

INTERCALIBRACIÓN DE SENSORES AISA Y CASI

F.Pérez Aragües⁽¹⁾, A.Tardà⁽¹⁾, R.Alamús⁽¹⁾, G.Moré⁽²⁾, C.Cea⁽³⁾, V.Palà⁽¹⁾, J.Corbera⁽¹⁾, X.Pons⁽³⁾

⁽¹⁾Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), Parc de Montjuïc s/n, 08038 Barcelona, fernando.perez@icc.cat

⁽²⁾Grumets research group, CREA, 08193 Cerdanyola del Vallès

⁽³⁾Grumets research group, Departament Geografia, Edifici B, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra

RESUMEN

En el marco del proceso de evaluación y aceptación del sensor aeroportado AISA EAGLE II por parte del ICC, se ha realizado un estudio de validación cruzada con imágenes simultáneas CASI-550 y medidas de espectrorradiómetro de campo en cubiertas naturales y artificiales, aportadas por el grupo de investigación Grumets, sobre la zona de Banyoles (Girona). Las imágenes fueron sometidas a corrección radiométrica (*software* del fabricante), geométrica y atmosférica (*software* propio) mientras que las medidas del radiómetro de campo fueron transformadas a reflectividad. En este artículo se presentan los resultados del procesado radiométrico, geométrico y atmosférico de ambos sensores, así como las primeras comparaciones con las medidas de campo.

Palabras clave: sensor hiperespectral, AISA, CASI, espectrorradiómetro de campo, firma espectral.

ABSTRACT

In the framework of AISA EAGLE II airborne sensor assessment and acceptance by ICC, a cross-validation with simultaneous CASI-550 images and field spectroradiometer measurements, provided by Grumets research group, over natural and artificial targets in Banyoles (Girona) area has been performed. Radiometric (provider software), geometric and atmospheric corrections (ICC own software) were the basic image processing steps required. Radiometer measurements were converted to reflectance. This paper presents the results of radiometric, geometric and atmospheric processing for both sensors and the first comparisons to field measurements.

Keywords: hyperspectral sensor, AISA, CASI, field spectroradiometer, spectral signature.

1. SENSORES AEROPORTADOS

Tanto el sensor CASI-550, fabricado por la empresa canadiense ITRES, como el sensor AISA EAGLE II, de la firma finlandesa SPECIM, son sensores aeroportados que operan en la región espectral VNIR (Visible e infrarrojo próximo). En la figura 1 pueden verse ambos sensores instalados en un avión del ICC.

Ambos son sensores hiperespectrales de tipo *pushbroom* (de escaneo por líneas), basados en un dispositivo CCD bidimensional, con una dimensión espacial (columnas del CCD) y otra espectral (filas del CCD). Los dos instrumentos permiten seleccionar bandas específicas dentro de su rango espectral de operación.

La resolución espacial de las imágenes que se capturan depende, en su eje transversal a la línea de navegación, de la altura de vuelo y la focal del sensor. En cuanto al tamaño del píxel en el sentido de la dirección de vuelo, está en función de la velocidad del avión sobre el terreno y de la frecuencia de muestreo (*frame rate*). A menudo se buscan unos parámetros de altura de vuelo, velocidad y *frame rate* que proporcionen un tamaño parecido en ambos ejes para obtener un píxel cuadrado. Típicamente, se obtienen muestreos sobre el suelo desde 0.2 m hasta 10 m con los aviones utilizados por el ICC.

Estos sensores deben calibrarse periódicamente en laboratorio con objeto de establecer con exactitud su rango espectral, conocer y homogeneizar las pequeñas deficiencias de uniformidad entre los elementos que forman el CCD y convertir los DN en radiancias espectrales, en este caso en unidades $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$.

