa de cálculo provee robustez al bloque ajustado                    |
| Operación  | Prevé giros suaves  | La pérdida de señal en los giros no afecta los resultados                    |
| Logística  | Considera el seteo y medición de área   | 1 Estación base de referencia cerca de la oficina o aeropuerto es suficiente |
| Precisión  | Menor a 10 cm   | Menor a 10 cm  |

c) Requerimientos de exactitud en la navegación del avión durante la toma de fotografía aérea.

| <b>Escala<br/>fotografía</b> | <b>Requerimientos de<br/>precisión en la<br/>navegación ( m)</b> |
|------------------------------|--|
| 1: 2 500                     | 29   |
| 1:5 000                      | 58   |
| 1:10 000                     | 115  |
| 1: 25 000                    | 288  |
| 1: 50 000                    | 575  |

D.-Limitaciones que presenta el posicionamiento relativo simple con código C/A a  $\pm 1.5m$  en la determinación de las tres componentes de las coordenadas, de modo que solo podría ser utilizado en mapas topográficos en caso de que la precisión sea la suficiente.

Nota: El código C/A tiene la ventaja de que teóricamente no está afectado por los problemas de las ambigüedades, eso pertenece a la fase portadora.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 General**

- Determinar los requisitos y parámetros a ser considerados en la obtención, de datos GPS BASE- MOVIL generados en el vuelo aéreo cinemático, así como manejo y procesamiento de las mismas para la obtención de coordenadas (x, y, z) de los centros de proyección de las fotografías y la posible reducción del número de puntos de control fotogramétrico en la fase de triangulación.



### 1.5.2 Específico

- Determinar los límites y alcances del GPS aerotransportado de una sola frecuencia L1 en aplicaciones fotogramétricas
- Definir competencias y responsabilidades del grupo técnico que formar parte de las misiones de toma de fotografía aérea
- Determinar ventajas y desventajas del sistema administrador de vuelos fotogramétricos Ascot utilizado en el vuelo aéreo cinemático para la toma de fotografía aérea de la región Insular.

### 1.6 Justificación

Considerando que la toma o medición de puntos de control terrestre resulta caro y en ciertas áreas, cuando se va hacer una cartografía a pequeña escala, es imposible o al menos difícil conseguir estos puntos de control terrestre, el manejo de la tecnología GPS en la toma de fotografía aérea es cada vez más urgente y necesaria.

Como se acaba de mencionar, los trabajos de campo para la determinación del número de puntos de control fotogramétrico necesarios para la fase de triangulación son caros y además costosos en tiempo. Hay casos en los que resulta incluso más caro que las mismas misiones de vuelo. La generación de datos GPS en las misiones de vuelo y la obtención de centros de coordenadas (x,y,z) de todas las fotografías permitirían optimizar tiempos y recursos.

### 1.7 Breve descripción de la metodología.

- Análisis de las necesidades y problemática actual
- Investigación del tema en publicaciones, folletos, conferencias.etc
- Análisis de software y Hardware disponibles
- Aplicación de datos obtenidos:
  - Descripción del área a ser fotografiada.



- Selección de puntos en tierra con coordenadas conocidas ( X,Y,Z) que serán utilizados como puntos base
- Planeación de vuelos
- Obtención y procesamiento de datos generados en tierra y aire : GPS-BASE y GPS – AIRE respectivamente
- Evaluación de datos
- Procesamiento de datos y obtención de coordenadas (x,y,z) de los centros de proyección de las fotografías
- Análisis de resultados
- Breve análisis de las ventajas que significa el disponer de coordenadas de los centros de proyección de las fotografías en las fases complementarias de un proyecto fotogramétrico:
  - Planificación del número de puntos de control necesarios para la triangulación (posible reducción)
  - Aerotriangulación utilizando los centros de proyección.
- Conclusiones y
- Recomendaciones

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Consideraciones generales

El familiar proverbio “una imagen es mejor que mil palabras” se aplica dentro de la fotografía aérea, proverbio que particularmente es cierto, por las siguientes consideraciones importantes:

-La cantidad de información contenida en las fotografías aéreas casi sobrepasa la imaginación

-Es el camino más efectivo para descubrir muchos hechos oscuros y ocultos acerca del mundo físico que nos rodea.

-De su estudio pueden hacer descubrimientos y recoger información que sería imposible hallar por cualquier otro medio debido a la inaccesibilidad de tal información.

##### 2.1.1 Aspectos físicos que intervienen en la calidad de las fotografías

En fotografía aérea los rayos recorren distancias considerables (Sol – objeto -cámara) en las regiones inferiores de la atmósfera. Estas zonas están constituidas por elementos finamente divididos en suspensiones, aerosoles, siendo su composición y localización en el espacio aéreo muy variables, según la hora del día y el estado de la atmósfera. Este hecho motiva que los rayos de luz sufran defectos de: difracción, refracción y reflexión difusa, parámetros que influyen en la calidad de las fotografías.

##### 2.1.2 Aspectos fotográficos que intervienen en la calidad de las fotografías

- Emulsión.



- Características físicas de las películas.
- Sensibilidad
- Materiales fotográficos.
- Proceso Fotográfico.
- Calidad de las fotografías.

## 2.2 Equipo fotogramétrico

### 2.2.1 Avión



Características: Las principales características que debe reunir un avión fotogramétrico es:

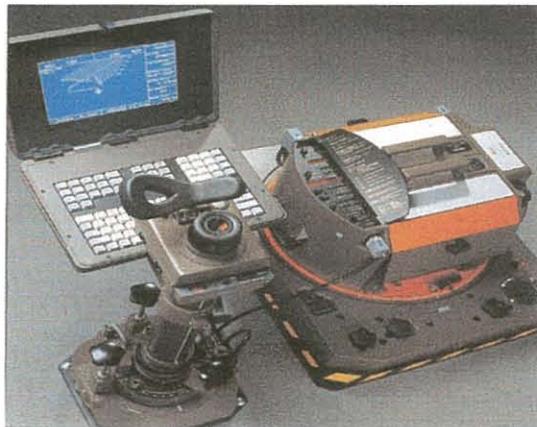
- Gran estabilidad en el aire
- Notable envergadura de alas y buena sincronización de sus motores
- Velocidad de crucero reducida que para pequeñas alturas de vuelo tiene que ser del orden de 200 y 300 km/h (aproximadamente 110 y 160 nudos )
- Salida de gases que no interfieran en el objetivo
- Amortiguación suave del tren de aterrizaje
- Gran autonomía de vuelo



- Instalación de un equipo de comunicaciones apropiada entre piloto y el camarógrafo
- Capacidad de operar en cualquier tipo de pista
- Equipos para navegación aérea así como un equipo construido expresamente para la navegación fotográfica.

### 2.2.2 Cámaras aéreas

Cámaras aéreas son cámaras diseñadas especialmente para tomar fotografías desde aviones, globos, helicópteros o desde vehículos espaciales



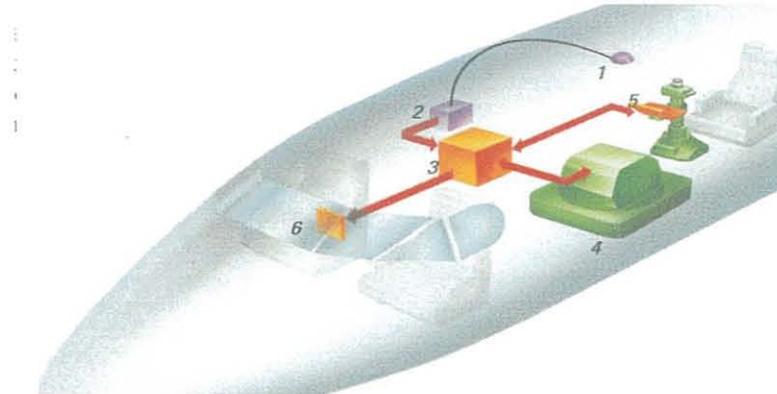
La cámara aérea es el instrumento que recoge la información básica necesaria para todo el proceso posterior de fotogrametría y foto-interpretación.

El objetivo es el elemento más importante de las cámaras aéreas; estando constituidas por grupos de lentes; corregidas del mayor número de aberraciones, deben dar imágenes lo más perfectas posibles.

Los objetivos tienen una distancia focal propia, así que no todos ellos sirven para cualquier máquina.



### 2.2.3 Administrador de vuelos fotogramétricos



Mediante el sistema de navegación GPS. Los vuelos fotogramétricos resultan mucho más eficientes.

- 1--- Antena GPS
- 2--- Receptor GPS
- 3-- Computador ASCOT
- 4-- Cámara
- 5-- Estación de navegación
- 6-- Pantalla del piloto

El post-proceso de datos GPS permite determinar con precisión la posición de la cámara en el instante de toma, reduciendo de esta manera significativamente el número de puntos necesarios de campo y, en consecuencia, su costo.

### 2.2.4 Estación de referencia: GPS-Base





### 2.2.5 Tripulación de vuelo

La tripulación que forma parte de una misión de toma de fotografía aérea está formada por:

- Piloto
- Operador Cámara

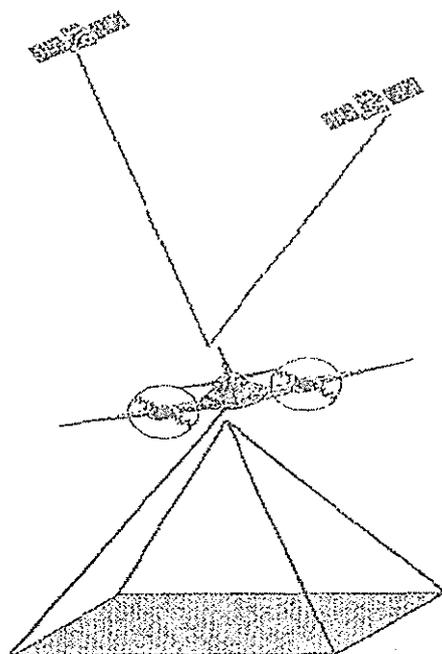


Sin embargo de acuerdo a las normas de la DAC y dependiendo del tipo de aeronave y la complejidad del proyecto se suman a la tripulación:

- Copiloto
- Mecánico
- Planeación / Procesamiento datos , y
- Operador GPS-base

## 2.3 Fotografía aérea

La fotografía aérea tiene el principio de proyección cónica central



### 2.3.1 Importancia:

Para el desarrollo de la infraestructura de un país, y especialmente para la realización de la cartografía básica y temática, son importantes las fotografías aéreas verticales, toda vez que son el paso previo para alcanzar una planificación encaminada a servir a los intereses generales de una nación.

### **FOTOGRAFÍA AÉREA**



CARTOGRAFÍA BÁSICA



CARTOGRAFÍA TEMÁTICA

En el presente trabajo al hablar de fotografías aéreas, en realidad se hará mención a las fotografías aéreas verticales.

### 2.3.2 Características de las fotografías aéreas verticales.

- Mantiene la escala aproximadamente constante
- Permite realizar mediciones horizontales y verticales
- Permite obtener la observación estereoscópica
- Cubre un área relativamente pequeña
- Proporciona una vista poco común del terreno
- Apariencia desacostumbrada de los detalles del terreno por cuanto se ven desde un punto de vista poco común, etc.

