

Vuelo Fotogramétrico Combinado Digital y LiDAR en la Costa de Almería.

Informe técnico del proyecto

Septiembre 2009

Índice

<i>Índice</i>	2
1. Tabla resumen del proyecto	3
2. Características del trabajo.	4
3. Medios técnicos empleados	5
Sensor de captura de imágenes digitales	5
Sensor de captura de datos LiDAR	6
Aeronave	6
4. Flujo general de trabajo	7
5. Planificación	8
6. Ejecución del vuelo fotogramétrico	9
7. Descripción de los productos y estructura de entrega	10
8. Control de Calidad	11
8.1. Control altimétrico de la nube de puntos LiDAR	11
8.2. Control geométrico del vuelo fotogramétrico	12
Anejo 1. Postproceso de imágenes digitales	16
Anejo 2. Cálculo de los parámetros de orientación externa de las imágenes digitales por orientación directa	19
I. INTRODUCCIÓN.	19
II. COMPONENTES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE CÁLCULO.	20
III. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.	22
IV. PRECISIÓN DEL CÁLCULO.	23

1. Tabla resumen del proyecto

Proyecto
Descripción: Vuelo Combinado con Cámara Digital y LiDAR en Almería.
Medios técnicos empleados
Sensor de captura de imágenes digitales: Digital Mapping Camera (DMC) S/N: 0037
Sensor de captura de datos LiDAR: ALS60. S/N: 6115.
Aeronave: CESSNA 404-C. Matrícula EC-JQI.
Planificación
Altura de vuelo sobre el terreno: 1000 m.
Número de pasadas: 4
Número de fotografías: 86
Velocidad del avión: 150/180 Knt
Parametrización de la cámara digital
GSD: 0.10 m.
Recubrimiento longitudinal: 65 %
Recubrimiento transversal: 60 %
Parametrización del sensor LiDAR
FOV: 35°
Laser Pulse Rate: 96100 Hz
Scan Rate: 63.37 Hz
Densidad de puntos promedio: 1,61 ptos/m ²
Precisión a priori en dirección transversal a la pasada: 0,11 m
Precisión a priori en la dirección de la pasada: 0,11 m
Precisión a priori en Z: 0,08 m
Ejecución del vuelo
Fecha y hora: 28 de Agosto de 2009 entre las 16:19 y las 16:39 horas UTC.
Características específicas de los trabajos
El vuelo se ha realizado coincidiendo con el horario de marea baja Durante la ejecución del vuelo fotogramétrico se ha situado una estación de referencia GPS sobre el vértice regente 101481 "Alboluncas". Esta estación se ha empleado para el cálculo de las trayectorias LiDAR y cámara.
Productos entregados
Imágenes RGBNir con resolución de 12 bits
Parámetros de orientación externa de las imágenes calculados por orientación directa
Ficheros LAS sin clasificar recortados en bloques y con pasadas completas (etrs89 utm 30 altura elipsoidal)
Datos Rinex de la estación de referencia en tierra
Datos GPS-IMU de los sistemas cámara y LiDAR

2. Características del trabajo.

Este trabajo consiste en la realización de un vuelo fotogramétrico Digital y LiDAR en la costa próxima a Vera, Almería, sobre una superficie aproximada de 841 Has.

Los objetivos del trabajo son la captura de la nube de puntos LiDAR con una resolución superior a 1pto/m² e imágenes RGB+Ir con una resolución mayor de 15cm. Además, durante la captura se han de cumplir las siguientes condiciones:

- Se ha de situar una estación GPS en tierra sobre un vértice regente dentro de la zona de interés del trabajo.
- El vuelo se ha de realizar en horario de marea baja.

Para cumplir con los condicionantes anteriores se han tomado las siguientes medidas:

1. El vuelo se ha planificado para conseguir:
 - resolución de la nube de puntos LiDAR \approx 1,6 ptos/m²
 - resolución imagen = 10 cm
2. Durante la ejecución del vuelo se ha situado una estación de referencia GPS sobre el vértice Regente 101481 "Alboluncas"
3. De forma previa a la ejecución del vuelo se ha establecido el horario óptimo en función del horario de mareas. Para ello se han consultado las tablas de mareas de Almería¹



Ilustración 1. Zona de interés en el Proyecto.