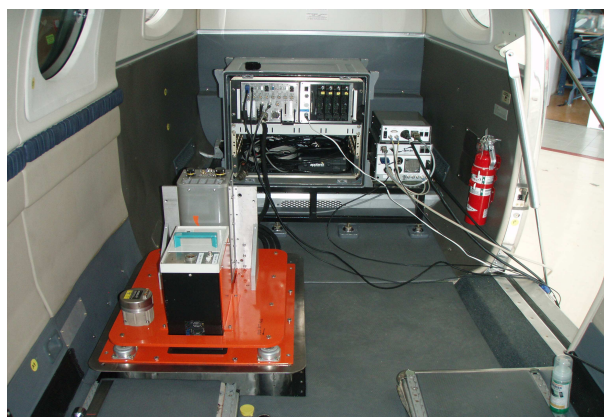


Figura 1. Sensores CASI-550 y AISA EAGLE II en la aeronave Cessna Caravan B208 del ICC

Así, se procede a una corrección radiométrica para cada imagen adquirida, que utiliza los resultados de la calibración en laboratorio y medidas simultáneas a la obtención de cada línea de barrido.

La tabla 1 compara las características más relevantes de estos sensores desde el punto de vista de su impacto en la imagen adquirida. Pueden apreciarse las diferencias de resolución espacial, espectral y radiométrica de ambos sensores.

Características de los sensores AISA y CASI		
	AISA Eagle II	CASI 550
Rango espectral (nm)	406.3-993.8	409.5-961.7
Resolución espectral	2.3 nm	1.9 nm
FOV	37.7°	40.4°
Máximo número de bandas	256	288
Detectores espaciales en CCD	1024	550
Rango dinámico	12 bits	14 bits
Uso de diafragma	NO	SÍ

Tabla 1. Características AISA-EAGLE II y CASI-550

Para poder georreferenciar las imágenes registradas por un sensor aeroportado es necesario determinar la posición y la actitud del mismo en el momento de toma de los datos. Para cada sensor se dispone de un sistema de orientación directo Applanix que consta de un receptor GPS y una Unidad de Medida Inercial (IMU), que proporcionan la trayectoria completa (posición y actitud) y proveen de la sincronización entre los sensores hiperespectrales y el tiempo GPS.

2. RADIOMETRÍA DE CAMPO

El radiómetro usado para el trabajo de campo fue un OceanOptics USB2000+, que cubre el rango espectral 200-1100 nm, con un ancho de banda medio de 0.34 nm. Como blanco de referencia se utilizó una plancha de PTFE puro de 30x30 cm y 2 cm de espesor.

Aunque el radiómetro ofrece diversas opciones de captación de datos, se optó por trabajar en modo bruto (*raw*) y posteriormente se calculó la reflectividad de la muestra a partir del valor de la misma y de la medición del blanco de referencia y del ruido.

Cada muestra obtenida es el resultado de calcular el promedio de 5 medidas. No se ha aplicado por defecto ningún filtro en los datos.

El protocolo seguido durante las mediciones incluye diversos pasos para obtener una señal óptima en todas las cubiertas:

- Los tiempos de integración del sensor optimizan la relación señal-ruido en las regiones espectrales de 300-760, 760-930 y 930-1025 nm. Para cada muestra se realizaron tres medidas distintas, una para cada una de las tres regiones mencionadas.
- En una muestra y región espectral concreta, los tiempos de integración para el blanco de referencia y la muestra son distintos. Durante el procesamiento de los datos, se realiza una estimación del número de fotones que se detectarían en el blanco de referencia

si se hubiese usado el tiempo de integración de la muestra, asumiendo que existe una relación directamente proporcional entre el tiempo de integración y el número de electrones recibidos.

- El blanco de referencia y el ruido se miden en cada una de las muestras y regiones espectrales.