### 2.4 Información marginal

Constituye un conjunto de datos que me permiten identificar a la fotografía. Dependiendo del tipo de cámara está constituida de:

- a.- Marco.
- b.- Marcas fiduciales.
- c.- Área de información:

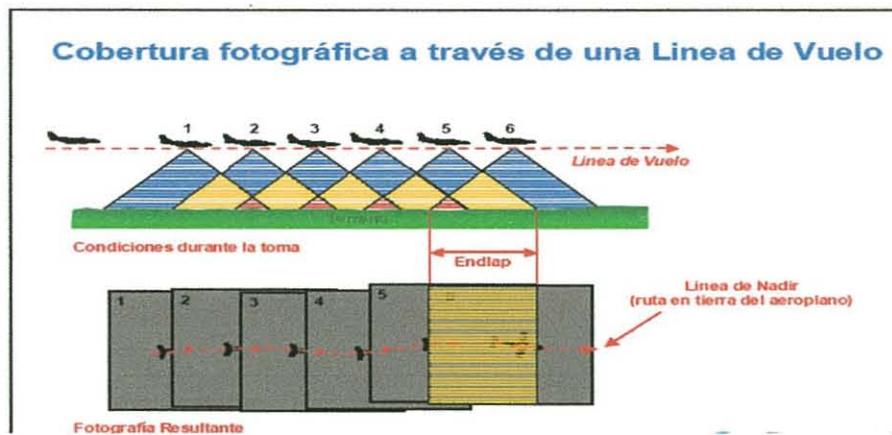
En la actualidad las fotografías que son tomadas con cámaras aéreas modernas (Ej. WILD-RC30, RMK TOP. ETC.) pueden registrar datos como: ASA de la película, abertura del diafragma, velocidad de obturación, etc. Además provisto de un sistema administrador de vuelos fotogramétricos asistidos por GPS, permitiría que en el área de información se imprima las coordenadas del centro de la fotografía.

### 2.5 Misión del vuelo Fotogramétrico

Sobrevolar la zona a altura y velocidad constantes, y libre de movimientos describiendo una serie de trayectorias paralelas entre sí mediante el control de la deriva.



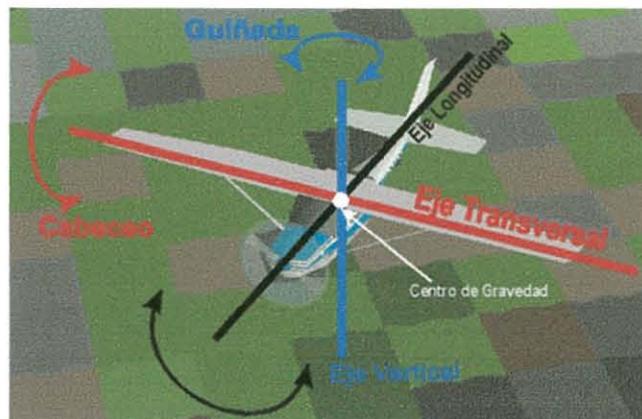
## 2.6 Línea de vuelo



La unión de pares sucesivas de puntos principales define la línea de vuelo

## 2.7 Ejes de vuelo

En todas las aeronaves encontraremos tres ejes que se cortan en el centro de gravedad, sobre los cuales ella rotara, ellos son, eje: longitudinal, eje transversal y eje vertical



### 2.7.1 Eje longitudinal

Sobre este eje la nave rotará por acción de los alerones ubicados en los extremos de las alas. Un ala se elevará mientras la otra descenderá, este movimiento se lo conoce como alabeo.

### 2.7.2 Eje Transversal

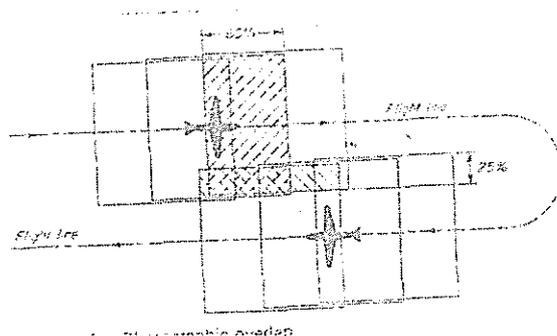
Sobre este eje se produce el cabeceo del avión, por acción del timón de profundidad elevará o bajará el morro o nariz de la nave.

### 2.7.3 Eje vertical

El movimiento sobre este eje es controlado por el timón de dirección y provoca la rotación de la nave a derecha o izquierda sobre el plano horizontal, a este movimiento se lo llama guiñada.

Además, cuando se habla de ejes sobre una fotografía, convencionalmente el eje X se refiere a la dirección de la línea de vuelo, el eje Y a la dirección perpendicular sobre el plano de la foto y el eje Z al eje perpendicular a ambos.

## 2.8 Traslapos o recubrimientos



### 2.8.1 Longitudinal

Superposición de las fotos consecutivas en el sentido de vuelo. Para nuestro caso, valor promedio 60%.

### 2.8.2 Lateral

Superposición de las fotografías entre líneas de vuelo consecutivas. Para nuestro caso, valor promedio 30%

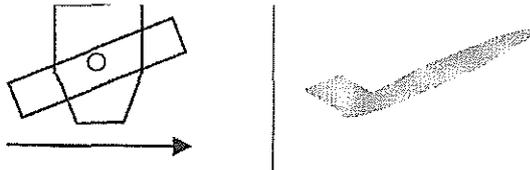
## 2.9 Deformaciones geométricas

Se denominan deformaciones geométricas de las fotografías a un grupo de desplazamientos o imperfecciones que afectan la calidad de la imagen desde el punto de vista cuantitativo, influyendo por consiguiente en las mediciones que sobre las fotos se pretendan hacer.

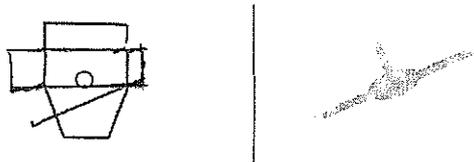
Las deformaciones son:

- Desplazamiento debido al relieve
- Desplazamiento debido a la inclinación de la cámara y avión, así:

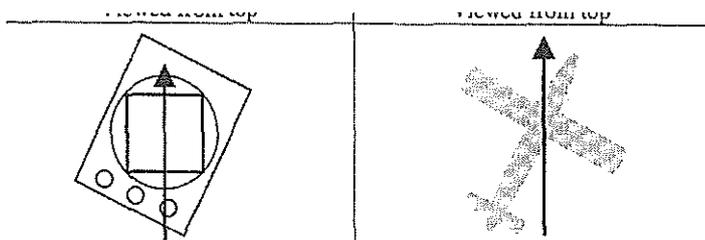
-Balanceo



-Cabeceo



-Deriva/rumbo



- Desviación del eje de toma

## 2.10 Sistema de posicionamiento global NAVSTAR (GPS)

Es un sistema de navegación que permite un posicionamiento en 3 dimensiones, determinadas a partir de las distancias entre los satélites, las estaciones en tierra, y las antenas de los satélites. Teóricamente con la distancia a tres satélites es suficiente pero para poder corregir la hora del reloj del receptor se necesita otro satélite.

Los satélites GPS utilizan 2 frecuencias diferentes, L1 con 19 cm y L2 con 24 cm de longitud de onda. Además, la portadora se modula con dos tipos de códigos, el código P con 29 m de longitud de onda, que ha sido cambiado por el código Y, y el código C/A con 293 m de longitud de onda. Las distancias a los satélites se determinan por medio de las mediciones de fase. La fase se puede determinar con un  $\pm 0.5\%$  de la longitud de onda.

Un posicionamiento relativo simple con código C/A está limitado a  $\pm 1.5\text{m}$  en la determinación de las tres componentes de las coordenadas, de modo que solo podría ser utilizado en mapas topográficos en caso de que la precisión sea la suficiente. El código C/A tiene la ventaja de que teóricamente no está afectado por los problemas de las ambigüedades, eso pertenece a la fase portadora.

### 2.10.1 GPS en fotogrametría aérea

El GPS en la fotogrametría aérea se utiliza para navegación de vuelo y sobre todo para aerotriangulación apoyada o asistida por GPS, que es el tema que se va a tratar. Pero también se mencionará algo sobre los sistemas INS y sobre la orientación directa de fotografías, sin aerotriangulación.

En fotogrametría el GPS ha tenido un efecto importante, pues ya estamos hablando de una altísima precisión en el posicionamiento de la

cámara sobre un objeto volante, siempre sobre la base de una serie de operaciones de onda portadora y por este motivo hay que hacerlo en relación con estaciones terrestres GPS. Actualmente, a través de la medida de fase y trabajando con referencia a estaciones GPS fijas en tierra estamos hablando de precisiones en el posicionamiento absoluto de las cámaras aéreas de diez centímetros.

El GPS ha cambiado la triangulación fotométrica en muchos sentidos. El patrón clásico de control terrestre exigía tener un control horizontal a lo largo del perímetro del bloque a aerotriangular, además de tener cadenas verticales de puntos de apoyo para control vertical. Ahora, el hecho de tener el posicionamiento de la cámara con precisión de diez centímetros, es como tener un control terrestre no solo de la tierra sino en el aire. Estos bloques GPS son excelentes y se pueden controlar muy bien internamente, por eso la precisión del bloque ahora no es controlado por elementos de control terrestre sino por medidas GPS en el avión. El control terrestre solamente hace falta para la transformación definitiva. Realmente ha sido un hito, sobre todo en términos de economía, porque lo cierto es que el control terrestre empezó a resultar mucho más fácil.

#### 2.10.2 Posicionamiento GPS cinemático relativo

Debido a los errores sistemáticos y a otros motivos, lo que nos preocupa es el posicionamiento GPS cinemático relativo, es decir, siempre en relación con una estación en tierra. La idea es que tenemos un receptor GPS que hace mediciones de fase para ondas portadoras en el avión y otro en una estación conocida, que funciona como estación de referencia que está sobre el terreno. En la observación GPS se pueden dar ciertos problemas que aquí no mencionaremos, pues lo que interesa es hablar del uso del GPS para la aerotriangulación. Es cierto que ya estamos hablando de precisiones en torno a diez centímetros, pero el problema existe, o más bien existía, en la ambigüedad de fase. Este tipo de

ambigüedades se producen especialmente durante el giro del avión donde, de una pasada hacia la siguiente la referencia hacia algunos satélites se puede perder, causando la llamada pérdida de ciclos o pérdida de señal, y entonces hay que restaurarla, lo que se hace mediante computación, lo que hace diez años, a principios de los 90 no era posible hacerlo.

Recientemente se han diseñado diferentes métodos para resolver este problema de la pérdida de la ambigüedad. Esto se hace de dos maneras, primero tenemos receptores de doble frecuencia, lo que ayuda por el hecho de trabajarse con dos longitudes de onda, y luego está lo que se conoce como las soluciones OTF (On The Fly). Así, durante el vuelo y sobre la marcha, se puede restaurar la ambigüedad y de esa manera ya no hacen falta las pasadas transversales. Tenemos ya una trayectoria continua de vuelo, lo que simplifica mucho las cosas, evidentemente. Ya no hacen falta las pasadas transversales, ni los parámetros de deriva y, aunque sigue existiendo el problema de la transformación general de los datos, esto es fácilmente solucionable con unos pocos puntos terrestres de referencia. Si tenemos una solución de ambigüedad OTF, es decir una línea continua, solo son necesarios cuatro puntos de control terrestre, situados en las esquinas del bloque.

### 2.10.3 Datos GPS en Aerotriangulación

Siguiendo el sistema antiguo de ajuste de bloques, el control terrestre era responsable de la precisión del ajuste del bloque, en función de las distancias verticales y horizontales de los puntos de control terrestre. Ahora tenemos una nueva situación, en el que el control terrestre no tiene nada que ver con la precisión del bloque, con su estabilidad, ya que esto es proporcionado por todas estas estaciones de cámara con GPS. Por este sistema el bloque queda muy bien controlado, pues la precisión casi absoluta de las posiciones de las cámaras mediante GPS es como tener

control terrestre en cada posición de la cámara, pero en el aire. Se están obteniendo sus coordenadas absolutas y es esto realmente lo que representa el progreso y simplifica toda la aerotriangulación.