¹ <http://www.tablademareas.com/almeria>

3. Medios técnicos empleados

Sensor de captura de imágenes digitales	
Sensor empleado	Digital Mapping Camera (DMC)
Número de serie del Sensor	DMC01-0037
Resolución espectral	5 bandas (Rojo, Verde, Azul, Infrarrojo cercano, Pancromático)
Control automático de la exposición	Incluido
Sistema FMC	TDI
Plataforma Giroestabilizada	T-AS Compensación de 5 deg en Roll y Pitch y 30 deg en Heading. Permite control automático de deriva.
Sistema de navegación	ASMS de Integraph Permite: - planificar el vuelo, determinando los centros de fotos - navegación en tiempo real - control automático de disparo - registro de eventos - registro de datos de captura de cada imagen
Receptor GPS	NOVATEL Millenium: -12 canales bifrecuencia siguiendo las portadoras L1 y L2. -Registro de observaciones superior 0.1 segundos. -Modo de observación mediante código y diferencias de fase. -Algoritmos de dobles diferencias para resolver la ambigüedad de fase. -Precisión en las coordenadas de la cámara DGPS: 10 a 30 cms.
Sistema inercial (IMU/INS)	PosAV-510 - Frecuencia de registro: 200 Hz. - Precisión 0.005 deg en Omega y Phi, 0.008 deg en Kappa.
Fecha de calibración	Julio de 2008
Parámetros básicos en imágenes virtuales de alta resolución	
Distancia focal (m)	0.120
Tamaño del sensor (pixel)	13824 x 7680
Tamaño del píxel (µm)	12
Punto principal (mm)	X = 0.0 ; Y = 0.0
Parámetros de distorsión	Imágenes libres de distorsión
Parámetros básicos en imágenes virtuales con resolución multispectral	
Distancia focal (m)	0.030
Tamaño del sensor (pixel)	3456 x 1920
Tamaño del píxel (µm)	12
Punto principal (mm)	X = 0.0 ; Y = 0.0
Parámetros de distorsión	Imágenes libres de distorsión

Sensor de captura de datos LiDAR	
Sensor empleado	ALS60
Número de serie	SN 6115
Altura de vuelo	200m – 6.000m
Frecuencia de pulsación	Hasta 150.000Hz (150.000 pulsos/seg.)
Precisión a priori	Hasta 10cm en altimetría
Número de retornos capturados	4
Campo de visión (FOV)	10° - 75°
Captura de intensidades	una por pulso
Tecnología MPiA (Multiples Pulses in Air)	Sí
Densidad de puntos (puntos/m²)	Hasta 12

Aeronave	
Marca y modelo	Cessna 404-C
Matrícula	EC-JQI
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> • Motores: 2, continental de inyección turboalimentados TS10-520-Vb de 325HP cada uno. • Peso Máximo al despegue: 6850 lb. • Autonomía: 6:30 horas/2.000 Km. • Velocidad de Crucero: 180 Kts/300 Km/h. • Altura Máxima de Vuelo: 26.000 pies. • Equipos de Navegación: HSI, GPS, RNAV, VOR, RMI, A/P, Radio Altimetro, Rádar Meteorológico. • Adaptado para poder montar simultáneamente dos sensores.

4. Flujo general de trabajo



5. Planificación

A partir del límite de la zona de vuelo y considerando los aspectos técnicos del pliego de prescripciones técnicas que rige los trabajos, se ha procedido a realizar la planificación de un vuelo combinado con cámara digital y LiDAR.

A continuación, se detallan las características básicas de la planificación, indicando la parametrización de los sensores empleados:

Información general	
Altura de vuelo sobre el terreno (m)	1000
Número de pasadas	4
Número de fotografías	86
Parametrización de la cámara digital	
GSD (cm)	10
Recubrimiento longitudinal (%)	65
Recubrimiento transversal (%)	60
Parametrización del sensor LiDAR	
FOV (°)	35
Max. scan rate (Hz)	63.37
Max. laser pulse ate (Hz)	96100
Laser current (%)	11
Max. point spacing across track(m)	1,33
Max. point spacing along track (m)	1,46
Average point density (ptos/m²)	1,61
Average point space (m)	0,79
Average point area (m²)	0,62
Estimated across track accuracy (m)	0,11
Estimated along track accuracy (m)	0,11
Estimated height accuracy (m)	0,08



Ilustración 2. Gráfico de Planificación.

6. Ejecución del vuelo fotogramétrico

La ejecución del vuelo fotogramétrico se realizó el día: **28 de Agosto de 2009 entre las 16:19 y las 16:39 horas UTC** cumpliendo con el horario de marea baja. De forma previa, han sido solicitados a Aviación Civil y al Consejo Superior Geográfico todos los permisos necesarios para realizar las actividades cumpliendo con la normativa vigente.

Durante la realización del vuelo se constató que las condiciones meteorológicas y de visibilidad en la zona de trabajo fueran las idóneas para la realización de los trabajos fotogramétricos.

De forma previa a la ejecución del vuelo se situó una estación de referencia GPS sobre el vértice 101481 “Alboluncas” de la red Regente.

7. Descripción de los productos y estructura de entrega

IMAGEN	
Directorio	Descripción
RGBNir	Imágenes de 4 bandas (ROJO-VERDE-AZUL-INFRAERROJO) con resolución radiométrica de 12 bits. Formato Tiff
Gráficos	Gráficos de centros de proyección en formato KMZ y SHAPE.
Orientación Directa	Parámetros de orientación externa calculados a partir del postproceso de la trayectoria GPS/IMU.

LiDAR	
Directorio	Descripción
Hojas	Nube de puntos en formato LAS sin clasificar cortada por hojas. Se incluye el gráfico de distribución de hojas. Sist. Ref: ETRS89 UTM 30 altitudes elipsoidales.
Trayectorias	Nube de puntos en formato LAS sin clasificar con las pasadas completas. Sist. Ref: ETRS89 UTM 30 altitudes elipsoidales.