3. CAMPAÑA DE ADQUISICION DE DATOS

El día 15 de marzo de 2012 se tomaron imágenes simultáneas AISA y CASI sobre la población de Banyoles y sus alrededores. Ambos sensores se embarcaron en el avión Cessna Caravan B208 del ICC que sobrevoló la zona entre las 13:15 y las 14:45 horas (hora civil) tomando 14 imágenes simultáneas para cada sensor. El plan de vuelo fue diseñado para tomar datos a dos alturas. En la tabla 2 se describen la altura y velocidad del vuelo y las resoluciones de las imágenes.

Características de las imágenes de Banyoles		
Vuelo: Altura 279 ms nm y velocidad 60/ms		
Pasadas 1 a la 9	AISA Eagle II	CASI 550
Resolución espacial	20 x 40 cm	50 x 50 cm
Resolución espectral	63 bandas	16 bandas
Vuelo: Altura 2092 ms nm y velocidad 62m/s		
Pasadas 10 a la 14	AISA Eagle II	CASI 550
Resolución espacial	1.5 x 1.5 m	3 x 3 m
Resolución espectral	260 bandas	144 bandas

Tabla 2. Resolución de las imágenes según las características del vuelo y el sensor

De forma aproximadamente simultánea al vuelo, técnicos de la UAB y el CREAM tomaron medidas espectrorradiométricas sobre dianas desplegadas para la ocasión (lonas de diferentes colores) y sobre cubiertas naturales (hierba, suelo desnudo) y artificiales (asfalto, pistas deportivas sintéticas).

La tabla 3 muestra las cubiertas medidas y el número de muestras por cubierta.

Cubierta medida	horario	muestras
Asfalto (aparcamiento)	12:20-12:35	11
Pavimento (campo f. sala)	12:43-13:00	11
Lonas (campo de fútbol)	13:09-13:57	4 x 5
Tierra (campo de fútbol)	13:19-13:46	4
Agua (lago)	15:25-15:49	4
Vegetación (parque)	16:27-16:45	11

Tabla 3: Cubiertas medidas con radiometría de campo

Cabe destacar que por motivos logísticos las medidas en el parque fueron tomadas considerablemente después del vuelo, cuando la inclinación solar era ya sensiblemente diferente a la del momento de captura.

La figura 2 muestra la ubicación de las lonas observadas en una combinación de color natural para ambos tipos de imágenes donde se aprecia la mejor resolución espacial de la imagen AISA.



Figura 2: Imágenes AISA y CASI de las lonas

4. VALIDACIÓN GEOMÉTRICA

El ICC ha desarrollado *software* propio que modela la adquisición del sensor CASI y procedimientos de calibración de la matriz de desalineamiento (*boresight*) entre el sistema de orientación directo y el sensor de imagen (Alamús & Talaya, 2000).

El modelo geométrico implementado, que contempla las características del sensor CASI y la relación entre la trayectoria y el terreno, ha sido ampliado para incluir el proceso y orientación de imágenes del sensor AISA.

Se ha comprobado que los procedimientos de calibración de *boresight* establecidos para el CASI son igualmente válidos en el caso del sensor AISA.

4.1. Calibración geométrica del sensor

Los informes de calibración de los fabricantes incluyen parámetros ópticos de los sensores. En el caso del CASI estos se reducen a la posición del punto principal y la distancia focal, mientras que en el caso del sensor AISA EAGLE II se proporcionan focal, punto principal y distorsiones ópticas calibradas. Estos parámetros han demostrado ser más estables que los proporcionados para el CASI, que requieren autocalibración (recálculo de los valores obtenidos en laboratorio) para obtener el mejor resultado posible en la georreferenciación de las imágenes.

4.2. Calibración de *boresight* y orientación

La determinación de la matriz de *boresight* se ha realizado en un ajuste de haces usando el modelo desarrollado en el ICC e implementado en el GeoTeX/ACX (Colomina et al., 1992).

Para ello se identifican puntos de apoyo y puntos de enlace en una pasada que ha sido volada dos veces en sentidos opuestos. En el ajuste de haces se determina la matriz de *boresight* que se aplica a la trayectoria para obtener la orientación externa de todas las imágenes del vuelo.

