

Comportamiento geométrico y radiométrico del sensor AHS durante la campaña multitemporal CEFLES2

Geometric and radiometric performance of the AHS sensor along CEFLES2 multi-temporal campaign

M. Jiménez¹, J. A. Gómez¹, A. Fernández-Renau¹, J. A. Holguín²,
E. de Miguel¹, O. Gutiérrez de la Cámara¹ y E. Prado¹
jimenezmm@inta.es

¹ Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Ctra. Ajalvir, s/n.
28850 Torrejón de Ardoz. Madrid

² GEOSYS. Sector Foresta, 23, locales 7 y 8. 28760 Tres Cantos. Madrid

Recibido el 03 de marzo de 2010, aceptado el 17 de mayo de 2010

RESUMEN

La Agencia Espacial Europea (ESA) promueve campañas de medidas sobre el terreno y con imágenes de sensores aeroportados para proyectos de calibración, validación o simulación de misiones de observación de la Tierra. CEFLES2 (CarboEurope, Flex and Sentinel-2) es un proyecto de la ESA que agrupa tres campañas llevadas a cabo durante 2007 sobre zonas urbanas, rurales, forestales, y de montaña en Francia y España. El Área de Teledetección del INTA participó con su sensor aeroportado AHS adquiriendo imágenes en todas las fechas y zonas. Además, la plataforma del INTA fue utilizada para la instalación de un segundo sensor aeroportado, HYPER SIM.GA, un prototipo de radiómetro pushbroom VNIR (512 bandas) + SWIR (256 bandas) de la empresa italiana Galileo Avionica. Los datos AHS fueron procesados en las instalaciones del INTA para ofrecer a los diferentes grupos participantes en el proyecto datos calibrados geográficamente, radiométricamente y espectralmente. En un proyecto de este tipo, con datos hiperespectrales multitemporales y adquiridos sobre objetivos diferentes, la estimación de la calidad geométrica, radiométrica y espectral es crítica. Procedimientos de la calidad estimación geométrica y radiométrica se aplicaron a todas las imágenes y se indicaron

ABSTRACT

The European Space Agency (ESA) coordinates a number of ground-based and airborne campaigns to support calibration/validation and the simulation of future spaceborne earth observations missions. CEFLES2 (CarboEurope, Flex and Sentinel-2) is an ESA project carried out with three different campaigns along 2007 over several urban, agricultural and forested landscapes in France and Spain. INTA Remote Sensing Laboratory participates with the 80-band airborne line-scanner radiometer AHS (Airborne Hyperspectral Scanner) installed in a CASA C-212 aircraft and complemented with an INS/GPS module to gather accurate positioning and attitude measurements. Also the INTA platform was used to install and acquire with the Galileo Avionica HYPER SIM.GA hyperspectral sensor. The AHS data were processed at INTA premises in Madrid, through an ad-hoc processing chain generating radiometric calibration, geometric and atmospherically corrected products. For a multi-date and multi-landscape project where hyperspectral imagery was acquired over the same flat and hilly areas with different target characteristics, solar illumination, and atmospheric conditions, the reliability and stability of all image products distributed are fundamental. Radiometric and geometric quality checks were applied to AHS

en los ficheros XML de metadatos adjuntados.

PALABRAS CLAVE: teledetección hiperespectral aeroportada, AHS, ESA, CEFLES2, Sentinel-2.

data and indicated in an appended XML metadata file appended.

KEY WORDS: airborne remote sensing, AHS, ESA, CEFLES2, Sentinel-2.

INTRODUCCIÓN

La teledetección hiperespectral aeroportada es la técnica de teledetección idónea para la simulación, calibración y validación de misiones espaciales de observación de la Tierra. CEFLES2 (CarboEurope, Flex and Sentinel-2) es un proyecto de la Agencia Espacial Europea (ESA) que agrupa tres campañas aeroportadas y de campo llevadas a cabo durante 2007 sobre zonas urbanas, rurales, forestales, y de montaña de Francia y España. El objetivo de dichas campañas es la simulación de los datos y productos de la futura misión de GMES Sentinel-2 y la entonces candidata Earth Explorer FLEX (Fluorescente Explorer).