GPS-IMU	
Directorio	Descripción
Camara	Ficheros RINEX de la estación de referencia en tierra y el GPS asociado a la cámara.
LiDAR	Ficheros GPS e inerciales de la estación de referencia en tierra y el GPS-IMU asociado al LiDAR.

8. Control de Calidad

8.1. Control altimétrico de la nube de puntos LiDAR

El control altimétrico de la nube de puntos LiDAR se ha realizado empleando los puntos facilitados por el cliente. Entre los puntos facilitados se han descartado aquellos que se sitúan en cambios bruscos de altura como esquinas de edificios, muros... y aquellos puntos medidos bajo vegetación alta. Las altitudes de los puntos han sido transformadas al sistema elipsoidal utilizando la herramienta mincurv.

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
53	608469.786	4122298.49	56.39	56.5	0.110
22	604757.481	4116764.16	69.038	69.08	0.042
2	604185.225	4114362.19	69.862	69.8	-0.062
3	604215.103	4114355.51	69.039	68.97	-0.069
52	607546.813	4122168.11	57.18	57.11	-0.070
34	605503.494	4119337.83	53.574	53.5	-0.074
60	608929.048	4122940.97	50.899	50.8	-0.099
61	608780.786	4123119	71.98	71.88	-0.100
36	605490.584	4119348.54	53.781	53.68	-0.101
23	604763.677	4116802.55	69.224	69.11	-0.114
27	605251.104	4118075.98	53.087	52.97	-0.117
58	608919.194	4122875.71	50.753	50.63	-0.123
29	605456.876	4118525.92	52.458	52.33	-0.128
30	605458.912	4118529.51	52.315	52.17	-0.145
26	605255.469	4118070.47	53.075	52.93	-0.145
35	605486.769	4119336.07	53.768	53.59	-0.178
31	605455.465	4118532.46	52.47	52.21	-0.260

Average dz	-0.096
Minimum dz	-0.260
Maximum dz	0.110
Average magnitude	0.114
Root mean square	0.124
Std deviation	0.081

8.2. Control geométrico del vuelo fotogramétrico

PASADA	FOTOGRAMA	Deriva (deg)	Cambio de Rumbo entre fotogramas consecutivos (deg)	l. eje optico (deg)	Diferencia de Inclinación entre fotogramas consecutivos (deg)	Angulo Solar (deg)	Diferencia en X entre planificación y vuelo (m)	Diferencia en Y entre planificación y vuelo (m)	Distancia reducida entre CDP planificado y volado (m)
4	1	0.84	0.033	0.755	0.581	49.226	15.271	10.85	18.733
4	2	0.656	0.268	0.174	0.439	49.213	17.573	9.757	20.1
4	3	0.7	0.147	0.613	0.186	49.2	18.842	9.393	21.053
4	4	0.474	1.293	0.427	0.116	49.187	21.617	8.087	23.08
4	5	1.397	1.853	0.311	0.24	49.174	22.493	7.508	23.713
4	6	1.033	0.307	0.07	0.049	49.163	20.458	7.94	21.945
4	7	0.415	0.397	0.119	0.149	49.15	21.547	7.699	22.881
4	8	0.487	0.722	0.03	0.033	49.137	20.906	7.922	22.357
4	9	0.761	0.765	0.002	0.43	49.124	17.711	8.976	19.856
4	10	1.808	1.005	0.433	0.25	49.111	17.333	9.758	19.891
4	11	0.401	0.363	0.683	0.305	49.098	18.213	9.285	20.443
4	12	1.235	0.558	0.378	0.275	49.085	17.034	9.544	19.525
4	13	1.762	0.899	0.103	0.293	49.072	18.345	9.246	20.543
4	14	0.378	1.635	0.19	0.367	49.059	19.364	8.504	21.149
4	15	2.364	1.034	0.177	0.16	49.048	18.045	9.174	20.243
4	16	3.5	2.126	0.337	0.324	49.035	18.631	9.201	20.779
4	17	0.97	0.324	0.661	0.289	49.022	19.674	9.316	21.768
4	18	1.803	0.663	0.372	0.243	49.009	18.434	9.175	20.591
4	19	0.498	0.323	0.129	0.251	48.996	19.907	8.717	21.732
4	20	0.927	0.376	0.122	0.115	48.983	18.078	9.129	20.252
4	21	1.186	0.269	0.008	0.407	48.97	16.812	9.455	19.288
4	22	1.852	0.677	0.399	0.033	48.956	15.117	10.71	18.526

