

Vuelo con sensores remotos hiperspectrales para clasificación de cubiertas

Perla Zambrano-Prado^{*a, b}, Alejandro Josa^c, Joan Rieradevall^{a, d}, Ramon, Alamús^e, Fernando Pérez^e, Juan Marchan^e, Santiago Gassó^f, Xavier Gabarrell^{a, d}

^aSostenipra Research Group (Sostenipra 2017 SGR 1683), Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA-UAB), Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona Spain.

^bDepartment of Techniques and Construction, Art, Architecture, and Design University Center, (CUAAD), University of Guadalajara (UdG), Guadalajara, México

^cDepartment of Civil and Environmental Engineering (DECA), Civil Engineering School (Escola de Camins), Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTech (UPC), Barcelona, Spain.

^dDepartment of Chemical and Biological Environmental Engineering, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Barcelona, Spain.

^eÀrea d'Observació de la Terra – PCOT, Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, (ICGC) Barcelona, Spain.

^fDepartment of Projects and Construction Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech (UPC), Barcelona, Spain.



1. Introducción

El presente documento describe el proceso de captación de las imágenes hiperespectrales en los rangos VisNIR (400-1000 nm) y LWIR (8,5-11 μm) en el área de interés (AOI) que incluye la una parte del Valles Occidental (Badia, Barbera del Valles, Cerdanyola del Valles, Sabadell y Santa Perpetua de la Mogoda) y el proceso posterior de cálculo de radiancia, separación de temperatura y emisividad (LWIR), corrección atmosférica y clasificación de tipo de cubiertas por sus características espectrales.

El trabajo se ha realizado en el marco de una contratación entre UPC y el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) con el objetivo de estudiar los tipos de cubiertas.

L'ICGC ha usado los sensores AISA Eagle II (sensor hiperespectral en el VisNIR, visible e infrarojo cercano) y TASI-600 (sensor hiperespectral térmico en el LWIR, Long Wave InfraRed) embarcados en el avión Partenavia Observer P-68, instrumentos y aparatos propiedad del ICGC, para obtener las imágenes diurnas. En este estudio se ha utilizado un vuelo sobre la zona de trabajo realizado el 6 de marzo de 2018 con condiciones atmosféricas favorables para el estudio.

El sensor AISA Eagle II capturó imágenes hiperespectrales con 252 bandas en el rango espectral de las longitudes de ondas de los 400 a los 1000 nanómetros (nm) y con una resolución espacial final de 1,1 m.

El sensor TASI capturó imágenes hiperespectrales con 32 bandas en el rango espectral de las longitudes de ondas de los 8,0 a los 11,5 micrómetros (μm) y con una resolución espacial final de 2 m.

Una vez obtenidas las imágenes VisNir y LWIR, se procede a realizar las correcciones radiométricas, geométricas y atmosféricas y la separación de temperatura y emisividad según los procesos estándar del ICGC.

En los siguientes apartados se describen las diferentes partes del proceso

2. Ámbito del Proyecto

Este proyecto se lleva a cabo usando datos hiperespectrales captados con la finalidad de analizar la tipología de las cubiertas por sus características espectrales en el contexto del AOI. El plan de vuelo de la zona de trabajo fue definido de norte a sur para minimizar las diferencias radiométricas en las zonas de costura de las pasadas debido a los efectos de *hotspot* y del diferente punto de observación entre pasadas adyacentes. En la Figura 1 se pueden observar las 9 pasadas (líneas en violeta numeradas del 1 al 9 con orientación norte-sur) de que consta el proyecto sobre impuestas en el área de interés que es el polígono en transparencia amarilla.