El Área de Teledetección del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) participó en el proyecto CEFLES2 mediante la adquisición y proceso de las campañas hiperespectrales aeroportadas con el sensor AHS (Airborne Hyperspectral Scanner) y el sensor HYPER SIM.GA propiedad y operado por la empresa italiana Galileo Avionica.

Los requisitos para la exactitud geométrica y radiométrica de las imágenes hiperespectrales aeroportadas adquiridas para el proyecto CEFLES2, y en general para proyectos de carácter multitemporal, son muy exigentes. Las imágenes del sensor AHS son calibradas radiométricamente mediante coeficiente de calibración obtenidos en laboratorio y campañas de calibración en vuelo, las imágenes de cada proyecto son posteriormente evaluadas en calidad para cumplir los requisitos exigidos. En el caso de la validación radiométrica de las imágenes del proyecto CEFLES2 se ha realizado utilizando los datos espectrales en el espectro solar y térmico de las campañas de campo realizadas por los grupos de campo de CEFLES2, coordinados por la Universidad de Valencia.

VUELOS HIPERESPECTRALES Y DATOS DE CAMPO

Para cumplir los múltiples objetivos de la campaña CEFLES2, la ESA seleccionó varias zonas forestales, agrícolas, montañosas y urbanas en el sur de Francia y España, planificando adquisiciones de datos aeroportados y de campo en tres fechas distintas a largo del año 2007. Estas fechas se localizaron en el principio, mitad y final del ciclo vegetativo de los cultivos de regadío de las zonas seleccionadas.

Datos hiperespectrales

El sistema hiperespectral aeroportado INTA-AHS esta formado por: la plataforma aérea CASA-212, el sensor hiperespectral aeroportado AHS (Tabla 1), equipos de calibración de laboratorio, sensores de posicionamiento en vuelo GPS/INS, la cadena de proceso y metadatos y equipos de campo (1). En la plataforma del INTA también se instaló el sensor hiperespectral aeroportado HYPER SIM.GA, un prototipo de radiómetro pushbroom VNIR (512 bandas) + SWIR (256 bandas) de la empresa italiana Galileo Avionica (2).

Un total de 47 pasadas fueron realizadas a 983 m y 2.751 m de altura sobre el terreno. En cada pasada se adquirirían simultáneamente imágenes con los sensores AHS y HYPER, en el caso del AHS estas dos alturas se corresponden con 2,4 m y 6,9 m de tamaño de píxel respectivamente.

Datos de campo

Las campañas de campo realizadas durante las tres misiones de CEFLES2, consistieron en una toma de datos sobre los cultivos de las zonas seleccionadas: parámetros estructurales (ej. Índi-

Adquisición de imágenes	whisk-broom linescanning
Cobertura espectral	80 bandas: Visible Near Infrared (VNIR) + Shortwave Infrared (SWIR) + MidInfrared (MWIR) + LongwaveInfrared (LWIR)
FOV/IFOV	1.571 rad (90°)/2,5 mrad
Velocidades de barrido	12,5,18,75,25,31,25,25,35 rps 750 píxeles por línea (16% solapamiento lateral)
Resolución espacial	2,5 a 6,8 m @ 72 ms-1
Cobertura lateral	2.000 m a 5.500 m
Digitalización	12 bits

Tabla 1. Características Sensor Hiperespectral Aeroportado AHS.

ce de Área Foliar, altura de dosel), caracterización bioquímica (ej. Contenido en hoja de clorofila y agua), funcionamiento fisiológico (ej. Fluorescencia, intercambio de gases).