PASADA	FOTOGRAMA	Deriva (deg)	Cambio de Rumbo entre fotogramas consecutivos (deg)	I. eje optico (deg)	Diferencia de Inclinación entre fotogramas consecutivos (deg)	Angulo Solar (deg)	Diferencia en X entre planificación y vuelo (m)	Diferencia en Y entre planificación y vuelo (m)	Distancia reducida entre CDP planificado y volado (m)
4	23	No Data	No Data	0.367	No Data	48.946	15.309	10.693	18.674
1	24	1.808	1.269	3.131	0.114	48.325	15.035	12.98	19.863
1	25	2.973	1.937	3.246	0.762	48.311	13.752	11.885	18.176
1	26	0.678	0.133	2.483	0.77	48.297	14.089	11.281	18.049
1	27	1.014	0.173	1.713	0.195	48.283	15.662	9.282	18.206
1	28	0.943	0.332	1.518	0.446	48.27	16.46	8.06	18.327
1	29	0.596	0.145	1.073	0.007	48.258	17.076	7.486	18.645
1	30	0.879	0.398	1.08	0.011	48.244	17.292	6.397	18.437
1	31	0.071	0.628	1.091	0.59	48.231	16.979	7.732	18.657
1	32	0.821	0.34	0.501	0.514	48.217	17.4	6.926	18.728
1	33	0.042	0.126	0.013	0.395	48.203	18.069	4.514	18.624
1	34	0.14	0.988	0.382	0.106	48.189	17.645	4.909	18.315
1	35	1.427	0.626	0.276	0.356	48.175	18.517	4.042	18.953
1	36	0.077	0.151	0.632	0.559	48.164	19.946	1.652	20.014
1	37	0.152	0.95	1.191	0.387	48.15	18.993	2.317	19.134
1	38	1.506	0.934	0.804	0.218	48.136	18.562	3.938	18.975
1	39	0.285	0.608	0.586	0.232	48.122	19.86	2.181	19.979
1	40	1.09	0.631	0.818	0.327	48.108	19.664	1.024	19.691
1	41	0.95	0.427	1.144	0.348	48.094	17.866	3.931	18.293
1	42	0.943	0.686	0.797	0.143	48.083	14.951	9.331	17.624
1	43	No Data	No Data	0.654	No Data	48.069	10.997	16.815	20.092
3	64	6.453	0.389	1.819	0.603	46.517	4.269	2.607	5.002
3	65	7.108	1.872	2.421	0.484	46.508	5.805	3.125	6.593
3	66	4.583	0.574	2.906	0.516	46.498	8.36	2.084	8.616
3	67	4.03	0.426	2.39	0.606	46.489	7.427	1.436	7.565
3	68	3.631	0.372	1.784	0.583	46.482	6.885	1.56	7.06
3	69	3.642	0.351	1.201	0.678	46.472	6.453	1.805	6.701

PASADA	FOTOGRAMA	Deriva (deg)	Cambio de Rumbo entre fotogramas consecutivos (deg)	I. eje optico (deg)	Diferencia de Inclinación entre fotogramas consecutivos (deg)	Angulo Solar (deg)	Diferencia en X entre planificación y vuelo (m)	Diferencia en Y entre planificación y vuelo (m)	Distancia reducida entre CDP planificado y volado (m)
3	70	4.207	1.033	0.523	0.404	46.463	7.893	1.217	7.986
3	71	2.315	1.562	0.119	0.222	46.453	10.313	0.24	10.316
3	72	0.041	1.866	0.103	0.017	46.447	8.471	0.167	8.473
3	73	2.741	0.105	0.12	0.245	46.437	2.764	2.762	3.907
3	74	2.065	0.582	0.365	0.275	46.428	1.612	3.195	3.579
3	75	2.009	0.407	0.09	0.54	46.418	2.406	4.895	5.454
3	76	3.482	0.004	0.63	0.008	46.409	3.867	5.113	6.411
3	77	2.494	1.352	0.622	0.648	46.399	0.123	3.694	3.696
3	78	0.901	0.416	0.026	0.179	46.389	0.824	3.897	3.983
3	79	1.744	0.247	0.153	0.234	46.383	2.963	5.056	5.86
3	80	2.328	0.683	0.387	0.252	46.37	3.087	4.969	5.85
3	81	1.186	0.206	0.135	0.844	46.361	1.391	4.587	4.793
3	82	1.657	0.069	0.709	0.224	46.354	1.982	5.277	5.637
3	83	1.63	0.438	0.933	0.261	46.345	1.239	5.367	5.508
3	84	1.384	0.025	0.672	0.575	46.335	0.47	4.796	4.819
3	85	1.492	0.066	0.097	0.218	46.325	1.359	4.091	4.311
3	86	No Data	No Data	0.121	No Data	46.316	3.423	2.565	4.277
2	87	2.215	0.084	1.301	0.507	45.805	17.512	5.663	18.405
2	88	1.919	0.172	0.793	0.145	45.791	17.7	5.098	18.42
2	89	1.736	0.061	0.648	0.219	45.78	17.343	5.626	18.233
2	90	1.427	0.318	0.867	0.399	45.762	17.123	6.437	18.293
2	91	2.034	0.901	1.266	0.192	45.751	16.234	8.323	18.243
2	92	1.126	0.443	1.074	0.396	45.737	15.956	8.706	18.177
2	93	1.224	0.317	0.678	0.089	45.722	15.921	9.251	18.414
2	94	0.816	0.2	0.767	0.379	45.708	14.466	11.113	18.242
2	95	1.802	0.155	0.389	0.407	45.694	13.11	13.78	19.02
2	96	2.41	0.071	0.019	0.339	45.679	14.025	12.764	18.964