Queda una idea sobre la que hay que insistir; "Con GPS absoluto podemos hacer aerotriangulación sin ningún control terrestre", esto ha sido anunciado hace pocos años, en un eslogan que decía "Aerotriangulación sin control terrestre", ¡que bien, magnífico! Sería magnífico si funcionara, y en teoría funciona, pues si tenemos todas las estaciones de las pasadas en términos absolutos podríamos "colgar" las fotografías en estas pasadas mediante puntos de paso, haciendo una aerotriangulación en la que geoméricamente todo estaría perfectamente estable, pero referido al elipsoide WGS84. Lo que es importante y donde residen todos los errores por utilizar datos GPS tal y como vienen, sin ningún tipo de control, es el hecho de que el sistema de referencia al que está referido el sistema GPS es el elipsoide WGS84, el cual puede diferir mucho del sistema de referencia local que cada uno utilice.

Pero; ¡cuidado con la aerotriangulación sin control terrestre!, es un riesgo excesivo y el entregar un resultado equivocado es algo que no nos podemos permitir.

En términos prácticos, si podemos disponer de datos GPS continuos, no es necesario el empleo de bandas transversales, pero si no estamos seguros de cómo va a funcionar el trabajo o no tenemos experiencia con nuestro propio equipo, es mucho mejor tener cuidado y la recomendación, por aquel entonces por lo menos, es volar en todos los casos pasadas transversales. Quizás no las necesitemos después pero, por si acaso y para salvar el proyecto, es recomendable hacerlas, pues estos problemas pueden presentarse incluso hoy, aunque por supuesto se ha progresado muchísimo en el uso de GPS y del OTF.

#### 2.10.4 Sistemas Inerciales

Recientemente han surgido los sistemas inerciales, los datos INS, que proporcionan datos sobre los giros Phi, Omega y Kappa. Es decir, el GPS nos da la posición de la cámara X, Y, Z y los sistemas inerciales nos dan la inclinación, la actitud. Por lo tanto, si esto fuera lo suficientemente preciso no necesitaríamos aerotriangulación porque tendríamos todos los parámetros de la cámara medidos directamente.

Pero hay que tener mucho cuidado y ser muy precavido con la calibración del hardware, pues si la cámara y la dirección INS no van en paralelo va a haber una mala alineación y en ese caso se producirán errores sistemáticos y otros errores más importantes. Estamos hablando de una décima parte de grado de error en la altitud. Esto hay que calibrarlo como sea y de esa manera empezamos ya a obtener resultados razonables. La calibración de los equipos es muy importante, muy sensible y no se puede utilizar un sistema INS pensando que simplemente con conectarlo nos va a dar buenos resultados.

Lo cierto es que estamos muy cerca de llegar al momento en que podamos dejar de utilizar la aerotriangulación definitivamente, aunque por el momento, es demasiado pronto para decir que ya nos podemos olvidar de la aerotriangulación. Habrá que ver según cada aplicación si se puede hacer con aereotriangulación o sin ella.

### 2.11 Vuelos aéreos cinemáticos

Las diferentes fases de que se compone un flujo de trabajo en fotogrametría digital está determinado por:

- Vuelo fotogramétrico con GPS
- Apoyo aéreo cinemático
- Digitalización de negativos/diapositivas
- Aerotriangulación digital

- Modelo digital del terreno automático
- Ortofoto digital

Vamos a analizar solo lo concerniente al vuelo fotogramétrico con GPS y su incidencia e impacto en el resto del flujo de trabajo; especialmente en el requerimiento de puntos de control en la fase de Aerotriangulación.

### 2.11.1 Dispositivos del vuelo fotogramétrico con GPS

La conexión de la cámara a GPS y la utilización de un sistema de navegación tienen varias ventajas como son:

- Planeación del vuelo: en la oficina y sobre cartografía existente se determinan las coordenadas teóricas de los centros de proyección (X; Y) y la altura sobre el nivel medio del mar, así como el horario útil de vuelo en función de la latitud y de la época del año. Todo ello mediante el uso de software adecuado.

Este fichero de coordenadas será utilizado en vuelo con ayuda de un GPS de navegación y conexión con la cámara para efectuar los disparos en esas posiciones, con una precisión de aproximadamente 50 m, ó de 2 m. Si se reciben correcciones en tiempo real vía radio, por un sistema tipo OMNISTAR.

- Navegación: el sistema guía al piloto a la zona. Le indica la geometría de las pasadas, fotos y pasadas que faltan por realizar y las ya ejecutadas. Y dependiendo de la funcionalidad que esté activada, el disparo se realizará en función de:

Las coordenadas de inicio y fin de la pasada, los recubrimientos longitudinales y transversales seleccionados y la situación del avión sobre



la pasada. O bien el disparo se efectuará en la posición que indican las coordenadas X; Y determinadas en planificación.

- Determinación de las coordenadas de los foto centros: la cámara emite una señal que se registra con el tiempo GPS del momento del disparo. Este tiempo nos servirá para interpolar la posición del centro de proyección en pos proceso a partir de las posiciones del GPS de vuelo antes y después del disparo, ya que este va realizando observaciones cada 0,5 ó 1 seg.

- Generación de documentación de vuelo: Los gráficos de vuelo se realizan automáticamente a partir de las coordenadas de los foto centros y el control de calidad de geometría se puede realizar analíticamente a partir del mismo. La rotulación de los fotogramas se realiza directamente en vuelo, registrándose datos como las coordenadas aproximadas de navegación, hora GPS, fecha, tiempo de exposición, apertura de diafragma, número de fotograma y de pasada, y datos del proyecto que se hayan predeterminado.

- F.M.C. (Forward Movement Compensation), compensación por desplazamiento de la imagen en el momento de la exposición.

En el momento del disparo hay unas décimas de segundo en el que el obturador está abierto y que el avión lógicamente está en movimiento. Esto produce un desplazamiento de la imagen del terreno en la fotografía de su posición teórica.

Habitualmente este efecto se reduce combinando tiempo de exposición y velocidad del avión, para limitarlo dentro de unos valores admisibles.

Mediante este sistema la película durante la exposición se desplaza en dirección contraria al sentido de vuelo, corrigiendo el efecto anterior. Es

muy interesante para escalas grandes de fotografía (1/8.000,1/5.000,1/3.500).

- A.M.C. (Angular Motion Control), compensación de movimientos angulares por estabilizadores de giros.

- Resolución: Average Weighted Area Resolution (AWA.R.) 100 l.p./mm. Con objetivos que incorporan nuevos sistemas ópticos de mayor calidad se consiguen resolución superiores a 100 líneas par por milímetro, frente a las cámaras convencionales que no superan los 60 l.p./mm.

Utilizando este tipo de cámaras para unas especificaciones de precisión y de fotointerpretación, con FMC-AMC y el aumento de resolución de las lentes, se puede volar a mayor altura para una misma escala de cartografía, lo que reduce el número de fotos requeridas por unidad de área. La otra alternativa es considerar que de la misma escala de vuelo se pueden obtener ampliaciones de escala de ortofoto superiores a las habituales.

## **2.12 Puntos de apoyo fotogramétrico**

### **2.12.1 Condicionantes para el apoyo fotogramétrico**

La determinación de las coordenadas de los centros de proyección en vuelo produce una reducción de las necesidades de puntos de apoyo terrestre para la realización de la aerotriangulación. Se reduce por tanto la dependencia de la fotogrametría de la topografía.

Pero además permite una automatización de los procesos posteriores, debido a que en aerotriangulación digital la única fase manual es la medición manual de los puntos de apoyo sobre los modelos o fotogramas individuales.

Para la realización de apoyo aéreo cinemático necesitamos los siguientes condicionantes:

-CÁMARA FOTOGRAMÉTRICA: conexión con GPS que envía un impulso al receptor, y almacena la hora de exposición

- RECEPTOR GPS (avión):

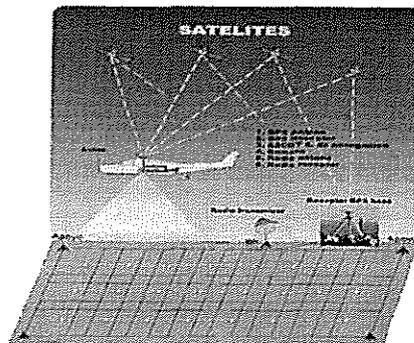
Navegación - posicionamiento

Frecuencia LI y observación portadora de fase

Conexión con cámara

Recepción de datos entre 0,5 a 1 seg.

Excentricidad de antena GPS con cámara (sistema placa) conocida.



- RECEPTOR GPS REFERENCIA:

- Estación de referencia estática de coordenadas (x,y,z) conocidas compatible con receptor de vuelo
- Recepción de datos entre 0,5 a 1 seg.
- Situado a 500 Km de zona de vuelo

- VUELO: Pasadas adicionales transversales en perímetro

- PUNTOS DE CONTROL (en terreno);

- 1 Punto (grupos puntos) en cada esquina del bloque o bien
- Cadenas de puntos en los extremos del bloque

## Situados en las zonas de recubrimientos

- MEDICIÓN: Similar a AT convencional

Se realizará un vuelo fotogramétrico con un receptor GPS instalado en el avión, y otro estacionado en una base de referencia en tierra. La distancia máxima entre el receptor instalado en el avión y la base de referencia será inferior a 500 Km.

El receptor GPS y la cámara funcionan independientemente, de manera que las observaciones de los receptores GPS se hacen a intervalos de tiempo constantes, y las exposiciones de la cámara se realizan en tiempos diferentes. Como resultado de la interpolación de datos GPS en post-proceso, se obtiene una posición para cada momento de la observación, es decir la trayectoria del avión.

Para poder interpolar las posiciones de exposición de la cámara de las posiciones GPS, los momentos de exposición de la cámara y los momentos de observaciones de GPS se deberán tomar en una escala de tiempo similar. Con este fin, las cámaras modernas (ZEISS LMK-2000, ZEISS RMK-TOP, LEICA RC 30) producen un impulso eléctrico justo en el momento de la exposición de la cámara.

Los receptores GPS de diversos fabricantes (Sercel, Asteen, Trimble) pueden procesar este impulso. Cuando llega al receptor, libera el registro/grabación del tiempo de recepción. De esta manera los tiempos de exposición de la cámara y los de observación de GPS se producen en una misma escala de tiempo, por lo que las posiciones pueden ser interpoladas para los momentos de exposición de la cámara. El receptor GPS deberá tener un alto nivel de datos ( $\leq 1$  Hz) para la posterior interpolación de las funciones de los disparos, registrando cada época para intervalos inferiores a 1 sg.



La antena de recepción debe estar centrada sobre el centro de simetría de la cámara fotogramétrica con unos pequeños desplazamientos (offset) determinados previamente, y que se tienen en cuenta en función de la dirección de la pasada en el proceso de cálculo.

En la etapa de planificación se determina la cantidad y ubicación de los puntos de campo. Es muy importante pues tiene gran significación en la calidad final del trabajo. Se miden los puntos de apoyo aerofotogramétricos (P.A.F.) determinándolos mediante equipos GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Para ello se tiene en cuenta la cantidad de satélites tomados por el receptor que debe ser mayor a 4, con un PDOP < 5, tener un horizonte despejado por encima de los 15 grados y fundamentalmente deben ser identificables en el fotograma.

#### 2.12.2 Planificación del apoyo fotogramétrico

Los trabajos deben organizarse por bloques de aerotriangulación, seleccionando las fotografías necesarias para cubrirlos estereoscópicamente y planificando el apoyo fotogramétrico necesario para la aerotriangulación, en función del tipo de vuelo.