En estas campañas se adquirieron también medidas específicas para la calibración y validación de las imágenes hiperespectrales aeroportadas sobre áreas de cultivos vegetación y superficies naturales. Para la caracterización de la reflectancia de los distintos cultivos se utilizaron hasta cuatro espectro-radiómetros de campo ASD FieldSpec-FR (3), este espectro-radiómetro registra la radiación entre 350 y 2.500 nm mediante una fibra óptica de 25° de ángulo de visión (Field Of View, FOV), pero ajustable con ópticas añadidas. Para la caracterización de la respuesta radiométrica en la región térmica se utilizaron dos radiómetros térmicos multispectrales de campo CIMEL 312 (4). El CIMEL 312-1 con 4 bandas y el CIMEL 312-2 con 6 bandas espectrales dentro de la ventana atmosférica de 8 a 14 micras.

PROCESO IMÁGENES AHS

Las imágenes del sensor hiperespectral aeroportado AHS fueron procesadas geométrica y radiométricamente mediante la cadena de proceso del Área de Teledetección del INTA, esta cadena realiza calibraciones, correcciones y metadatos de las imágenes para su posterior distribución.

La calibración a radiancia en el sensor de todos los canales dentro del espectro solar se realiza mediante los coeficientes de calibración obtenidos en laboratorio con una esfera integradora

(5). Para los canales térmicos se realiza mediante dos cuerpos negros, ajustables en temperatura, situados en el propio sensor que son observados en cada línea de imagen, se configuran a la temperatura mas baja y más altas esperadas para las superficies dentro de la cobertura de imagen. La corrección geométrica se realiza mediante el software de geocodificación paramétrica PARGE (6), incorporando para todas las imágenes la calibración geométrica realizada en una campaña de calibración geométrica realizada sobre lagunas de Tirez (Toledo) y el el Modelo Digital del Terreno. Para cada imagen PARGE requiere los datos del sistema de navegación inercial Applanix POSAV, que ha registrado las variaciones de posicionamiento y observación en cada línea de imagen ocasionadas por la plataforma aeroportada. La corrección atmosférica se realiza mediante la aplicación ATCOR4 (7) basada en el código de transferencia radiativa MODTRAN4 (8), esta aplicación incorpora la visibilidad y vapor de agua presente en la atmósfera mediante información externa o de la propia imagen del AHS.

Las imágenes AHS sobre terreno plano se procesaron y distribuyeron en producto L2b, que es la reflectancia y temperatura en el terreno georeferenciables con la función de geocodificación (igm por Input Geometry, ENVI) adjuntada. Para las imágenes sobre zona montañosa, con desniveles de 1.000 m, se procesaron y distribuyeron en producto L2c que es la reflectancia y temperatura en el terreno georeferenciada. Todas las imágenes y productos del AHS van acompañadas de ficheros XML de metadatos siguiendo el estándar ISO19115.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AHS

Procedimientos para la estimación de la calidad geométrica y radiométrica de las imágenes AHS se realizan en un paso previo a la distribución de las imágenes, estas estimaciones evalúan el funcionamiento del sensor a lo largo de la campaña y determinan si las imágenes obtienen los requisitos demandados.

Validación geométrica

Todas las imágenes AHS del proyecto CEFLES2 fueron georreferenciadas a la proyección UTM huso 30 WGS84. La corrección paramétrica de las imágenes aeroportadas aplica para cada línea de imagen sus parámetros independientes del resto, con lo que dentro de la misma imagen puede haber zonas con mejor exactitud que otras. Los métodos utilizados para estimar la exactitud de la corrección geométrica en imágenes aeroportadas, son tanto, los clásicos aplicados a las imágenes de satélite de «Puntos de Control», como algunos avanzados que tengan en cuenta toda la imagen.

Siguiendo el método clásico de «puntos de control», la comparación de una muestra de puntos tomados de la ortofoto (SIGPAC, GEOPOR-

TAIL) sobre una selección de imágenes de todas las zonas adquiridas muestran un RMSE por debajo de los 2 píxeles, tanto para las pasadas altas como bajas.