PASADA	FOTOGRAMA	Deriva (deg)	Cambio de Rumbo entre fotogramas consecutivos (deg)	l. eje optico (deg)	Diferencia de Inclinación entre fotogramas consecutivos (deg)	Ángulo Solar (deg)	Diferencia en X entre planificación y vuelo (m)	Diferencia en Y entre planificación y vuelo (m)	Distancia reducida entre CDP planificado y volado (m)
2	97	2.579	0.43	0.357	0.178	45.665	16.111	9.507	18.707
2	98	1.56	0.442	0.18	0.976	45.651	18.18	4.688	18.775
2	99	0.626	0.128	0.796	0.065	45.636	19.077	2.946	19.303
2	100	1.015	0.133	0.861	0.548	45.622	18.363	3.289	18.655
2	101	1.09	0.749	0.313	0.298	45.61	18.97	2.995	19.205
2	102	0.48	0.7	0.611	0.422	45.596	18.8	2.307	18.941
2	103	0.617	0.443	1.032	0.275	45.582	16.783	5.864	17.778
2	104	1.859	0.371	0.757	0.424	45.567	16.214	7.851	18.015
2	105	2.008	0.836	0.334	0.601	45.553	17.336	5.706	18.251
2	106	No Data	No Data	0.935	No Data	45.539	17.846	4.696	18.454

Anejo 1. Postproceso de imágenes digitales

El postproceso de imágenes digitales consiste en la normalización y corrección de las imágenes brutas captadas por el sensor aerotransportado. Mediante este procedimiento, las imágenes se hacen útiles para su posterior explotación. Los procesos que se siguen para tal fin engloban:

Correcciones radiométricas. Consiste en la corrección de píxeles defectuosos y en la posterior ecualización del histograma de frecuencias, balanceado y contraste de la imagen.

Correcciones geométricas. Se basan en la corrección de las distorsiones de imagen de cada sensor óptico y la corrección entre el centro geométrico y el centro óptico de cada CCD. En esta fase se consiguen lo que se llaman **imágenes de nivel 1**.

Mosaicado de imágenes simples pancromáticas para formar la imagen virtual. Los módulos de los 4 sensores pancromáticos (de 7k x 4k píxeles) están dirigidos hacia la escena con ligeros ángulos de inclinación que dan lugar a una representación conjunta con forma de mariposa. Entre las 4 imágenes existen zonas comunes de solape, que se utilizan para la rectificación y mosaicado de la imagen final de perspectiva cónica de 13865 x 7680 píxeles. Apoyándose en la búsqueda de puntos homólogos mediante correlación automática entre las 4 imágenes, se consigue ensamblar las mismas obteniendo de este modo la imagen virtual pancromática. Esta imagen virtual es sometida a un nuevo proceso de corrección radiométrica que iguala el brillo y el contraste de las 4 imágenes individuales de que se compone. Al finalizar este paso se obtienen **imágenes de nivel 1 a**.

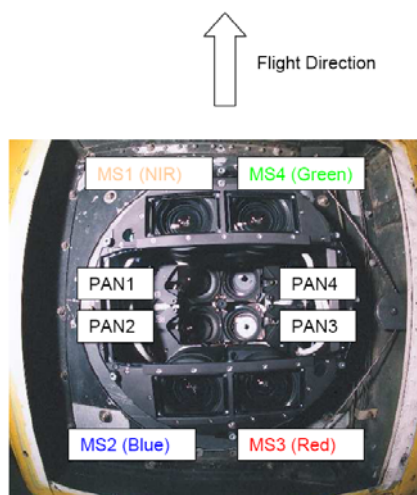


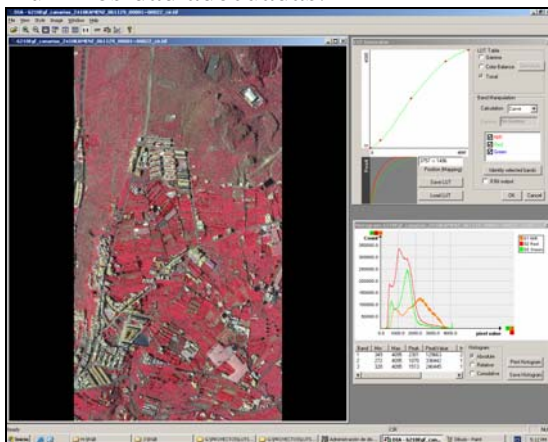
Ilustración 3. Configuración de las cámaras digitales en el sistema DMC.

Obtención de imágenes a color por composición. En el caso de las imágenes a máxima resolución, se combinan los canales multispectrales con el pancromático, realizando un proceso de pansharpening, el software de postproceso ofrece la posibilidad de emplear dos técnicas diferentes de fusión: IHS (Intensity-Hue-Saturation) o Brovey, la elección entre una y otra dependerá de las características del terreno y de la altura de vuelo. Tras este proceso se obtienen las **imágenes de nivel 1b**.