El número de puntos de apoyo (P.A) necesarios para apoyar cada bloque fotogramétrico dependerá de su geometría (recubrimientos longitudinales, transversales, interrupciones de vuelo, pasadas transversales), de la precisión de los datos GPS del vuelo y de la precisión geométrica del producto final.

Las planificaciones típicas actuales de vuelos fotogramétricos se realizan con GPS diferencial sin pasadas transversales, con recubrimiento 60%; 30 (o 20%). En estos casos se debe dar al menos un punto doble de control en cada esquina del bloque, y una cadena de puntos de control en



cada extremo del bloque, perpendiculares a la línea de vuelo, y enlazando pasadas. En los casos en los que existan interrupciones en las líneas de vuelo en el interior del bloque, se suelen dar dos puntos adicionales de control en el estereomodelo de enlace, uno en la parte superior y otro en la inferior del mismo, de manera que se enlacen los dos tramos de la pasada interrumpida entre sí y con las pasadas colindantes.

Para los vuelos en los que la precisión de los centros de proyección no sea suficiente, ó no se disponga de datos GPS, se dará al menos un punto de control (X, Y, Z) cada cuatro modelos, distribuidos en el perímetro del bloque y enlazando pasadas.

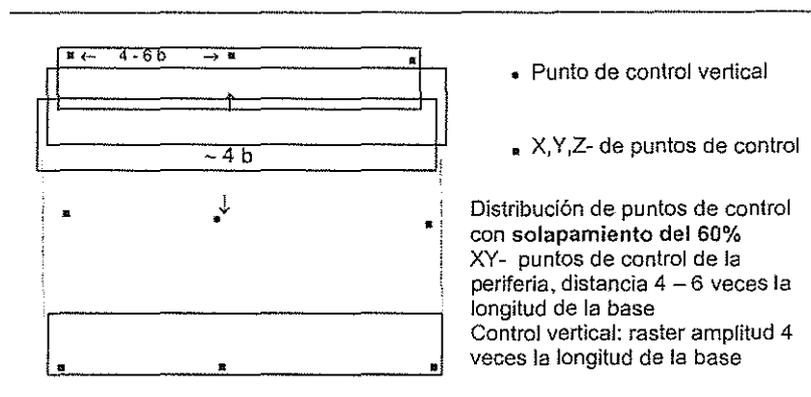
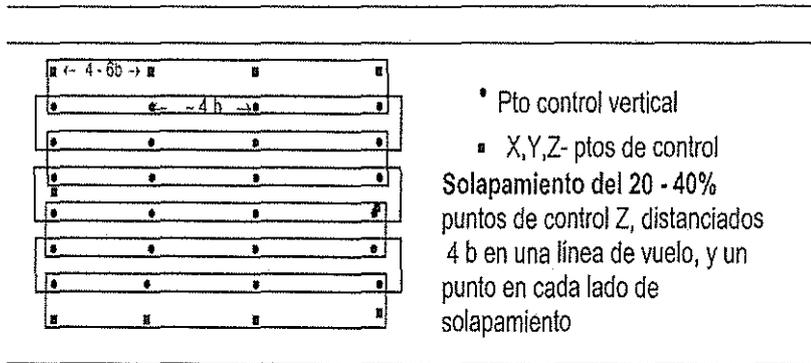
### 2.12.3 Configuraciones del apoyo fotogramétrico según el tipo de vuelo

A continuación se muestran las diferentes configuraciones de vuelo típicas con el número de puntos de apoyo (PA) recomendados para la aerotriangulación de fotos aéreas

a) Orientación de un solo Modelo: Cuatro PA (permite comprobar los residuos)

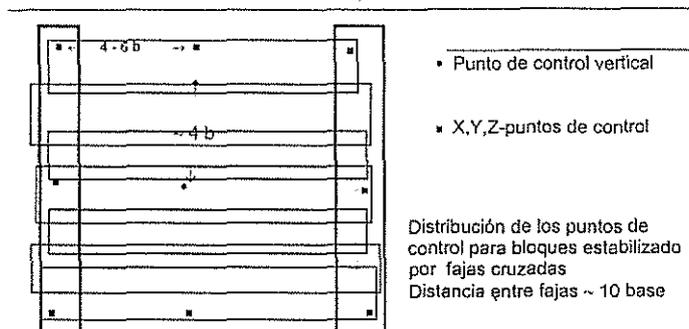
b) Ajuste de bloques para triangulación aérea, sin DGPS

Un PA 2D (X, Y) cada cinco longitudes de base (mínimo) en el perímetro del bloque y un PA (Z) vertical cada cuatro longitudes de base, entre pasadas y en el perímetro del bloque o un PA 3D (X, Y, Z) cada cuatro longitudes de base entre pasadas y en el perímetro.



c) Vuelo controlado por DGPS con pasadas transversales

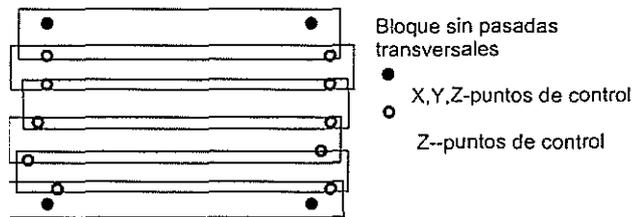
Un PA 3D (X, Y, Z) en cada esquina del bloque (pero se aconseja elegir puntos dobles). Las pasadas de enlace deben cubrir el perímetro, con suficiente margen en bloques irregulares.





d) Vuelo controlado por DGPS (sin pasadas transversales)

Un PA 3D (X, Y, Z) en cada esquina del bloque y dos tiras de puntos de control altimétrico en los extremos del bloque, perpendiculares a la dirección del vuelo, situando los puntos entre pasadas.



**2.13 Mediciones fotogramétricas**

La precisión estimada en fotogrametría digital se puede cifrar en 1/3 de píxel y la medición automática en 1/10 de píxel

2.13.1 Escáner Fotogramétrico

Antes la calidad de la imagen solo dependía de la cámara aérea y la película, pero ahora también del escáner y por tanto este debe de preservar las características de la fotografía original. Para ello debe de cumplir las siguientes condiciones:

- Resolución: la resolución depende del proceso fotogramétrico a realizar, de la ampliación de la foto original, y del detalle mínimo a detectar.

Según el profesor Kolb la resolución máxima de un escáner fotogramétrico debe ser al menos 5 ó 10 micras.

Si tratamos de capturar el tamaño del grano de la fotografía original habría que descender a la granularidad de la emulsión, lo que implicaría



un tamaño de pixel inferior a 1 micrón con lo que se alcanza el nivel de ruido fotográfico.

- Radiometría: el rango dinámico debe comprender los rangos de densidades de las fotografías originales, por lo tanto en blanco-negro 2D y para color 3,5D.

### 2.13.2 Aerotriangulación

Una definición de aerotriangulación puede ser la técnica fotogramétrica que a partir de un mínimo número de puntos de apoyo o control y mediante mediciones en los fotogramas, determinara las coordenadas de los puntos de enlace y los parámetros de orientación exterior que permitirá realizar la fase de orientación exterior de cada uno de los fotogramas individuales.

La orientación interior se realizará mediante transformación afín, utilizando las ocho marcas fiduciales siempre que sea posible, ó bien las cuatro de las esquinas. El RMS será inferior a 20 mm ó 15 mm, respectivamente, mientras que el residuo máximo en las fiduciales será, en ambos casos, inferior a 30 mm.

La medición de las marcas fiduciales se podrá realizar mediante métodos manuales o automáticos (técnicas de correlación), determinando las coordenadas fila, columna de todas las marcas fiduciales con una precisión de al menos 1/10 de pixel.

Para la formación del bloque fotogramétrico, se obtendrán un mínimo de seis puntos de enlace por modelo estereoscópico en caso de medirlos manualmente, y doce en caso de realizarse de forma automática, situados en las zonas von Gruber. En las zonas Von Gruber común a modelos consecutivos, existirá al menos un punto de enlace entre los modelos, y



en las zonas Von Gruber común a pasadas colindantes deberá existir al menos un punto de enlace entre las pasadas. Siempre que sea posible, los puntos utilizados como enlace entre pasadas se utilizarán como puntos de enlace entre modelos. En el caso en el que las pasadas estén desfasadas, se utilizarán los puntos de enlace entre modelos, tanto de una pasada como de la otra, como puntos de conexión.

La medición de los puntos de apoyo se realizará manualmente, preferiblemente mediante observación estereoscópica, obteniendo sus coordenadas fotográficas en todas las fotografías en las que aparezca cada punto. Para la identificación de la posición exacta del punto, se tendrán en cuenta los datos obtenidos en el apoyo fotogramétrico (croquis, reseñas, foto del punto), teniendo especial cuidado en la referencia altimétrica de la observación GPS.

Para la orientación simultánea del bloque se emplearán en el cálculo de la aerotriangulación, los puntos de control establecidos en el apoyo fotogramétrico, los puntos de enlace obtenidos en la formación del bloque y las posiciones de los focos proporcionadas por el GPS diferencial aerotransportado.

Los resultados del ajuste del bloque deben conducir a un RMSE inferior a 0.4 m en las tres componentes X, Y, Z. Las precisiones internas del bloque estarán por debajo de 1/3 de pixel.

En el interior del bloque, para garantizar la precisión final del producto, se seleccionarán puntos de chequeo procedentes de otras fuentes de datos con suficiente precisión. Los resultados de esta comprobación no deben conducir a un RMSE superior a 0.75 m en las 3 componentes.

Una vez obtenidos los parámetros de orientación interna y externa para cada imagen digital estas podrán ser visualizadas en cualquier estación digital en estereoscopia directamente o podrá ser utilizada para cualquier procedimiento fotogramétrico.



## CAPITULO III

### ANÁLISIS

#### 3.1 Análisis Filosófico

##### 3.1.1 FODA

###### Fortalezas

- Equipo Fotogramétrico propio( Avión – Cámara- Sistema ASCOT)
- Disponer de información fotográfica de todo el país
- Trabajar amparados bajo la Ley de la Cartografía Nacional

###### Oportunidades

- Conocer y manejar nuevas tecnologías
- Aprovechar el potencial técnico y las nuevas tecnologías en la aplicación de nuevos productos.