Para una estimación más exacta del funcionamiento geométrico del AHS a lo largo de una campaña multitemporal, se ha aplicado un método basado en la correlación entre imágenes adquiridas sobre una misma zona en fechas distintas. La Figura 1 muestra la superposición del canal AHS 15 de la pasada sobre Marmande (Francia) en tres fechas distintas, la sub-escena de zona urbana se observa un perfecta superposición y en la sub-escena de zona agrícola los colores son debidos a diferencias radiométricas del estado fenológico de los cultivos en las tres fechas consideradas. La correlación imagen a imagen estima que todas las imágenes han tenido un comportamiento muy similar entre ellas, siempre por debajo de los 2 píxeles. Es en las bordes de la imagen donde se produce este error siendo muy cercano al píxel en el nadir de la imagen.

Validación radiométrica

La calidad radiométrica de los canales del espectro solar y térmico se han analizado a nivel de calibración y de corrección atmosférica.

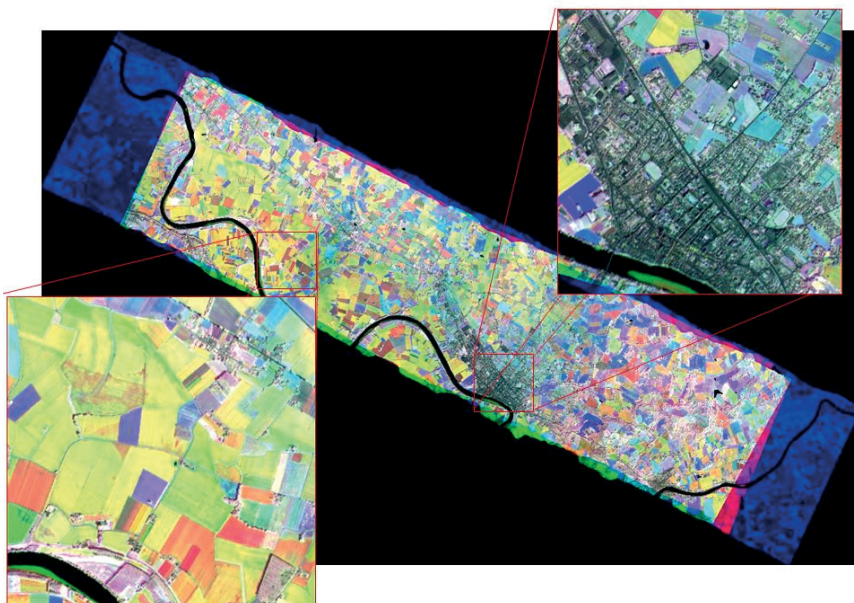


Figura 1. Imagen del canal AHS 15 multitemporal de las tres campañas CEFLES2.

Basándose en los dos cuerpos negros situado en el sensor y que son registrados al principio y final de cada línea de imagen, se calcula el ruido presente en todas las imágenes. La Figura 2 muestra los valores del incremento de radiancia equivalente al ruido (NEDL por Noise Equivalente Delta Radiance) y el incremento de temperatura equivalente al ruido (NEDT por Noise Equivalent Delta Temperatura) estimados mediante la desviación típica de la señal de los cuerpos negros a lo largo de la pasada. Las gráficas muestran en azul las pasadas bajas y en rojo las pasadas altas

Las reflectancias y temperatura en el terreno adquiridas por los grupos de campo de CE-

FLES2, se ha utilizado para la validación de las reflectancia y temperaturas de salida de la corrección atmosférica. Las temperaturas obtenidas con el sensor AHS después de la corrección atmosférica tienen un error de 1,3 K frente a los datos de campo, esta validación ha sido realizada por la Unidad de Cambio Global de la Universidad de Valencia. En el caso de las reflectancias del AHS, la Figura 3 muestra la comparación de la reflectancia AHS de una parcela de suelo desnudo frente a la obtenida por el espectro-radiómetro de campo ASD. La reflectancia del ASD ha sido previamente remuestreada a la resolución espectral del sensor AHS.