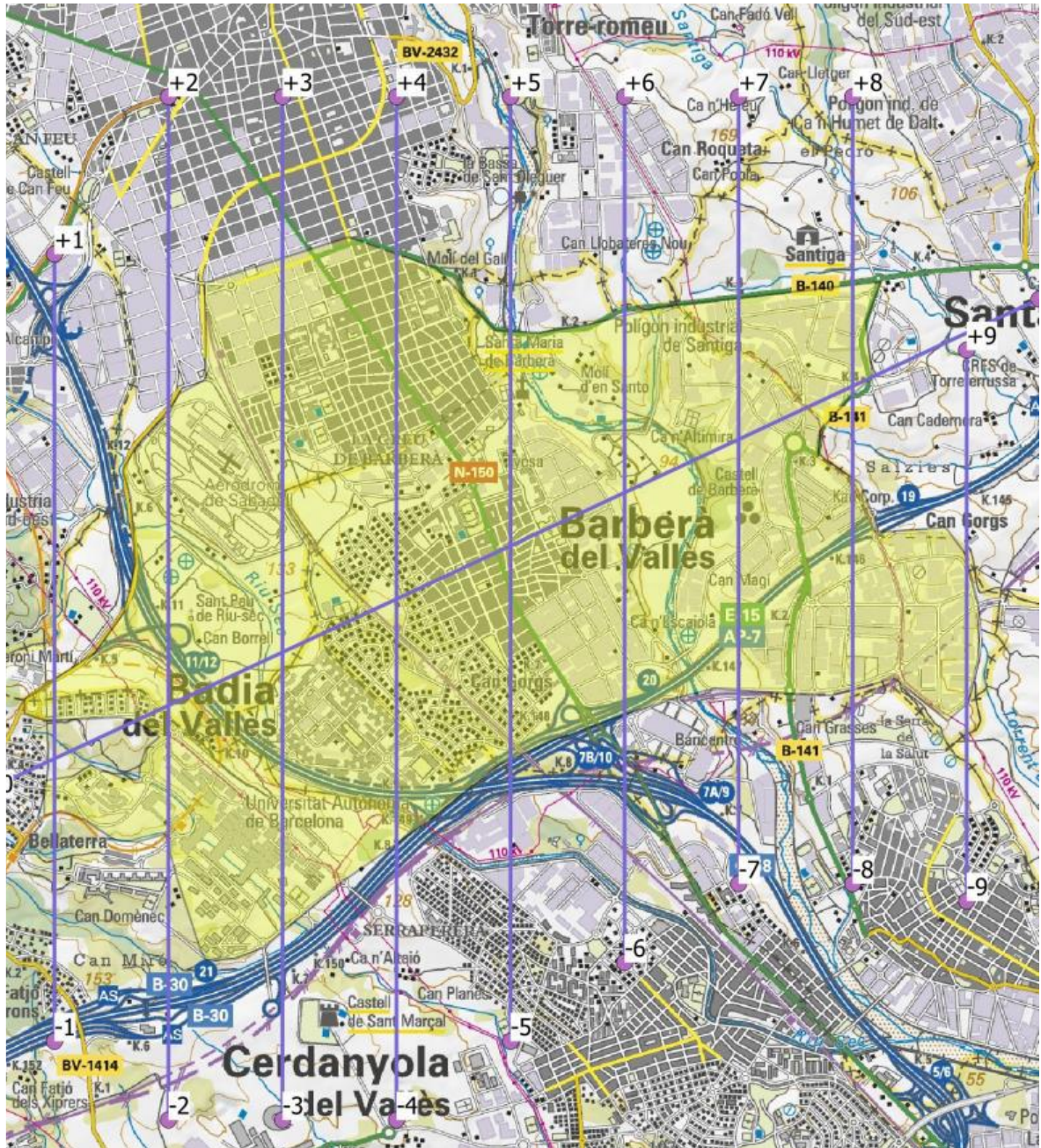


Figura 1. Plan de vuelo realizado el 3 de marzo de 2018 con los sensores AISA Eagle II y TASI.

3. Campaña de vuelo

Este proyecto se lleva a cabo partiendo de las imágenes captadas en el vuelo diurno del 3 de marzo de 2018 con los sensores hiperespectrales AISA Eagle II (VisNIR) y TASI (LWIR).

3.1 Planificación del vuelo

La altura del vuelo y las características geométricas de los sensores determinan la resolución espacial de cada sensor. El vuelo se ha diseñado para obtener la máxima resolución espectral y espacial posible para alcanzar los objetivos del proyecto. Los parámetros de vuelos están resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de vuelo del proyecto

SENSOR	AISA Eagle II	TASI
Campo de visión aproximado	38°	40°
Altura de vuelo	1650 m	
Resolución espectral	252 bandas	32 bandas
Píxeles por línea captada	1024 píxeles	600 píxeles
Ancho de píxel	1,1 m	2 m
Longitud de píxel	1,1 m	2 m
SWATH	1126 m	1200 m

3.2 Configuración espectral de las imágenes

3.2.1 Sensor AISA Eagle II

El AISA Eagle III es un sensor VisNIR hiperespectral de barrido (tipo pushbroom) basado en una tecnología CCD (*Charge-Coupled Device*) que proporciona información espectral en 252 bandas dentro del rango espectral de 400 nm a 1000 nm y ancho espectral de 2,4 nm aproximadamente, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2 Configuración espectral del sensor AISA Eagle II.