###### Debilidades

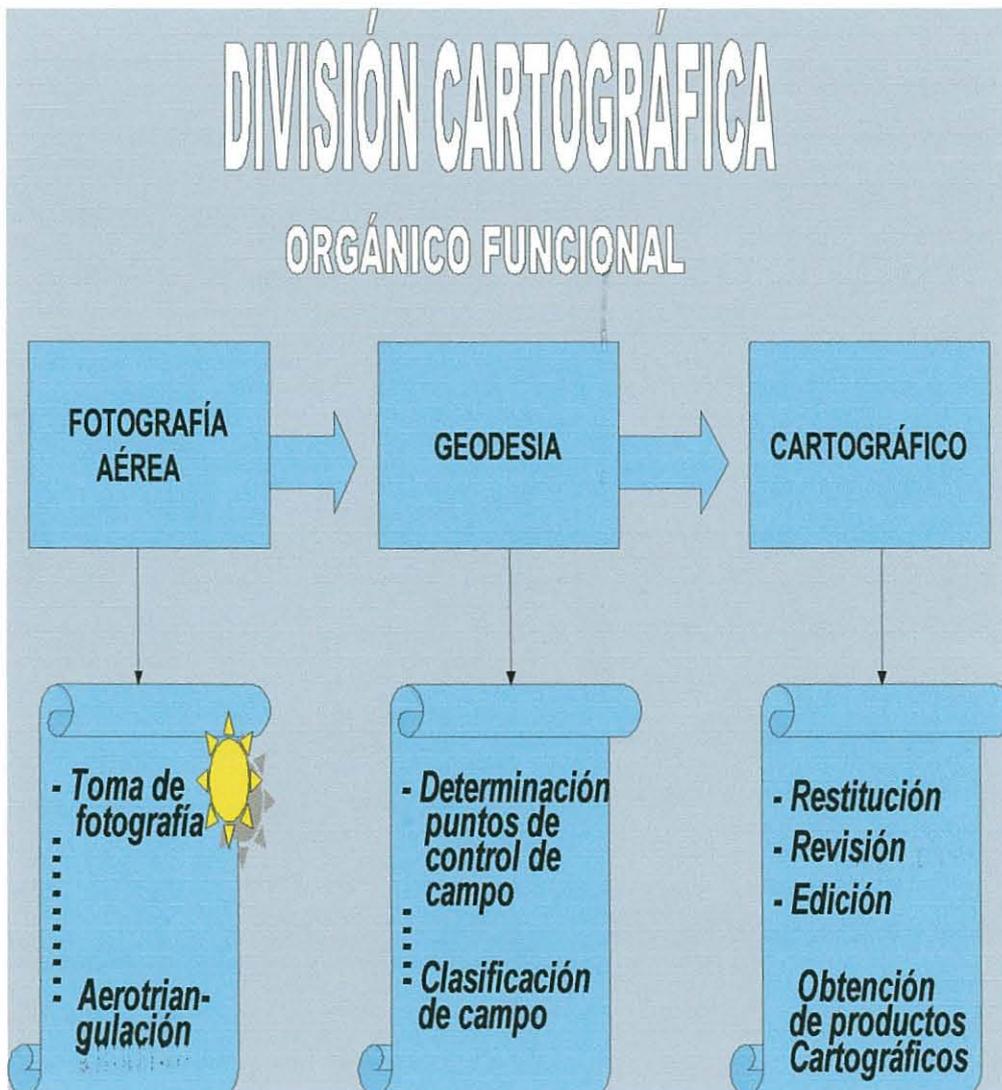
- Falta de capacitación técnica específica en el manejo de nuevos software
- Investigación y desarrollo incipiente.

###### Amenazas

- Incurción agresiva de la tecnología digital



### 3.1.2 Estructura Orgánica



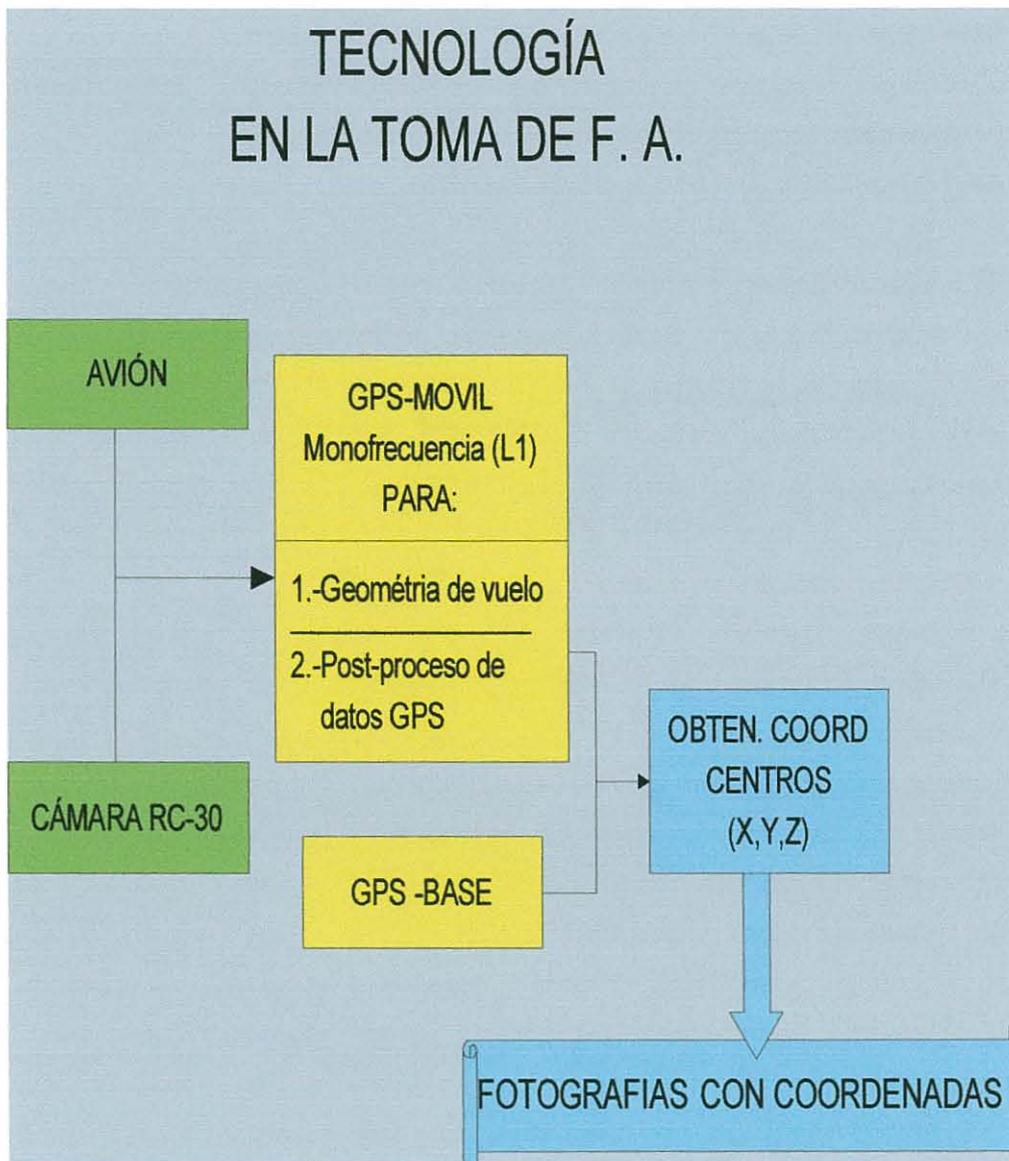


### 3.1.3 Tecnología para vuelo GPS cinemático con post proceso

Sistema Administrador de vuelos fotogramétricos ASCOT:

GPS Receptor. Avión

(C/A- Código+ fase)



### 3.1.4 Tecnología para vuelos GPS

Con el fin de obtener mayor rendimiento y productividad, en el mercado ya existen sistemas digitales que integran soluciones fotogramétricas más simples y sencillas, las mismas que comienzan con el reemplazo de cámaras convencionales (Ej. RC-30) por cámaras digitales y con ello todos los equipos y personal que participa en el proceso de obtener fotografía aérea y en las siguientes actividades/fases que complementan el proyecto fotogramétrico, como:

- Laboratorio fotográfico
- Escáner fotogramétrico
- Aerotriangulación y
- Geodesia entre otros

Desaparecerían de la línea productiva, y con ello también se reduciría al personal técnico.

## VUELOS AÉREOS CINEMÁTICOS

**VUELOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS**

**SIN PUNTOS DE CONTROL ?** 

**SIN AEROTRIANGULACIÓN ?** 

**BAJO COSTO Y CORTO TIEMPO ?**

**PRECISIÓN ?**



### 3.2 Análisis Técnico-económico

La materia prima para la elaboración de la Cartografía Nacional constituye la fotografía aérea. Pero fotografía con requisitos y parámetros que permitan su explotación métrica, parámetros a alcanzar que demandan demasiado tiempo y recursos (especialmente determinación de puntos de control terrestre).

En los últimos años la toma de fotografía aérea con la utilización de administradores de vuelos fotogramétricos asistidos por computadora y sistemas de navegación GPS han contribuido a reducir dichos tiempos y recursos.

Reducción que están en función de varios parámetros, entre ellos:

- Escala de fotografía
- Topografía del terreno
- Forma del área

Considerando todo lo antes mencionado se desarrollo el proyecto "Vuelos aéreos cinemáticos para la obtención de fotografía aérea en la Región Insular"; el mismo que es analizado desde la óptica técnica y económica antes, durante y después del vuelo, así:

### 3.2.1 Planeación de vuelos

## PROVINCIA DE GALÁPAGOS

### A.- PLANIFICACIÓN Y TOMA

|                     |          |                   |                           |
|---------------------|----------|-------------------|---------------------------|
| ESCALA FOTOGRAFÍA = | 1:30 000 | Comisión:         | 11-30 / MARZO / 2007      |
| TIPO DE PELÍCULA:   | COLOR    | Base:             | Galápagos - San Cristóbal |
| RECUBRIMIENTO LONG: | 70%      | Horas utilizadas: | 50 horas                  |
| RECUBRIMIENTO LATE: | 35%      |                   |                           |

|               | ISLA           |           |             |             |
|---------------|----------------|-----------|-------------|-------------|
|               |                | No LÍNEAS | FOTOS       | * DATOS GPS |
| 1             | CHARLES DARWIN | 1         | 7           | SIN DATOS   |
| 2             | TEODORO WOLF   | 1         | 9           | SIN DATOS   |
| 3             | FERNANDINA     | 8         | 123         | S/N         |
| 4             | ISABELA        | 35        | 820         | S/N         |
| 5             | PINTA          | 4         | 31          | S/N         |
| 6             | MARCHENA       | 5         | 45          | S/N         |
| 7             | SANTIAGO       | 9         | 130         | S/N         |
| 8             | BALTRA         | 3         | 23          | S/N         |
| 9             | PINZÓN         | 1         | 6           | S/N         |
| 10            | SANTA CRUZ     | 12        | 210         | S/N         |
| 11            | SANTA MARÍA    | 8         | 60          | S/N         |
| 12            | GENOVESA       | 1         | 6           | S/N         |
| 13            | SANTA FÉ       | 1         | 7           | S/N         |
| 14            | SAN CRISTÓBAL  | 7         | 115         | S/N         |
| 15            | ESPAÑOLA       | 3         | 26          | S/N         |
| <b>TOTAL:</b> |                | <b>99</b> | <b>1618</b> |             |

San Cristobal, 30 de marzo del 2007

3.2.2 PLANIFICACIÓN DE APOYO FOTOGAMÉTRICO SIN DATOS GPS Y CON DATOS GPS

**B.-DISEÑO DE PUNTOS DE CONTROL:**

(VER ANEXOS 1 Y 2)

|    | ISLA           | PUNTOS DE CONTROL |             |                   | % DE           | *DISTANCIA |
|----|----------------|-------------------|-------------|-------------------|----------------|------------|
|    |                | NORMAL            | CON CENTROS | POSIBLE REDUCCIÓN | AHORRO PARCIAL | (Km)       |
| 1  | CHARLES DARWIN | 4                 | 2           | 2                 | 50%            | 385.42     |
| 2  | TEODORO WOLF   | 4                 | 2           | 2                 | 50%            | 351.01     |
| 3  | FERNANDINA     | 24                | 14          | 10                | 42%            | 219.82     |
| 4  | ISABELA        | 134               | 71          | 63                | 47%            | 204.60     |
| 5  | PINTA          | 6                 | 6           | 0                 | 0%             | 206.38     |
| 6  | MARCHENA       | 12                | 8           | 4                 | 33%            | 166.76     |
| 7  | SANTIAGO       | 26                | 16          | 10                | 38%            | 137.16     |
| 8  | BALTRA         | 6                 | 4           | 2                 | 33%            | 92.16      |
| 9  | PINZÓN         | 4                 | 2           | 2                 | 50%            | 121.66     |
| 10 | SANTA CRUZ     | 36                | 21          | 15                | 42%            | 86.90      |
| 11 | SANTA MARÍA    | 18                | 14          | 4                 | 22%            | 100.79     |
| 12 | GENOVESA       | 4                 | 2           | 2                 | 50%            | 148.8      |
| 13 | SANTA FÉ       | 4                 | 2           | 2                 | 50%            | 51.65      |
| 14 | SAN CRISTÓBAL  | 21                | 16          | 5                 | 24%            | 24.56      |
| 15 | ESPAÑOLA       | 9                 | 6           | 3                 | 33%            | 52.26      |
|    |                | 312               | 186         | 126               | 40%            |            |