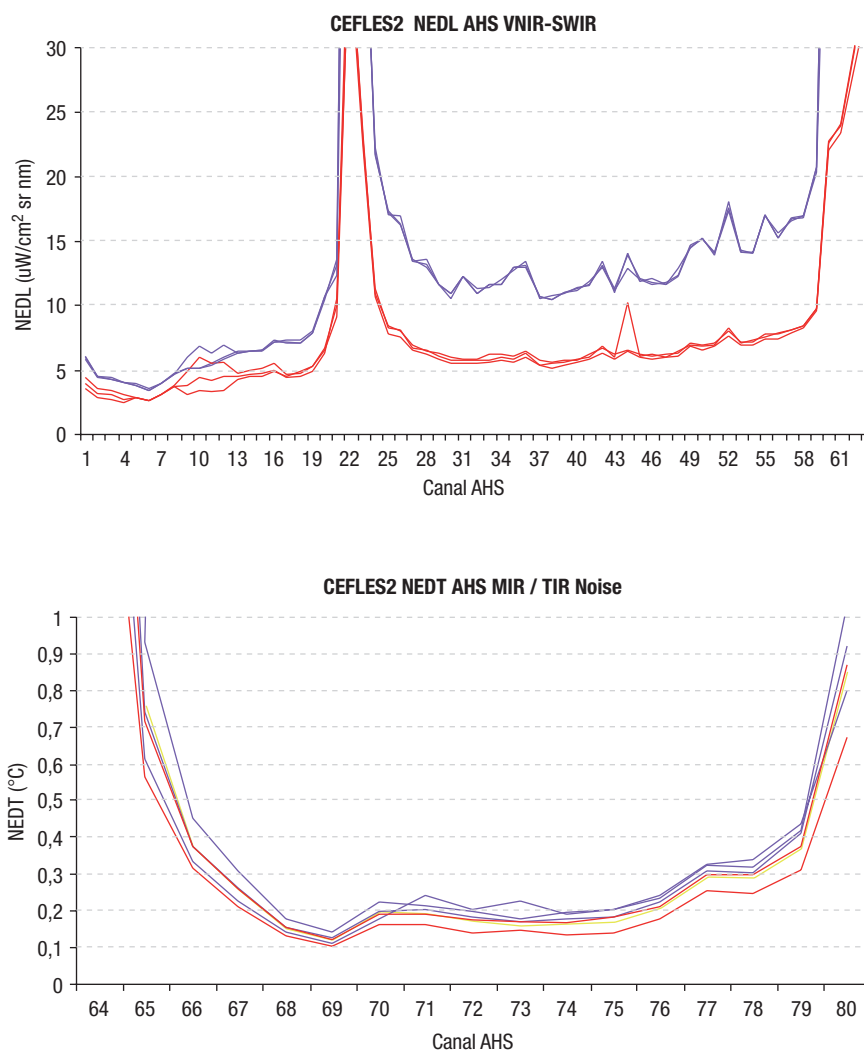


Figura 2. NEDL y NEDT de una muestra de imágenes AHS bajas (azul) y altas (rojas) en las tres misiones CEFLES2.