Las respectivas trayectorias se han derivado de los sistemas de orientación de cada sensor hiperespectral, hecho que permite evaluar el rendimiento y eficacia independiente de ambos sistemas.

5. VALIDACIÓN RADIOMÉTRICA

En primer lugar se corrigieron radiométricamente las imágenes hiperespectrales a partir de los parámetros de calibración de laboratorio de cada sensor mediante las aplicaciones proporcionadas por los propios fabricantes.

5.1. Validación en laboratorio

Antes de llevar a cabo el vuelo se verificó en laboratorio tanto la calibración espectral de los instrumentos como su respuesta radiométrica.

Para la verificación espectral se utilizaron lámparas de descarga de diferentes gases (hidrógeno, helio, oxígeno y mercurio) que poseen líneas espectrales bien definidas en zonas adecuadas del espectro VNIR. En las imágenes capturadas en laboratorio se verificó que las longitudes de onda corresponden realmente a las líneas de emisión de cada gas, de acuerdo a la resolución espectral de cada instrumento.

Para la verificación radiométrica se utilizó una esfera integradora que se mantiene calibrada a través del Laboratorio Nacional de Física de Gran Bretaña. Se tomó una imagen del puerto de salida de la esfera y se comparó la radiancia espectral medida con la emisión certificada por el organismo calibrador.

5.2. Corrección atmosférica

Debido a las diferentes prestaciones de ambos instrumentos, resulta difícil comparar sus respuestas a nivel de radiancia ya que, para una misma altura de vuelo, las resoluciones espaciales y configuraciones espectrales óptimas de ambos son diferentes. Aun cuando eso sea posible en ciertos casos, para comparar con las medidas en tierra es necesario pasar las imágenes por una etapa de corrección atmosférica. En nuestro instituto se utiliza un *software* propio basado en la versión escalar de 6S (Vermote et al. 1997). De acuerdo al día, hora, zona de vuelo y estado de la atmósfera se ha optado por un modelo continental afinado según los valores de P, T y H medidos en superficie en la cercana estación meteorológica de Banyoles. Se ha escogido un modelo rural de aerosoles con una visibilidad de 40 km. Las reflectividades espectrales así obtenidas en ambos instrumentos se comparan con las medidas del espectrorradiómetro de campo sobre las dianas antes mencionadas.

6. RESULTADOS

Algunos resultados radiométricos se presentan en la figura 3, donde se muestran las mediciones del espectrorradiómetro para la lona roja y para ambos

instrumentos - y en la figura 4, que presenta las mediciones de CASI y AISA en una misma zona de vegetación natural.

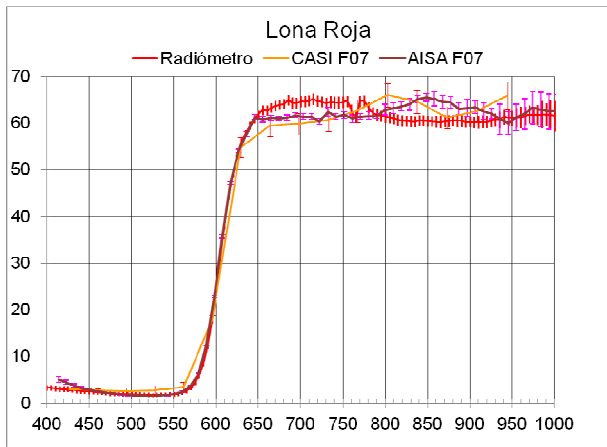


Figura 3. Reflectividad de la lona roja según AISA y CASI (pasada 7) y el espectrorradiómetro de campo.