NOTA: \* Todas las distancia han sido consideradas desde el punto de referencia (INOCAR 42013RC)  
Ubicada en la Isla San Cristóbal hasta los centros de gravedad del resto de Islas



3.2.3 Cuadro económico

**C.- ASPECTO ECONÓMICO**

COSTO REFERENCIAL

APRÓX. C/ PTO. DE CONTROL DE CAMPO = 4600 USA.

|                    | <b>NORMAL</b>  | <b>CON CENTROS</b> | <b>AHORRO</b> |
|--------------------|----------------|--------------------|---------------|
| <b>No PTOS</b>     | <b>312</b>     | <b>186</b>         | <b>126</b>    |
| <b>COSTO (USA)</b> | <b>1435200</b> | <b>855600</b>      | <b>579600</b> |

**TOMA DE FOTOGRAFÍA AÉREA**

|   |               |     |
|---|---------------|-----|
| <b>MISIÓN DE VUELO</b>                  | <b>100000</b> | USA |
| <b>MATERIAL FOTOGRÁFICO (1er JUEGO)</b> | <b>30000</b>  | USA |
| <b>OTROS</b>                            | <b>20000</b>  | USA |

3.2.4 Procesamiento de datos GPS (BASE-MOVIL) y obtención de centros de exposición (x, y, z) para la isla Fernandina. (Ver anexos 3 y 4)

**3.3 Análisis Psicosocial**

3.3.1 Recursos humanos

Las fotografías aéreas se constituyen en fuente esencial de la información geográfica, tanto para la realización de la Cartografía Básica como para una gran variedad de trabajos y estudios ligados al desarrollo de las infraestructuras de un país; frente a tales circunstancias el cambio de escala para la toma de fotografía aérea de Carta Nacional vigente, de 1: 60 000 a escala 1: 30 000 implicó automáticamente un cambio en la altura media de vuelo de  $Z_m = 30\ 000$  pies a  $Z_m = 15\ 000$  pies respectivamente utilizando el cono granangular. Altura media de vuelo

(Zm = 15 000 pies) que a más de ofrecer mayor posibilidad para la toma de fotografía aérea permitirá disponer de fotografías para Carta Nacional y proyectos especiales (1: 5 000 y menores) utilizando una misma altura de vuelo y bajo las mismas condiciones de toma.

Pero este cambio de escala de toma de fotografía también involucra la utilización de todos los avances tecnológicos del mercado y los productos que de ellos se obtiene y que el cliente los demanda. Avance tecnológico que tiene su impacto en el Recurso Humano (personal), por cuanto la participación de los mismos (según la teoría) si bien no desaparecería, pero si se reduciría en la fase de establecer puntos de control de campo. Fase/etapa que hoy en día es la más alta en tiempo y recursos dentro del proyecto.

Sin dejar de mencionar que con el agresivo avance tecnológico la eliminación/reducción del personal en el resto de áreas/secciones también es latente.



## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES

- 1.- La utilización de sistemas integrados para la toma de fotografía aérea con datos GPS no ha sido explotada al nivel de las expectativas esperadas, por cuanto, más se ha preocupado de la geometría de vuelo, antes que de los datos generados por los mismos. Sin dejar de mencionar también el miedo, temor y resistencia al cambio de todo el personal técnico involucrado.
- 2.- Falta de lineamientos, normativas y responsabilidades en la recepción, tratamiento y análisis de los datos GPS – BASE y GPS-MOVIL receptados antes, durante y después del vuelo.
- 3.- La aplicación de tecnología nueva y su imparable desarrollo en la obtención de la materia prima (fotografía aérea) y los productos que se esperaba obtener con los datos generados por los mismos, sin mayores conocimientos o muy limitados.

La aplicación de la tecnología envuelta en la desintegración y aislamiento de conocimientos de Fotografía Aérea, Geodesia y Aerotriangulación aún. Cada uno tiene diferentes objetivos y prioridades y pasa a planos secundarios su aporte y contribución y en consecuencia el objetivo se dilata o desaparece y todo queda en buenas intenciones.

El temor del personal técnico a ser reemplazado por la tecnología, también ha contribuido para no alcanzar los resultados esperados, temor que inclusive con el cambio total del equipo de toma de fotografía aérea: de cámaras convencionales a cámaras digitales, implicaría no solo al personal del Departamento Aéreo sino también en el resto de los Departamentos de la División Cartográfica.

- 4.- Queda interrogantes que deberán ser resueltos conforme se vayan obteniendo datos del vuelo cinemático, así:

- ¿La precisión del bloque con datos del vuelo cinemático ahora no es controlado por elementos de control terrestre sino por medidas GPS en el avión?
  - ¿El control terrestre solamente hace falta para la transformación definitiva?
  - ¿Realmente ha sido un hito, sobre todo en términos de economía, porque lo cierto es que el control terrestre empezó a resultar mucho más fácil?
  - ¿A qué distancia podemos alejarnos con nuestra estación GPS y seguir teniendo un resultado continuo?
  - ¿A comparar las distintas trayectorias (calculadas desde las diferentes estaciones de referencia), a cortas distancias concuerdan perfectamente?
  - ¿También, al utilizar diferentes tipos de software para el proceso de los datos GPS, todos resultan igualmente buenos?
- 5.- La utilización del sistema gerencial de vuelo en misiones de vuelos fotogramétricos permitirá (en teoría) una reducción del número de puntos de control terrestre. Pero dicho número estará en función de la topografía del terreno, forma del área y de la escala de fotografía; sin dejar de lado la calidad de datos GPS-BASE y GPS MOVIL obtenidos en la misión del vuelo.
- 6.- Respecto al proyecto Galápagos una primera aproximación (+- 10 % de error) en la determinación del número de puntos de control terrestre, constituye la reducción de 126 puntos que representan el 40 % de un total de 312 de puntos necesarios. Considerando que cada punto tiene un costo aproximado de 4600,00 dólares, significaría entonces un ahorro total por concepto de puntos de control de 579600,00 dólares
- La reducción de puntos de control también está en función del software que se utilice y de la experiencia de los técnicos responsables de la triangulación. Al respecto se menciona que el

personal técnico de Aerotriangulación realizaría por primera vez este tipo de trabajo y por ende por primera vez se probaría las bondades del software de ajuste del bloque de fotografías.

## RECOMENDACIONES

Tomando en consideración las pocas oportunidades que se tiene para realizar los vuelos fotogramétricos (por disponibilidad de tripulación y/o condiciones meteorológicas favorables) y que una vez realizado las misiones de vuelo, los datos generados por los mismos en cantidad y calidad garanticen la NO REPETICIÓN de los vuelos; sino que por el contrario permitan alcanzar resultados favorables y la esperada reducción de puntos de control terrestre, se recomienda:

- 1.- Si bien la geometría de vuelo es muy importante, y su aplicación en los proyectos es altamente satisfactorio, pero es hora de dar el impulso y la atención necesaria a la obtención de fotografía aérea con datos GPS, para el efecto todo el personal técnico debe participar y conocer los alcances técnicos y las ventajas de tener fotografías con datos GPS.

Personal que no debe temer al cambio tecnológico, sino por el contrario, ver en el cambio, nuevas oportunidades; pero para ello la Institución debe establecer políticas claras sobre sus expectativas

- 2.- Con la finalidad de minimizar al máximo posibles errores en la recepción y tratamiento de datos GPS por la falta de lineamientos, normativas y responsabilidades se debe, mantener y mejorar la creación de dos tripulaciones de vuelo con funciones específicas para cada uno de ellos. Cada tripulación formada por:

- Operador cámara
- Operador GPS-BASE
- Planeación y procesamiento datos

Y además, cada uno de ellos deberá dar cumplimiento al procedimiento operativo normal (PONS) desarrollado para el efecto. (Ver Anexo 5).

- 3.- La tecnología complementada con el desarrollo técnico del recurso humano debe ocupar un lugar central, y no periférico en las



políticas de desarrollo Institucional ya que no se puede utilizar un sistema tecnológico (administrador de vuelos aéreos cinemáticas) **pensando que simplemente con conectarlo nos va a dar buenos resultados.** Es responsabilidad personal y/o Institucional la adecuada preparación y actualización del recurso humano a fin de garantizar y exigir resultados de calidad.

Preparación y actualización permanente y constante de la tripulación mediante: Internet, conferencias y/o intercambio de experiencias con tripulaciones semejantes...etc.

- 4.- Las interrogantes planteadas así como la determinación de la reducción del número de puntos de control terrestre necesarios deberán ser resueltas en la sección de Aerotriangulación una vez que hayan utilizando las coordenadas de los centros de las fotografías en el ajuste del bloque de fotografías de todos los proyectos en los cuales ya se dispone de esta información, especialmente del proyecto Galápagos.
- 5.- La reducción del número de puntos de control en el proyecto Galápagos, por la naturaleza propia y particular del Departamento Aéreo y la sección de Aerotriangulación, también está en función de la ausencia de resultados, puesto que hasta la presente ningún proyecto ha sido trabajado con los datos obtenidos del vuelo, por lo que se deberá esperar los resultados e informes técnicos de Aerotriangulación que ratifiquen o rectifiquen el número de puntos de control reducidos en el proyecto.  
Al respecto de Aerotriangulación, se debe preparar también a su personal técnico por cuanto está en la línea productiva y tiene incidencia directa en el aspecto técnico y económico
- 6.- Dadas las características y requisitos del vuelo fotogramétrico y tomando en cuenta que la tecnología que actualmente dispone el Departamento Aéreo (administrador de vuelos fotogramétricos ASCOT), ya ha sido reemplazado por sistemas digitales y



que dichos sistemas si bien en términos generales mantienen los mismos requerimientos técnicos, pero si con más altas exigencias; será pues necesario mayor y mejor preparación del personal técnico dentro de todo el ambiente que significa: Fotografía Aérea – Geodesia - Aerotriangulación. Por lo que se recomienda fortalecer la propuesta la línea de producción vigente y su responsable del proceso productivo para que integre dichos conocimientos y responsabilidades de toma de Fotografía aérea con datos GPS.

- 7.- Finalmente: Manejar toda la tecnología actual disponible para la toma de fotografía aérea significa: aumento de la productividad, ahorro de tiempo y recursos, pero también significa en este mundo cada vez más complejo, mayor preparación, responsabilidad y compromiso entre el personal técnico y la Institución.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACKERMAN, Aerotriangulación automática con GPS y Sistemas Inerciales.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL DE ESPAÑA. Aplicación del GPS en la fotogrametría.
- INSTITUTO CARTOGRÁFICO DE CATALUÑA. Pliego de especificaciones técnicas.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR. Reportes e informes de vuelo.
- JACOBSEN K. Ajuste combinado con datos cinemáticas de GPS y/o datos IMU. Instituto de fotogrametría y Geodesia Universidad de Hannover
- LEICA. Test flight Gran Canaria. Reporte
- PRESCRIPCIONES TÉCNICAS para la realización de un vuelo fotogramétrico digital.