Banda	λ [nm]	ancho [nm]	Banda	λ [nm]	ancho [nm]	Banda	λ [nm]	ancho [nm]
1	402.66	2.21	85	594.97	2.36	169	796.3	2.42
2	404.87	2.21	86	597.33	2.36	170	798.72	2.42
3	407.08	2.21	87	599.69	2.36	171	801.14	2.42
4	409.3	2.22	88	602.05	2.36	172	803.57	2.42
5	411.51	2.22	89	604.41	2.36	173	805.99	2.42
6	413.73	2.22	90	606.77	2.36	174	808.41	2.42
7	415.95	2.22	91	609.13	2.37	175	810.84	2.42
8	418.17	2.22	92	611.5	2.37	176	813.26	2.42
9	420.4	2.23	93	613.86	2.37	177	815.69	2.42
10	422.62	2.23	94	616.23	2.37	178	818.11	2.42
11	424.85	2.23	95	618.6	2.37	179	820.54	2.42
12	427.08	2.23	96	620.97	2.37	180	822.96	2.43
13	429.32	2.24	97	623.34	2.37	181	825.39	2.43
14	431.55	2.24	98	625.71	2.37	182	827.81	2.43
15	433.79	2.24	99	628.09	2.37	183	830.24	2.43
16	436.03	2.24	100	630.46	2.38	184	832.66	2.43
17	438.27	2.24	101	632.84	2.38	185	835.09	2.43
18	440.51	2.25	102	635.21	2.38	186	837.51	2.43
19	442.76	2.25	103	637.59	2.38	187	839.94	2.43

20	445.01	2.25	104	639.97	2.38	188	842.36	2.43
21	447.26	2.25	105	642.35	2.38	189	844.79	2.43
22	449.51	2.25	106	644.73	2.38	190	847.22	2.43
23	451.76	2.26	107	647.11	2.38	191	849.64	2.43
24	454.02	2.26	108	649.49	2.38	192	852.07	2.43
25	456.28	2.26	109	651.88	2.38	193	854.49	2.43
26	458.54	2.26	110	654.26	2.39	194	856.92	2.43
27	460.8	2.26	111	656.65	2.39	195	859.35	2.43
28	463.06	2.27	112	659.04	2.39	196	861.77	2.43
29	465.33	2.27	113	661.42	2.39	197	864.2	2.43
30	467.6	2.27	114	663.81	2.39	198	866.62	2.43
31	469.87	2.27	115	666.2	2.39	199	869.05	2.43
32	472.14	2.27	116	668.59	2.39	200	871.47	2.43
33	474.41	2.28	117	670.98	2.39	201	873.9	2.43
34	476.69	2.28	118	673.38	2.39	202	876.33	2.43
35	478.96	2.28	119	675.77	2.39	203	878.75	2.43
36	481.24	2.28	120	678.16	2.39	204	881.18	2.43
37	483.52	2.28	121	680.56	2.4	205	883.6	2.42
38	485.81	2.28	122	682.95	2.4	206	886.03	2.42
39	488.09	2.29	123	685.35	2.4	207	888.45	2.42
40	490.38	2.29	124	687.75	2.4	208	890.88	2.42
41	492.67	2.29	125	690.15	2.4	209	893.3	2.42
42	494.96	2.29	126	692.54	2.4	210	895.72	2.42
43	497.25	2.29	127	694.94	2.4	211	898.15	2.42
44	499.54	2.3	128	697.35	2.4	212	900.57	2.42
45	501.84	2.3	129	699.75	2.4	213	903	2.42
46	504.14	2.3	130	702.15	2.4	214	905.42	2.42
47	506.43	2.3	131	704.55	2.4	215	907.84	2.42
48	508.74	2.3	132	706.96	2.4	216	910.26	2.42
49	511.04	2.3	133	709.36	2.41	217	912.69	2.42
50	513.34	2.31	134	711.77	2.41	218	915.11	2.42
51	515.65	2.31	135	714.17	2.41	219	917.53	2.42
52	517.96	2.31	136	716.58	2.41	220	919.95	2.42
53	520.26	2.31	137	718.98	2.41	221	922.37	2.42
54	522.58	2.31	138	721.39	2.41	222	924.8	2.42
55	524.89	2.31	139	723.8	2.41	223	927.22	2.42
56	527.2	2.32	140	726.21	2.41	224	929.64	2.42
57	529.52	2.32	141	728.62	2.41	225	932.06	2.42
58	531.83	2.32	142	731.03	2.41	226	934.48	2.42
59	534.15	2.32	143	733.44	2.41	227	936.9	2.42
60	536.47	2.32	144	735.85	2.41	228	939.31	2.42
61	538.8	2.32	145	738.26	2.41	229	941.73	2.42
62	541.12	2.33	146	740.68	2.41	230	944.15	2.42
63	543.45	2.33	147	743.09	2.41	231	946.57	2.42
64	545.77	2.33	148	745.5	2.41	232	948.99	2.42
65	548.1	2.33	149	747.92	2.41	233	951.4	2.42
66	550.43	2.33	150	750.33	2.42	234	953.82	2.42
67	552.76	2.33	151	752.75	2.42	235	956.23	2.42
68	555.09	2.33	152	755.16	2.42	236	958.65	2.41
69	557.43	2.34	153	757.58	2.42	237	961.06	2.41
70	559.76	2.34	154	760	2.42	238	963.48	2.41
71	562.1	2.34	155	762.41	2.42	239	965.89	2.41
72	564.44	2.34	156	764.83	2.42	240	968.3	2.41