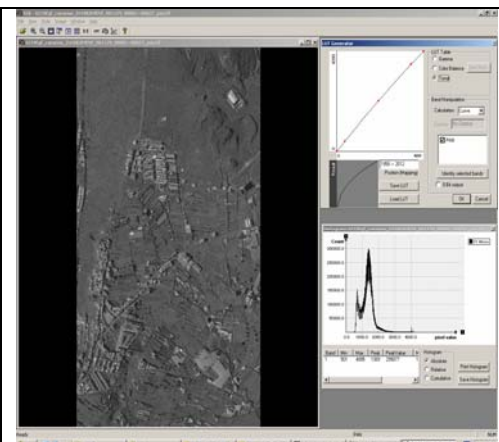
Por último, las **imágenes de nivel 2** resultan de aplicar a las imágenes de nivel 1b los parámetros de orientación externa obtenidos por georreferenciación directa.

El procedimiento de obtención de las imágenes finales requiere previamente la realización de las paletas de color que serán aplicadas a las imágenes. Para realizar las paletas de color se seleccionan diferentes imágenes a partir de los thumbnails. Las imágenes seleccionadas deben ser representativas de toda el área volada durante la misión a procesar, incluyendo zonas urbanas, rústicas y, cuando corresponda, imágenes de litoral. Estas imágenes son procesadas sin aplicar paleta de color y, mediante el software DMC Image Analyst de ZI, se obtiene de forma semiautomática una paleta de color en la que se relaciona cada nivel digital de la imagen original con el que deberá tener la imagen final procesada (se realiza una paleta para cada producto) que será aplicada al resto de imágenes a procesar.

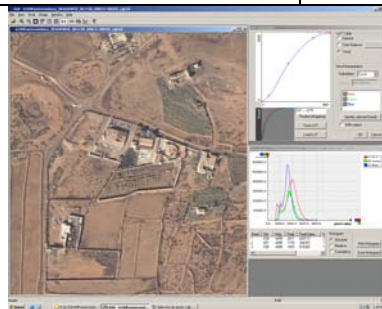
Antes de procesar todas las imágenes del vuelo, se comprueba que la paleta generada cumple con las especificaciones marcadas en el pliego de prescripciones técnicas. Para ello, se procesan las imágenes seleccionadas anteriormente (aplicando en este caso las paletas generadas previamente) y una vez procesadas son sometidas a un control de calidad radiométrico, donde se analiza el histograma de cada imagen comprobando los niveles de saturación, niveles digitales sin representación en la imagen, valores medios del histograma, etc. En caso de cumplir con el control de calidad, se procede a procesar el resto de imágenes del vuelo. Si, por el contrario, alguna de las imágenes no cumple el control de calidad radiométrico, se procede a obtener una nueva paleta. Para asegurar una correcta generación de la paleta de colores éstas se obtienen siempre empleando el mismo monitor, el cual se calibra periódicamente y se mantiene en unas condiciones de luminosidad adecuadas.



Generación de una paleta de color en imagen IRG



Generación de una paleta de color en imagen Pancromática



de color en

Generación de una paleta imagen RGB

Una vez procesadas todas las imágenes éstas son sometidas a un exhaustivo control de calidad radiométrico para comprobar los niveles de saturación, rango dinámico de las

imágenes y niveles medios del histograma mediante el software PC-Grid desarrollado para tal fin por Stereocarto. Mediante este software se obtiene una base de datos con información de cada imagen que es analizada por el jefe de proyecto, quien en caso de conformidad dará el visto bueno a los trabajos realizados y, en caso de encontrar disconformidades, solicitará al departamento de producción la corrección de las mismas.

Anejo 2. Cálculo de los parámetros de orientación externa de las imágenes digitales por orientación directa

I. INTRODUCCIÓN.

La tecnología de georreferenciación directa INS/GPSD surge como alternativa a las técnicas tradicionales de orientación en el campo de los sensores aerotransportados.

La aplicación de esta técnica permitirá reducir la fase de apoyo de campo y agilizar el proceso de Triangulación Aérea en un grado aún mayor que la técnica de apoyo aéreo cinemático por GPSD.

En un plazo de tiempo más amplio se pretende conseguir la eliminación de estas fases del proceso productivo consiguiendo la georreferenciación del sensor directamente en vuelo cuando problemas técnicos como la calibración de señalamiento y densificación de la red de estaciones terrestre GPS se haya resuelto.

Gracias a esta nueva técnica de orientación se puede lograr la georreferenciación directa de todo tipo de sensores aerotransportados como son: sistemas Lidar, Radar de Apertura Sintética (SAR), cámaras fotogramétricas analógicas y digitales.