COORDENADAS (X,Y,Z) DE LOS CENTROS DE PROYECCIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS

PROYECTO: GALÁPAGOS ( ISLA FERNANDINA )  
 ESCALA FOTO: 1: 30 000

| IDENTIFICACION | ESTE X ( m ) | NORTE Y ( m ) | ALTURA Z ( m ) | RESIDUALES |        |        | TIEMPO GPS  |
|----------------|--------------|---------------|----------------|------------|--------|--------|-------------|
|                |              |               |                | X          | Y      | Z      |             |
| 027 6252       | 659777.81    | 9944459.05    | 4788.88        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0110 | 60333.6373  |
| 027 6251       | 661769.27    | 9944994.47    | 4789.98        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0110 | 60319.7355  |
| 027 6250       | 663787.25    | 9945290.06    | 4796.70        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0110 | 60305.3702  |
| 027 6249       | 665805.68    | 9945703.87    | 4797.39        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0110 | 60290.9013  |
| 027 6248       | 667799.63    | 9946119.87    | 4798.06        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0110 | 60276.5688  |
| 027 6247       | 669830.08    | 9946537.31    | 4801.30        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0110 | 60261.9435  |
| 027 6246       | 671818.10    | 9946958.49    | 4793.60        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0110 | 60247.5363  |
| 027 6245       | 673830.24    | 9947363.60    | 4796.45        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0110 | 60232.9354  |
| 027 6244       | 675834.70    | 9947791.18    | 4790.93        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0100 | 60218.2999  |
| 027 6243       | 677841.88    | 9948202.11    | 4791.59        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0100 | 60203.6057  |
| 027 6242       | 679837.71    | 9948615.35    | 4788.17        | 0.0060     | 0.0100 | 0.0100 | 60188.0250  |
| 027 6241       | 681834.55    | 9949030.60    | 4784.75        | 0.0060     | 0.0100 | 0.0100 | 60173.8691  |
| 020 6240       | 683831.40    | 9949445.85    | 4781.33        | 0.0070     | 0.0090 | 0.0081 | 59981.4442  |
| 020 6239       | 685828.25    | 9949861.10    | 4777.91        | 0.0060     | 0.0090 | 0.0066 | 59866.1230  |
| 020 6238       | 687825.10    | 9950276.35    | 4774.49        | 0.0060     | 0.0090 | 0.0066 | 59850.7220  |
| 020 6237       | 689821.95    | 9950691.60    | 4771.07        | 0.0060     | 0.0090 | 0.0066 | 59835.2272  |
| 020 6236       | 691818.80    | 9951106.85    | 4767.65        | 0.0060     | 0.0110 | 0.0081 | 59819.7823  |
| 020 6235       | 693815.65    | 9951522.10    | 4764.23        | 0.0060     | 0.0090 | 0.0066 | 59804.4098  |
| 020 6234       | 695812.50    | 9951937.35    | 4760.81        | 0.0060     | 0.0090 | 0.0066 | 59888.9808  |
| 020 6233       | 697809.35    | 9952352.60    | 4757.39        | 0.0060     | 0.0100 | 0.0081 | 59873.6198  |
| 020 6232       | 699806.20    | 9952767.85    | 4753.97        | 0.0060     | 0.0090 | 0.0066 | 59858.3040  |
| 020 6231       | 701803.05    | 9953183.10    | 4750.55        | 0.0060     | 0.0090 | 0.0066 | 59842.9054  |
| 020 6230       | 703799.90    | 9953598.35    | 4747.13        | 0.0070     | 0.0100 | 0.0081 | 59827.6286  |
| 021 6756       | 65           | 65            | 65             | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 53310.8323  |
| 021 6755       | 65           | 65            | 65             | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 53295.7427  |
| 021 6754       | 65           | 65            | 65             | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 53280.8544  |
| 021 6753       | 65           | 65            | 65             | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 53265.8526  |
| 021 6752       | 655045.55    | 9950936.85    | 4904.50        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0070 | 53250.6817  |
| 021 6751       | 654443.50    | 9952872.55    | 4905.35        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0070 | 53235.6111  |
| 021 6750       | 653841.45    | 9954808.25    | 4906.20        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 53220.6889  |
| 021 6749       | 653239.40    | 9956743.95    | 4907.05        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 53205.5288  |
| 021 6748       | 652637.35    | 9958679.65    | 4907.90        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 53190.5256  |
| 021 6747       | 652035.30    | 9960615.35    | 4908.75        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 53175.3403  |
| 021 6746       | 651433.25    | 9962551.05    | 4909.60        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 53160.2066  |
| 021 6745       | 650831.20    | 9964486.75    | 4910.45        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 53145.0577  |
| 021 6744       | 650229.15    | 9966422.45    | 4911.30        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 53129.7224  |
| 021 6743       | 649627.10    | 9968358.15    | 4912.15        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 53114.6278  |
| 022 6742       | 648025.05    | 9970293.85    | 4913.00        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52578.4931  |
| 022 6741       | 646423.00    | 9972229.55    | 4913.85        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52564.7480  |
| 022 6740       | 644820.95    | 9974165.25    | 4914.70        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52551.1608  |
| 022 6739       | 643218.90    | 9976100.95    | 4915.55        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52537.4672  |
| 022 6738       | 641616.85    | 9978036.65    | 4916.40        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52523.5528  |
| 022 6737       | 640014.80    | 9979972.35    | 4917.25        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52509.7870  |
| 022 6736       | 638412.75    | 9981908.05    | 4918.10        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52496.0182  |
| 022 6735       | 636810.70    | 9983843.75    | 4918.95        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52482.2381  |
| 022 6734       | 635208.65    | 9985779.45    | 4919.80        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52468.4783  |
| 022 6733       | 633606.60    | 9987715.15    | 4920.65        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52454.5278  |
| 022 6732       | 632004.55    | 9989650.85    | 4921.50        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52440.9728  |
| 022 6731       | 630402.50    | 9991586.55    | 4922.35        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52427.1323  |
| 022 6730       | 628800.45    | 9993522.25    | 4923.20        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52413.1515  |
| 022 6729       | 627198.40    | 9995457.95    | 4924.05        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52399.3005  |
| 022 6728       | 625596.35    | 9997393.65    | 4924.90        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0070 | 52385.6954  |
| 022 6727       | 623994.30    | 9999329.35    | 4925.75        | 0.0060     | 0.0050 | 0.0070 | 52371.9281  |
| 022 6726       | 622392.25    | 10012686.05   | 4926.60        | 0.0060     | 0.0050 | 0.0070 | 52357.8667  |
| 026 6725       | 682441.94    | 9953377.80    | 4997.18        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51987.7026  |
| 026 6724       | 680435.98    | 9952962.96    | 4998.12        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51982.1451  |
| 026 6723       | 678429.02    | 9952548.12    | 4999.06        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51976.6484  |
| 026 6722       | 676423.06    | 9952133.28    | 4999.99        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51970.7930  |
| 026 6721       | 674417.10    | 9951718.44    | 4999.93        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51965.1377  |
| 026 6720       | 672411.14    | 9951303.60    | 4999.87        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51959.6325  |
| 026 6719       | 670405.18    | 9950888.76    | 4999.81        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51954.1374  |
| 026 6718       | 668399.22    | 9950473.92    | 4999.75        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51898.3829  |
| 026 6717       | 666393.26    | 9950059.08    | 4999.69        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51872.7694  |
| 026 6716       | 664387.30    | 9949644.24    | 4999.63        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51856.9673  |
| 026 6715       | 662381.34    | 9949229.40    | 4999.57        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51841.5572  |
| 026 6714       | 660375.38    | 9948814.56    | 4999.51        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51825.9912  |
| 026 6713       | 658369.42    | 9948399.72    | 4999.45        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51810.1977  |
| 026 6712       | 656363.46    | 9947984.88    | 4999.39        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51794.6590  |
| 026 6711       | 654357.50    | 9947569.04    | 4999.33        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51778.9291  |
| 026 6710       | 652351.54    | 9947154.20    | 4999.27        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0090 | 51763.1395  |
| 025 6709       | 650345.58    | 9946739.36    | 4999.21        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51198.2694  |
| 025 6708       | 648339.62    | 9946324.52    | 4999.15        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51184.5100  |
| 025 6707       | 646333.66    | 9945909.68    | 4999.09        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51170.8439  |
| 025 6706       | 644327.70    | 9945494.84    | 4999.03        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51157.1159  |
| 025 6705       | 642321.74    | 9945079.99    | 4998.97        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51143.3098  |
| 025 6704       | 640315.78    | 9944665.15    | 4998.91        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51129.6488  |
| 025 6703       | 638309.82    | 9944250.31    | 4998.85        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51115.7141  |
| 025 6702       | 636303.86    | 9943835.47    | 4998.79        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51102.0598  |
| 025 6701       | 634297.90    | 9943420.63    | 4998.73        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51088.2054  |
| 025 6700       | 632291.94    | 9943005.79    | 4998.67        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51074.5277  |
| 025 6699       | 630285.98    | 9942590.95    | 4998.61        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51060.5808  |
| 025 6698       | 628279.02    | 9942176.11    | 4998.55        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51046.7748  |
| 025 6697       | 626273.06    | 9941761.27    | 4998.49        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51033.0290  |
| 025 6696       | 624267.10    | 9941346.43    | 4998.43        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51019.2532  |
| 025 6695       | 622261.14    | 9940931.59    | 4998.37        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 51005.4682  |
| 025 6694       | 620255.18    | 9940516.75    | 4998.31        | 0.0070     | 0.0140 | 0.0090 | 50991.6690  |
| 025 6693       | 618249.22    | 9940101.91    | 4998.25        | 0.0060     | 0.0140 | 0.0060 | 50678.0962  |
| 023 7058       | 681380.16    | 9965510.69    | 5444.69        | 0.0060     | 0.0070 | 0.0060 | 229083.4382 |
| 023 7057       | 679374.20    | 9965105.85    | 5445.63        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 229048.7399 |
| 023 7056       | 677368.24    | 9964690.00    | 5446.57        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 229013.5840 |
| 023 7055       | 675362.28    | 9964275.16    | 5447.51        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 229018.7939 |
| 023 7054       | 673356.32    | 9963860.31    | 5448.45        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 229003.9112 |
| 023 7053       | 671350.36    | 9963445.47    | 5449.39        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0060 | 228988.7396 |
| 023 7052       | 669344.40    | 9963030.62    | 5450.33        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228973.7311 |
| 023 7051       | 667338.44    | 9962615.78    | 5451.27        | 0.0070     | 0.0060 | 0.0060 | 228958.8290 |
| 023 7050       | 665332.48    | 9962200.93    | 5452.21        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228943.8445 |
| 023 7049       | 663326.52    | 9961786.09    | 5453.15        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228928.8258 |
| 023 7048       | 661320.56    | 9961371.24    | 5454.09        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228913.8113 |
| 023 7047       | 659314.60    | 9960956.40    | 5455.03        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228898.8022 |
| 023 7046       | 657308.64    | 9960541.55    | 5455.97        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228883.8276 |
| 023 7045       | 655302.68    | 9960126.71    | 5456.91        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228868.8325 |
| 023 7044       | 653296.72    | 9959711.86    | 5457.85        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228853.8101 |
| 023 7043       | 651290.76    | 9959297.02    | 5458.79        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228838.8017 |
| 023 7042       | 649284.80    | 9958882.17    | 5459.73        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228823.8095 |
| 023 7041       | 647278.84    | 9958467.33    | 5460.67        | 0.0060     | 0.0060 | 0.0060 | 228808.8131 |
| 024 7040       | 645272.88    | 9958052.48    | 5461.61        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 225408.4523 |
| 024 7039       | 643266.92    | 9957637.64    | 5462.55        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 225393.9675 |
| 024 7038       | 641260.96    | 9957222.79    | 5463.49        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 225379.2443 |
| 024 7037       | 639255.00    | 9956807.95    | 5464.43        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 225364.6792 |
| 024 7036       | 637249.04    | 9956393.10    | 5465.37        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 225350.1476 |
| 024 7035       | 635243.08    | 9955978.26    | 5466.31        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 225335.3422 |
| 024 7034       | 633237.12    | 9955563.41    | 5467.25        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 225320.8021 |
| 024 7033       | 631231.16    | 9955148.57    | 5468.19        | 0.0070     | 0.0070 | 0.0060 | 225306.1220 |
| 024 703        |              |               |                |            |        |        |             |