73	566.78	2.34	157	767.25	2.42	241	970.72	2.41
74	569.12	2.34	158	769.67	2.42	242	973.13	2.41
75	571.46	2.34	159	772.09	2.42	243	975.54	2.41
76	573.81	2.35	160	774.51	2.42	244	977.95	2.41
77	576.15	2.35	161	776.93	2.42	245	980.36	2.41
78	578.5	2.35	162	779.35	2.42	246	982.77	2.41
79	580.85	2.35	163	781.77	2.42	247	985.18	2.41
80	583.2	2.35	164	784.19	2.42	248	987.59	2.41
81	585.55	2.35	165	786.61	2.42	249	989.99	2.41
82	587.9	2.35	166	789.03	2.42	250	992.4	2.41
83	590.26	2.36	167	791.45	2.42	251	994.81	2.41
84	592.61	2.36	168	793.88	2.42	252	997.21	2.4

3.2.2 Sensor TASI

El TASI es un sensor térmico hiperespectral de barrido (tipo *pushbroom*) basado en una tecnología CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) que proporciona información espectral en 32 bandas de 110 nm de ancho y equiespaciadas dentro del rango espectral de 8 μm a 11,5 μm , como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Configuración espectral del sensor TASI

Banda	λ_0 [μm]	Banda	λ_0 [μm]	Banda	λ_0 [μm]	Banda	λ_0 [μm]
1	8,000	9	8,904	17	9,808	25	10,712
2	8,113	10	9,017	18	9,921	26	10,825
3	8,226	11	9,130	19	10,034	27	10,938
4	8,339	12	9,243	20	10,147	28	11,051
5	8,452	13	9,356	21	10,260	29	11,164
6	8,565	14	9,469	22	10,373	30	11,277
7	8,678	15	9,582	23	10,486	31	11,390
8	8,791	16	9,695	24	10,599	32	11,503

4. Corrección radiométrica y geométrica

4.1 AISA Eagle II

4.1.1 Corrección radiométrica

El sensor AISA Eagle II se calibra anualmente por el fabricante en dos pasos básicos: calibración espectral, caracterización del rango espectral del instrumento y determinación de la longitud de onda captada por cada lado del sensor, y la calibración radiométrica, determinación de los coeficientes de calibración radiométrica. El resultado de este proceso es la determinación del conjunto de coeficientes necesarios para transformar los valores digitales (*digital numbers* o *DNS*) en valores de radiancia.

Una vez aplicada la corrección radiométrica, los *DNS* originales codificados en 12 bits por píxel se convierten en radiancia en valores de 16 bits.