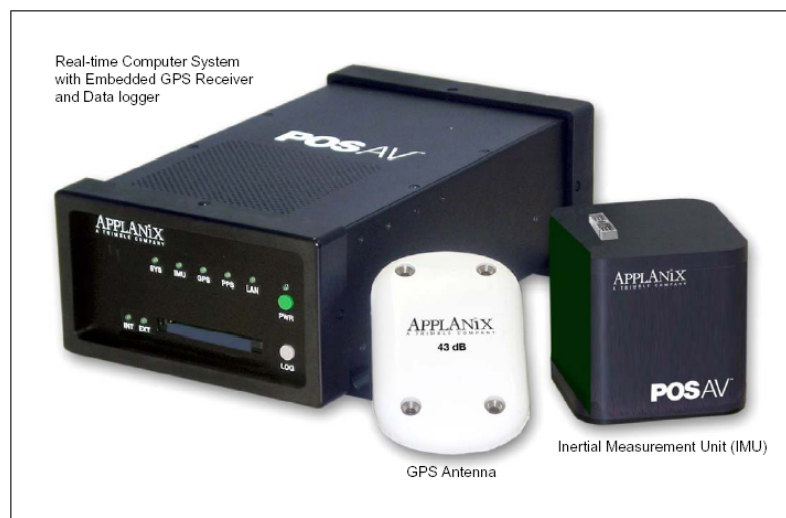
El objetivo primordial de este informe es definir el proceso de cálculo seguido y los elementos que intervienen en la obtención de los parámetros de orientación externa de cada fotograma.

II. COMPONENTES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE CÁLCULO.

Los elementos que intervienen en la obtención de los parámetros de orientación externa son los siguientes:

II.1. Sistema INS/GPS

Compuesto por una Unidad de Medida inercial, que consta de acelerómetros y giróscopos para registrar las aceleraciones y las relaciones angulares que se producen en vuelo debido a los movimientos del avión. Además, lleva incorporado una unidad de procesos en la que va inmerso el receptor GPS modelo Novatel junto con una unidad de almacenamiento de datos y componentes electrónicos que constituyen el hardware de proceso en tiempo real. Y finalmente, antena bifrecuencia situada en la parte superior del fuselaje del avión. La distancia de la antena GPS al centro de proyección de la cámara es de 1.22 m.



II.2. Estaciones de referencia terrestre

Se ha utilizado como receptor GPS fijo el vértice REGENTE Alboluncas (101481)



Centro de Observaciones Geodésicas

Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica

Reseña Vértice Geodésico 5-sep-2009

Número.....: 101481
Nombre.....: Alboluncas
Municipio...: Vera
Provincia...: Almería
Fecha de Construcción.....: 10 de octubre de 1988
Pilar con centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 0,20 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 0,20 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 1° 54' 22,68670"	- 1° 54' 27,10115"
Latitud.....:	37° 11' 19,32050"	37° 11' 14,81617"
Altitud.....:		199,738 m (CF)
Compensación.:	01 de diciembre de 1991	01 de enero de 2005

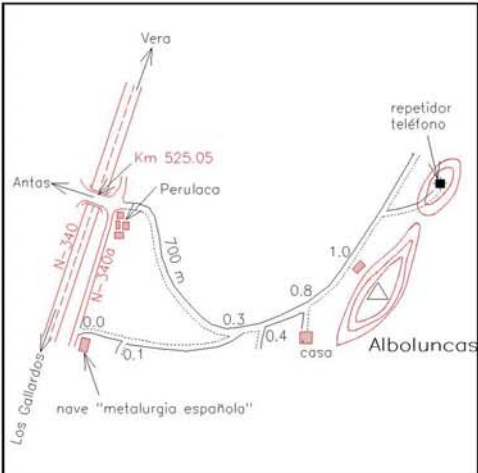
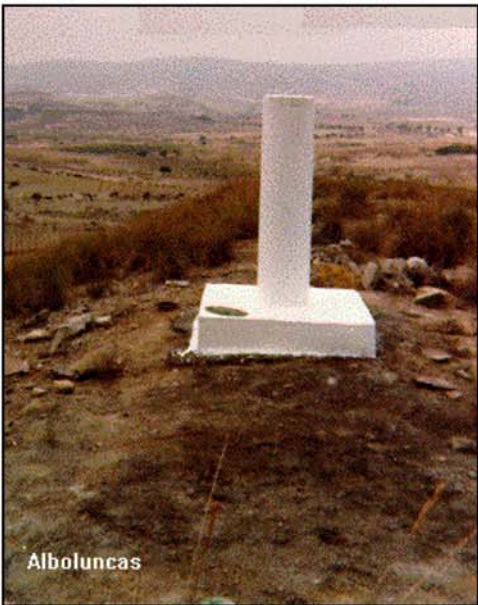
Coordenadas UTM. Huso 30 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	597077,880 m	596966,316 m
Y.....:	4116433,250 m	4116225,812 m
Factor escala.....:	0,999716082	0,999715823
Convergencia....:	0° 39' 40,06340"	0° 39' 37,33000"
Altitud sobre el nivel medio del mar:		148,500 m. (BP)

Situación:
 Situado en lo más elevado de la loma de Alboluncas, a unos 80 m. al S.E. del cortijo Los Pachucho (abandonado), en terreno de erial y junto a la línea de término con Torre.

Acceso:
 En el pk 525.050 de la autovía E-15 (N-340), se toma la salida a Antas encontrándose en el margen este de ésta salida, la cortijada de la Perulaca, y la N-340a que hace de vía de servicio; se toma ésta en dirección sur y a 400m tomamos a la izquierda por una pista junto a una nave que tiene rotulado "metalurgia cerdañola", a los 300m nos cruzamos con el camino particular de la Perulaca y 800 m más adelante llegamos al pié del cerro, junto y al sur de otro de la misma altura con un repetidor de teléfonos. Se sube a pié pasando junto a una casa, en 5 minutos.