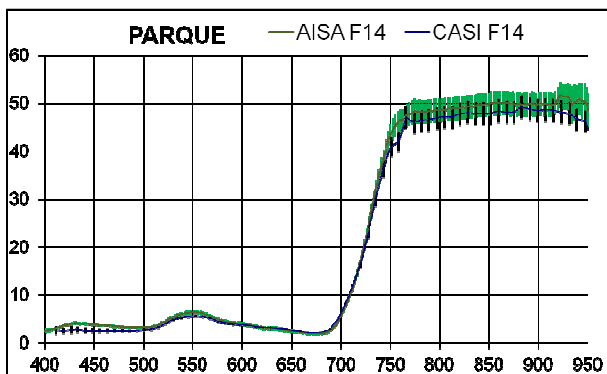


Figura 4. Reflectividad de vegetación natural medida con los sensores AISA y CASI (pasada 14).

La precisión geométrica de la orientación se ha evaluado con puntos bien definidos sobre el suelo en las ortoimágenes generadas. Las coordenadas de los puntos de control se han extraído de la ortoimagen a escala 1:2500 de Catalunya del ICC. En la tabla 4 se resumen estos resultados.

H [ft]	Sensor	No. Check points	GSD captura [m]		RMS [m]	RMS [pix]
1243	Aisa	30	0.20	X	0.13	0.66
				Y	0.29	0.73
1243	CASI	28	0.50	X	0.40	0.81
				Y	0.54	1.08
7191	Aisa	10	1.25	X	0.69	0.57
				Y	0.55	0.46
7191	CASI	10	3.00	X	1.46	0.49
				Y	2.46	0.82

Tabla 4.- Precisiones geométricas.

Con ambos sensores se obtienen productos de precisión comparable, con un RMS entre 0.5 y 0.8 píxeles, aunque son ligeramente mejores los resultados para

AISA. Nótese la asimetría en los errores debido a que los píxeles no son cuadrados en la adquisición. También se ha observado que la calibración geométrica del sensor AISA tiene un comportamiento más estable en tiempo y altura de vuelo, mientras que para obtener un mayor rendimiento del sensor CASI es conveniente auto-calibrar algunos parámetros del sensor que podrían depender de configuraciones de la apertura de la óptica (configurable en el caso del CASI y fija en el caso del AISA).

7. CONCLUSIONES

AISA EAGLE II aporta, respecto de CASI-550, mejor resolución espacial para una misma altura de vuelo, ya que para un FOV similar dispone aproximadamente del doble de píxeles. También permite la captura de un mayor número de bandas espectrales para un tamaño de píxel dado y ofrece mayor estabilidad en la calibración geométrica.

Por otro lado, la resolución radiométrica es superior en el CASI, al cuantificar cada DN con 14 bits, así como también lo es la exactitud radiométrica, que sigue un proceso de calibración más estricto. Adicionalmente, el uso de diversas aperturas (diafragmas) facilita el diseño de configuraciones que eviten saturaciones, aunque complica la calibración geométrica y radiométrica. También valoramos positivamente el *software* de configuración para CASI, que en su versión actual es más amigable y ofrece mayores prestaciones.

Además, la incorporación de datos obtenidos con espectrorradiometría de campo a la validación de las mediciones obtenidas con los sensores AISA y CASI para una misma zona, permite avalar de forma más robusta los resultados obtenidos.

El análisis del comportamiento radiométrico y geométrico muestra que ambos instrumentos son perfectamente útiles para la mayoría de trabajos en el ámbito hiperespectral en el VNIR y perfectamente operativos para el ICC.

8. BIBLOGRAFÍA

- ALAMÚS,R., TALAYA,J. 2000. *Airborne sensor integration and direct orientation of the CASI system*. ISPRS, vol. XXXIII. Amsterdam, 2000.
- COLOMINA,I., NAVARRO,J., TÉRMENS.A., 1992. *GeoTeX: a general point determination system*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.29, Comm.III, PP. 656-664.

VERMOTE, EF., TANRE, D., DEUZE, J.L.HERMAN, M. and MORCLETTE, J.J.1997. *Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum: An overview*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 35:675-686.