4.1.2 Corrección geométrica

Simultáneamente a la captación de las imágenes un sistema APPLANIX recoge los datos de orientación. El sistema APPLANIX incluye un GPS, que recoge la posición del sensor y proporciona un marco de tiempo, y un sistema inercial que registra los movimientos angulares del sensor. La información obtenida de estos subsistemas proporciona la trayectoria (tiempo, posición y actitud para cada línea de la imagen).

Mediante un modelo de elevaciones del terreno (MET) y la trayectoria se realiza la rectificación o corrección geométrica, proceso en el que se genera la ortoimagen compensando los movimientos del avión, las distorsiones geométricas de la óptica del sensor y las elevaciones del territorio (véase la figura 2).

Hay que observar que las características del proyecto requieren poder separar entre píxeles de cubiertas de edificios y píxeles del suelo (nivel calle), ya que el objeto de estudio es la tipología de peso cubiertas según sus características espectrales. Por este motivo se ha empleado un MDS (modelo digital de superficie), MET que considera los edificios, extraído a partir de nubes de puntos LiDAR, y la rectificación se ha hecho detectando las partes ocultas. De este modo se garantiza que no hay valores de píxeles de cubiertas de edificios que una vez rectificadas estén en la calle y los datos de cubiertas son geoméricamente correctos.

4.2 TASI

4.2.1 Corrección radiométrica

El sensor TASI se calibra en dos pasos básicos calibración espectral, caracterización del rango espectral del instrumento, y la calibración radiométrica, determinación de los coeficientes de calibración radiométrica. El resultado de este proceso es la determinación del conjunto de coeficientes necesarios para transformar los valores digitales (digital numbers o DNS) en valores de radiancia.

Una vez aplicada la corrección radiométrica, los DNS originales codificados en 14 bits por píxel se convierten en radiancia en valores de 16 bits.

4.2.2 Corrección geométrica

En proceso de corrección geométrica es idéntico que en el caso del sensor AISA Eagle II descrito en la sección 4.1.2 anterior.

5. Recuperación de reflectancias (VisNIR – AISA Eagle II)

La ventana espectral abarcada por el sensor AISA Eagle II cubre el VisNIR, ventana del espectro en la emisión solar y permite la recuperación de información cualitativa sobre la reflectividad de la cubierta observada.

La recuperación cualitativa de la reflectividad de la superficie (a partir de las radiancias observadas por el sensor) pasa por un proceso adicional de corrección atmosférica (código ModTRan5.0 con información simultánea a los vuelos). El resultado es un vector de 252 reflectividades por cada píxel de la imagen. En la Figura 2 el mosaico de reflectancias en todo el área captada por el sensor.



Figura 2. Mosaico y detalle de una imagen en falso color (usando bandas 127,63 i 34 de la tabla 2 y simulando una imagen RGB estándar) de reflectancias del AISA Eagle II correspondiente al vuelo del 3 de marzo de 2018 en el AOI.

6. Recuperación de emisividad (LWIR – TASI)

La ventana espectral abarcada por el sensor TASI cubre la parte más significativa del infrarrojo térmico (Thermal InfraRed - TIR o Long Wave InfraRed - LWIR) [1] y permite la recuperación de información cuantitativa sobre la temperatura y el espectro de emisividades de la cubierta observada que se puede llegar a relacionarse con su composición química. En el caso de adquisiciones TIR, el parámetro de temperatura y el espectro de emisividad están acoplados en las medidas captadas por el sensor [2].

La recuperación cuantitativa del parámetro de temperatura absoluta y emisividades de las cubiertas pasa por un proceso adicional de corrección atmosférica (código ModTRan5.0 con información atmosférica simultánea a los vuelos) y desacoplamiento del espectro de emisividad y la temperatura llamado TES (Temperature and Emissivity Separation) [3]. El resultado del TES es un valor de temperatura absoluta y un vector de 32 emisividades por cada píxel de la imagen. En la figura 4 el mosaico de emisividad en toda el área captada por el sensor TASI.