## ANEXO 5

### PONS PARA MISIONES Y PROCESAMIENTO DE TOMA DE FOTOGRAFÍA AEREA

---

#### PLANEACIÓN.

- Diseñar la geometría de vuelo considerando: Seguridad de vuelo y exigencias geométricas
- Por razones de seguridad de vuelo para escalas grandes y en topografías accidentadas, considerar vuelos de reconocimiento previa firma de contrato
  - Garantizar la uniformidad de la escala de toma de fotografía en todo el proyecto.
  - Garantizar la cobertura estereoscópica total del proyecto con fotografía aérea
  - Planificación de vuelos en Sistema Ascot.
  - Entregar los datos geométricos de vuelo en archivo digital a Operaciones antes de cada vuelo
  - Validación de vuelos fotogramétricos respecto de datos GPS-MOVIL y GPS-BASE
  - Procesamiento de datos GPS para la obtención de las coordenadas de los centros de exposición
  - Entregar a Evaluación todos los archivos digitales de vuelo

#### OPERACIONES-REQUISTOS:

Realizar las misiones de vuelos fotogramétricos de precisión solo y solo si cumple con los siguientes requisitos geométricos:

- Únicamente cuando el sistema de fotografía esté completamente integrada, así: Compensación automática de

movimiento (FMC), Base giro-estabilizada, Sistema de vuelo fotogramétrico apoyado por GPS (Administrador de vuelos) y Estación de referencia GPS totalmente funcionando.

- **En el campo de la fotogrametría**, el terreno a fotografiar deberá estar exento de nieve, nubes, humos, zonas inundadas y fundamentalmente, que las sombras arrojadas por los accidentes del terreno no comprometan su calidad.

NOTA: Si la toma de fotografía aérea se realiza sin considerar estos 2 requisitos primarios fundamentales, no se garantizará su validez para aplicaciones fotogramétricas

#### **PILOTO:**

- GENERALES
  - Observar los Pons de seguridad de vuelo, Regulaciones de vuelo, etc.
  - Transporte de personal ajeno a la tripulación de toma de Fotografía Aérea sólo previa autorización de la Dirección del IGM.
  - Sobrevolar el área con la aeronave estabilizada, libre de movimientos angulares
  - Sobrevolar el área a altura y velocidad constante, describiendo una serie de trayectorias (pasadas), paralelas entre sí mediante su control de deriva.
  - Considerar la visibilidad en el vuelo, como mínimo, el doble de la altura de vuelo.
  - Realizar un instructivo para vuelos fotogramétricos.

- **ESPECIFICAS**

- Para realizar las misiones de vuelo deberá disponer de tiempo completo; por lo tanto deberá estar en condiciones de realizar las misiones de vuelo fotogramétrico en todo instante y en cualquier área del País que presente condiciones favorables para la toma aérea
- Considerando los cambios repentinos de condiciones meteorológicas, se deberá trasladar a la zona del proyecto en el mismo instante de recibir reportes climáticos favorables para la toma.
- Siempre que el avión esté operable, el cumplimiento de las misiones de toma de fotografía aérea será prioridad principal.
- Los vuelos de prueba, entrenamiento y otros no podrán ser realizados durante la ejecución de los proyectos.
- Los vuelos de prueba, entrenamiento y otros se realizarán previo conocimiento y autorización de la Dirección del IGM
- Respetar los parámetros y requerimientos de vuelo del personal técnico
- Deben observar, respetar y cumplir las fechas límites de la toma de fotografía aérea comprometidas con los contratantes.
- Los ángulos de viraje para entrar a las líneas de vuelo deben ser menores a 25 grados para no colapsar al sistema Ascot

## **CAMARÓGRAFO**

- **GENERALES**
- Haber realizado el mantenimiento básico preventivo bimensual de la cámara aérea y de sus componentes
- Haber realizado en coordinación con el Departamento de Sistemas, el mantenimiento bimensual del Sistema Ascot (limpieza del disco duro, arreglo de archivos, etc.)

- Prever la existencia de rollos aéreos necesarios para las misiones de vuelo
- Manejo y administración de datos GPS-móvil
- Las películas b/n deben ser utilizados en función de la altura de vuelo.
- Considerar la época del año para determinar la hora más propicia de toma aérea ( ángulo solar)
- Control de los parámetros de toma: factor filtro, ASA de la película, cantidad de luz, deriva, etc.
- El avión deberá tener una velocidad de crucero que, combinada con los tiempos de exposición de la cámara, den valores permisibles en el arrastre de la imagen, así: Escalas pequeñas  $\leq 0.03\text{mm}$  ; Escalas grandes  $\leq 0.09\text{mm}$
- Mantener los rollos aéreos bajo temperaturas estables, especialmente rollos a color
- Para identificar la condición del rollo se debe utilizar cinta a colores; ej.

Rojo= rollo virgen

Naranja= tomado a ser procesado

- ESPECIFICOS
- Comprobar el correcto funcionamiento de los componentes de la cámara aérea antes de cada vuelo
- Antes de cada misión de vuelo deberá Validar/actualizar todos los planes de vuelo vigentes.
- Realizar los vuelos observando y respetando la planificación programada. Toda duda o aclaración lo realizará antes de cada vuelo.
- Evitar realizar la toma de líneas consecutivas y más aún repetición de líneas el mismo instante( en razón de la dispersión de



partículas en suspensión) para lo cual se recomienda la toma de fotografía en forma de espiral en áreas donde sea posible

- En zonas de topografía accidentada todas las líneas deben ser tomadas en una sola dirección.
- Previa la misión de vuelo debe realizar el análisis de las condiciones meteorológicas utilizando combinaciones de información: Satélite-Metar-Observador
- En caso de vientos y turbulencias fuertes (escalas grandes), no se realizará la toma aérea
- Manejar y/o controlar de forma manual la velocidad del espiral sobre todo para escalas grandes y terrenos accidentados.
- En un mismo rollo no pueden existir proyectos tomados con diferentes parámetros meteorológicos (especialmente cambio de regiones)
- Los cuadros (fotos) de prueba deben ser realizados dentro del área de toma y con los mismos parámetros.
- Se debe considerar una exposición en blanco para separar líneas de vuelo
- Validación y grabación de archivos digitales de cada vuelo, datos GPS-MOVIL (según fecha de toma)
- Los formularios de reportes de vuelo deben ser llenados en el mismo instante de toma o máximo al aterrizar
- En los reportes de vuelo, cada línea tomada deberá presentar información descriptiva del tipo de vegetación, así como de las condiciones meteorológicas (turbulencia, viento, nubes, etc.).
- Coordinar con el Operador GPS-BASE la hora de prendido/apagado del receptor.
- Entregar los rollos tomados y sus respectivos reportes de vuelo en formato digital en forma clara y bien definida a Laboratorio inmediatamente después de finalizado la misión o comisión de toma.



- Informar al responsable de la misión de todas las novedades presentadas, así como también los archivos digitales generados en el vuelo inmediatamente después de aterrizar para su validación respectiva.
- Realizar la liquidación de horas de vuelo por proyecto

### **OPERADOR GPS**

- Comprobar el correcto funcionamiento del receptor GPS antes de cada vuelo
- Disponer de la información de todos los puntos GPS posibles y disponibles a ser utilizados en el proyecto
- Coordinar con el Camarógrafo la hora de prendido/apagado del receptor
- Siempre deberá estar en el punto base y sobre todo poner en funcionamiento el receptor antes que despegue la aeronave
- El punto base debe estar libre de obstrucciones naturales y/o artificiales (presencia de edificios, antenas de radar, líneas de alta tensión, estaciones repetidoras de telecomunicaciones, etc.) que puedan obstaculizar la recepción de las señales satelitales.
- Utilizar como punto base un punto perteneciente a la Red GPS. Solo en caso de inaccesibilidad o inexistencia, y previa coordinación con el responsable de la misión, deberá determinar su propio punto GPS.
- Prendido/apagado se debe realizar máximo 2 veces por día (recomendable uno)
- Convertir datos RAW (GPS-BASE ) y archivar los mismos
- Informar y entregar inmediatamente después de cada aterrizaje la recepción y calidad de datos recibidos al responsable de la misión



## RESUMEN EJECUTIVO

La fotogrametría siempre ha estado impulsada por la tecnología, esto es importante y hay que mencionarlo, porque empezó con la invención de la fotografía y luego siguió con los aviones, ningún usuario había pedido una fotografía aérea con datos GPS, pero sin embargo estos nuevos desarrollos aparecieron y por consiguiente el mercado actual demanda y exige la entrega de los mismos. Y en el presente caso, más que el cliente externo, la misma Institución, por la reducción en costos y tiempos que ello representaría en la determinación del número de puntos de control terrestre.

Desarrollos tecnológicos presentes en el Departamento de Fotografía Aérea del Instituto Geográfico Militar, pero que lamentablemente por los escasos resultados alcanzados, propician el desarrollo de la presente monografía en lo referente a la obtención de fotografías aéreas con datos GPS resultado de los vuelos aéreos cinemáticos relativos con posprocesamiento.

Vuelos aéreos cinemáticos relativos que involucra preparación y conocimientos de los requerimientos técnicos principalmente de:

- FOTOGRAFÍA AÉREA.- Parámetros geométricas del vuelo y de la fotografía aérea
- GEODESIA. Recepción y tratamiento de datos GPS. Así como materialización de los puntos de control terrestre
- AEROTRIANGULACIÓN. Planificación de puntos de control terrestre (Apoyo fotogramétrico) y ajuste del bloque de fotografías
- INFORMÁTICA.- Manejo de datos generados antes, durante y después de las misiones de vuelo.



### **Puntos de apoyo fotogramétrico (Puntos de control terrestre).-**

Establecer en función del diseño geométrico de vuelo y de la calidad de datos GPS obtenidos de la misión de vuelo, la configuración de puntos de apoyo fotogramétrico necesarios en el bloque de fotografías y con ello determinar el número de puntos de control a ser reducidos.

Reducción que a más de incidir favorablemente en los recursos económicos y tiempos de ejecución, implica también reducción de riesgos en los recursos humanos y equipos destinados a la materialización de puntos de control terrestre en áreas de alta peligrosidad.

En general la reducción de puntos control es posible gracias a la disponibilidad de las herramientas tecnológicas, herramientas cada vez más potentes, primero el ordenador, luego el sistema GPS, todos los automatismos..., han llegado a un punto en el cual podemos medir las cosas directamente y eso ha sido posible gracias al desarrollo de la tecnología.

Si la tecnología sería fácil, todos estaríamos de vacaciones. Su manejo y explotación va más allá de la buena voluntad del personal técnico; se requiere, esfuerzo, preparación y conocimientos. Es decir, personal especializado y comprometido en alcanzar las exigencias del mundo actual.

## **AUTORIZACION DE PUBLICACION**

Autorizo al Instituto de Altos Estudios Nacionales la publicación de esta Tesis, de su bibliografía y anexos, como artículo de revista o como Artículo para lectura seleccionada o fuente de investigación.

Quito, julio de 2007

.....  
FIRMA DEL CURSANTE  
Ing José Lincango