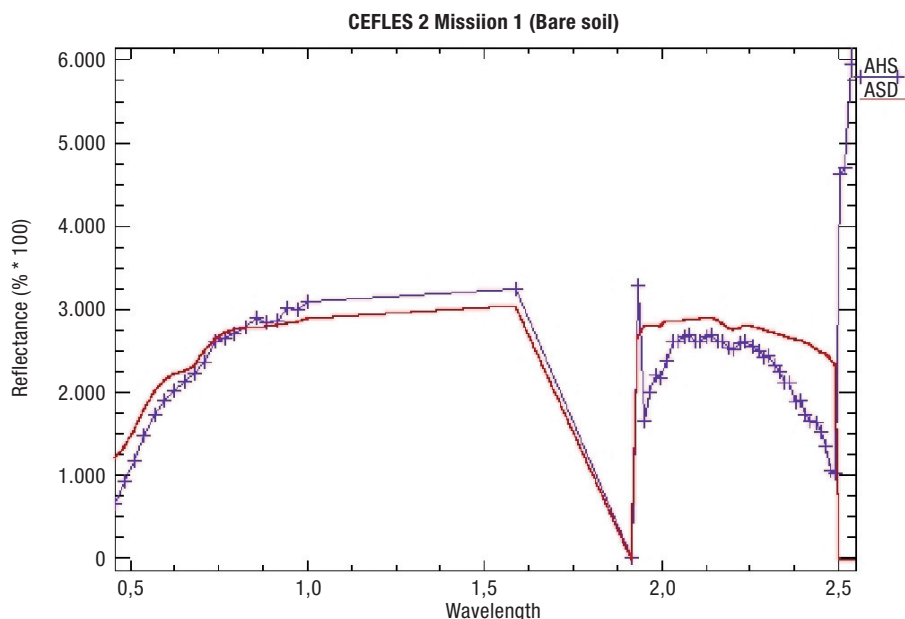


Figura 3. Comparación de la reflectancia obtenida por el AHS y el ASD en una parcela de suelo desnudo.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

En el marco del proyecto multitemporal de la ESA CEFLES2, un total de 47 pasadas del sensor hiperespectral aeroportado AHS fueron adquiridas y procesadas geométrica y radiométricamente. Un mes después de la realización de cada misión se entregaron los productos y metadatos de imagen.

El comportamiento geométrico del sensor AHS a lo largo de las tres misiones fue muy bueno alcanzando en todo momento los requisitos de exactitud geométrica en torno a 1 píxel y siempre por debajo de los 2 píxeles.

El comportamiento radiométrico se ajustó a los requisitos en términos de NEDL y NEDT y temperatura en el terreno. El error en reflectancia si supera el 5% para los primeros canales y partes finales del SWIR.

Las imágenes AHS están siendo parte del sistema de simulación de las imágenes y productos de la futura misión de GMES Sentinel-2.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto de la ESA: «Technical Assistance for Airborne/Ground Measurements in support of

Sentinel-2 mission during CEFLES2 Campaign». ESRIN/Contract N° 20801/07/I-LG

Al Departamento de Físicas y Unidad de Cambio Global de la Universidad de Valencia y en especial a José Moreno, Luís Alonso, José Sobrino y Juan Carlos Jiménez, por colaboración en la validación de los datos del sensor AHS.

REFERENCIAS

- FERNÁNDEZ-RENAU, A., GÓMEZ, J. A. & DE MIGUEL, E. 2005. The INTA AHS system. *Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites IX. Proceedings of the SPIE*, 5978: 471-478.
http://www.selexgalileo.com/EN/Common/files/Galileo_Avionica/Relazioni_Esterne/Scheda_Prodotto_2/Electro_Optics_2/SIM_GA.pdf
<http://www.asdi.com>
<http://www.cimel.fr>
<http://www.labsphere.com>
<http://www.rese.ch/PARGE>
<http://www.rese.ch/ATCOR4>
 BERK, A., ANDERSON, G. P., ACHARYA, P. K., HOKE, M. L., CHETWYND, J. H., BERNSTEIN, L. S., SHETTL, E. P., MATTHEW, M. W. & ADLERGOLDE, S. M. 2003. MOD-TRAN4 Version 3 Revision 1 User's Manual. Hanscom Air Force Base, MA: Air Force Res. Lab.