Horizonte GPS:
 Despejado



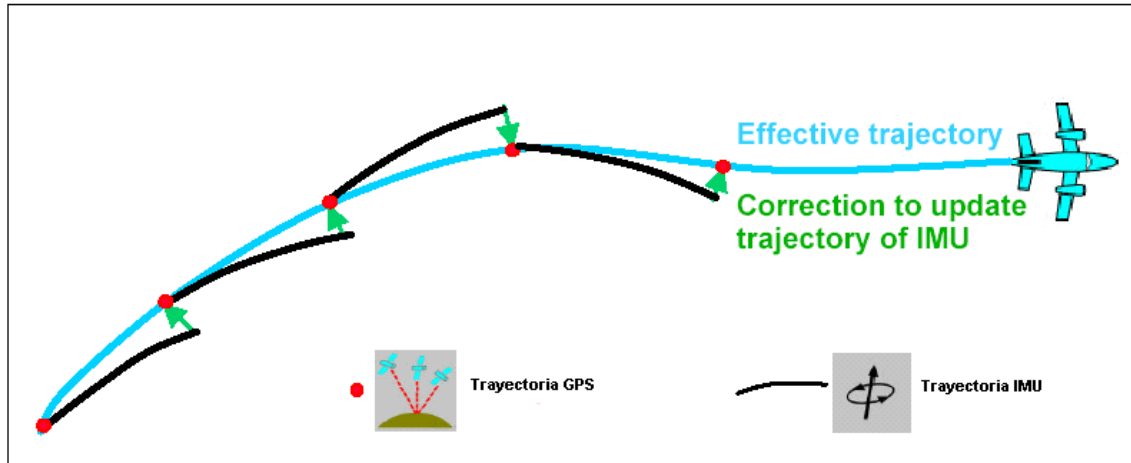
Observaciones:
 REGENTE.
 Vértice observado con GPS.

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.

III. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.

A continuación se describe de forma esquemática y resumida el procedimiento seguido para la obtención de los parámetros de orientación externa de las fotografías por orientación directa.

1. Obtención del fichero de observaciones de la estación de referencia GPS junto con el fichero de efemérides de los satélites
2. Extracción y chequeo de los datos registrados por la unidad de medida inercial, siendo estos datos relaciones angulares, aceleraciones lineales y observaciones GPS.
3. Conversión de los datos obtenidos en la fase anterior a un formato legible por el software de proceso y se realiza una nueva comprobación de los datos registrados por la IMU y ambos receptores GPS.
4. Obtención de la trayectoria GPS en sentido directo e inverso. A partir de los datos GPS del receptor móvil y el receptor terrestre se ha obtenido una trayectoria GPS en postproceso con registro de coordenadas cada segundo. Se consideran dos trayectorias, una en sentido directo desde que el avión despegue realiza la toma fotográfica y vuelve al aeropuerto; y otra en sentido inverso, aterriza, realiza la toma fotográfica y despegue. Se tomará como trayectoria simple final la combinación de ambas.
5. Obtención de la trayectoria final suavizada. Para ello se compara la trayectoria generada mediante GPS diferencial por combinación de los dos receptores, móvil y terrestre y a un segundo de secuencia temporal con la trayectoria generada por las observaciones tomadas por la IMU de relaciones angulares y aceleraciones lineales con 0.005 segundos de secuencia de registro. La primera trayectoria quedará marcada por tres coordenadas en el espacio, mientras que esta última quedará definida por tres coordenadas en el espacio más tres valores angulares. De tal comparación, resultará una trayectoria final suavizada definida por 6 grados de libertad en la que se conserva la precisión absoluta de la técnica de GPS diferencial y la precisión relativa proporcionada por los giróscopos y acelerómetros.
6. Interpolación en la trayectoria suavizada de las marcas de tiempo registradas por cada toma fotográfica en cada instante de tiempo. Debido a que la frecuencia de registro de la IMU es mucho mayor que la del GPS, la trayectoria final del vuelo quedará definida por tres coordenadas y tres ángulos cada 0.005 segundos siendo el proceso de interpolación mucho más preciso y fiable.



IV. PRECISIÓN DEL CÁLCULO.

A continuación, se muestra una tabla que recoge las precisiones interpretadas como error medio cuadrático máximo para las coordenadas de los centros de proyección y la separación máxima existente entre la trayectoria directa e inversa, para los mismos focos.

PRECISIONES	E (m)	N (m)	Z (m)	PPM (m)
<i>RMS (m)</i>	0.02	0.03	0.05	0.12
<i>Separación trayectorias</i>	0.15	0.1	0.15	

En cuanto a la precisión obtenida en los ángulos de orientación se puede decir que es independiente del proceso de cálculo GPS y que únicamente dependen de los errores propios de los acelerómetros y giróscopos montados en la unidad inercial. Dichas precisiones son las siguientes:

PRECISIONES	ω	ϕ	κ
<i>RMS (grad)</i>	0.0090	0.0090	0.0170