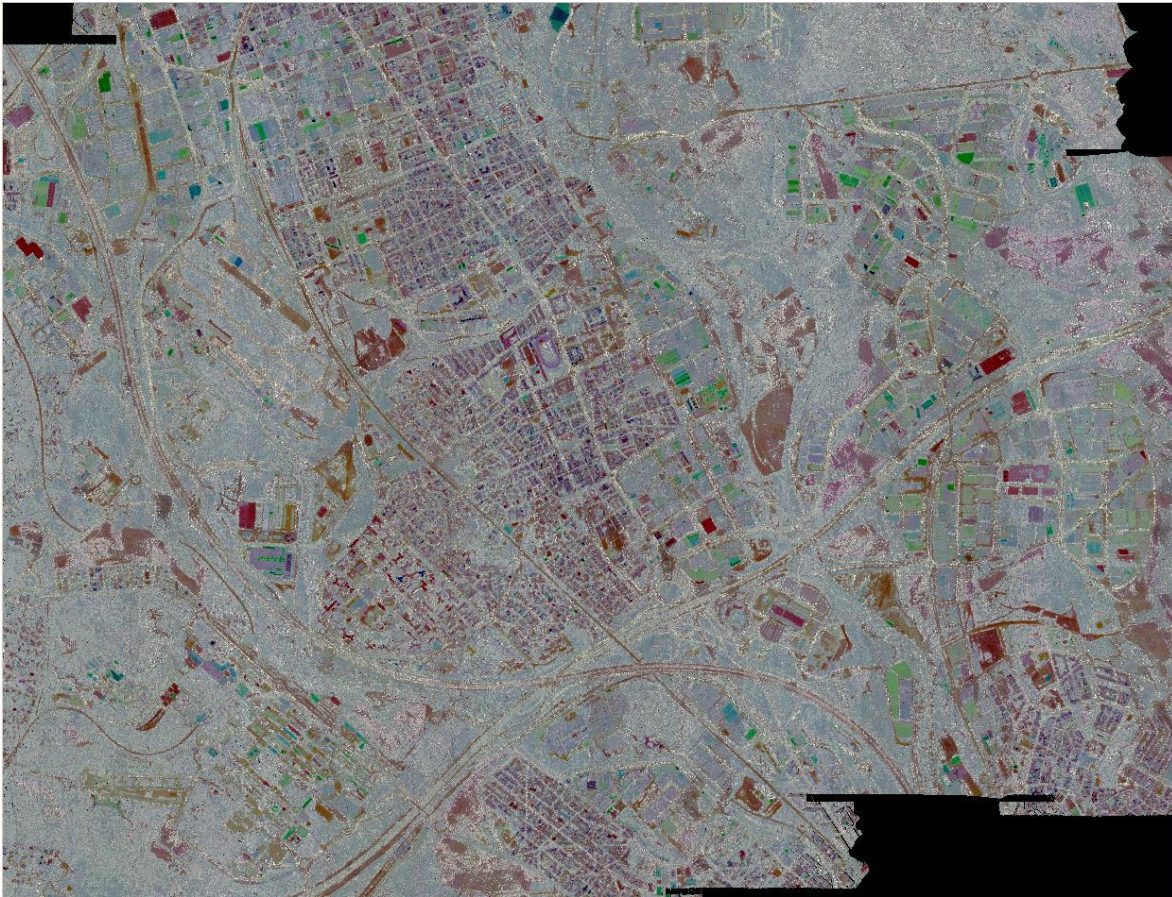


Figura 3. Mosaico y detalle de una imagen en falso color (usando bandas 25,15 i 9 de la tabla 3) de emissividades del TASI correspondiente al vuelo del 3 de marzo de 2018 en el AOI.

7. Clasificación no supervisada

La clasificación se ha llevado a cabo solo en las cubiertas del área de interés. Estas cubiertas se han determinado como *footprints* de la BD ICGC 1: 5000 actualizadas a fecha de vuelo del 2016. Adicionalmente se ha incluido un polígono conteniendo el aeropuerto de Sabadell. De estas zonas se han desestimado los píxeles en que las imágenes crudas del AISA mostraban saturación, ya que en estos píxeles no se pueden calcular radiancia correctamente. Generándose una máscara de edificios y aeropuerto que no incluye las áreas saturadas dónde se lleva a cabo la clasificación no supervisada.

En la Figura 4 se observa el resultado de la clasificación no supervisada en el área de trabajo. Sobre las imágenes de radiancias se ha aplicado una descomposición MNF [4] extrayendo los 16 primeros canales de la imagen MNF AISA y los 9 primeros canales de la imagen MNF TASI. Sobre esta imagen que contiene estos 16 + 9 canales se realiza un *K-means* [5], algoritmo de *clustering* o agrupamiento que da como resultado la clasificación no supervisada mostrada en la figura 5.

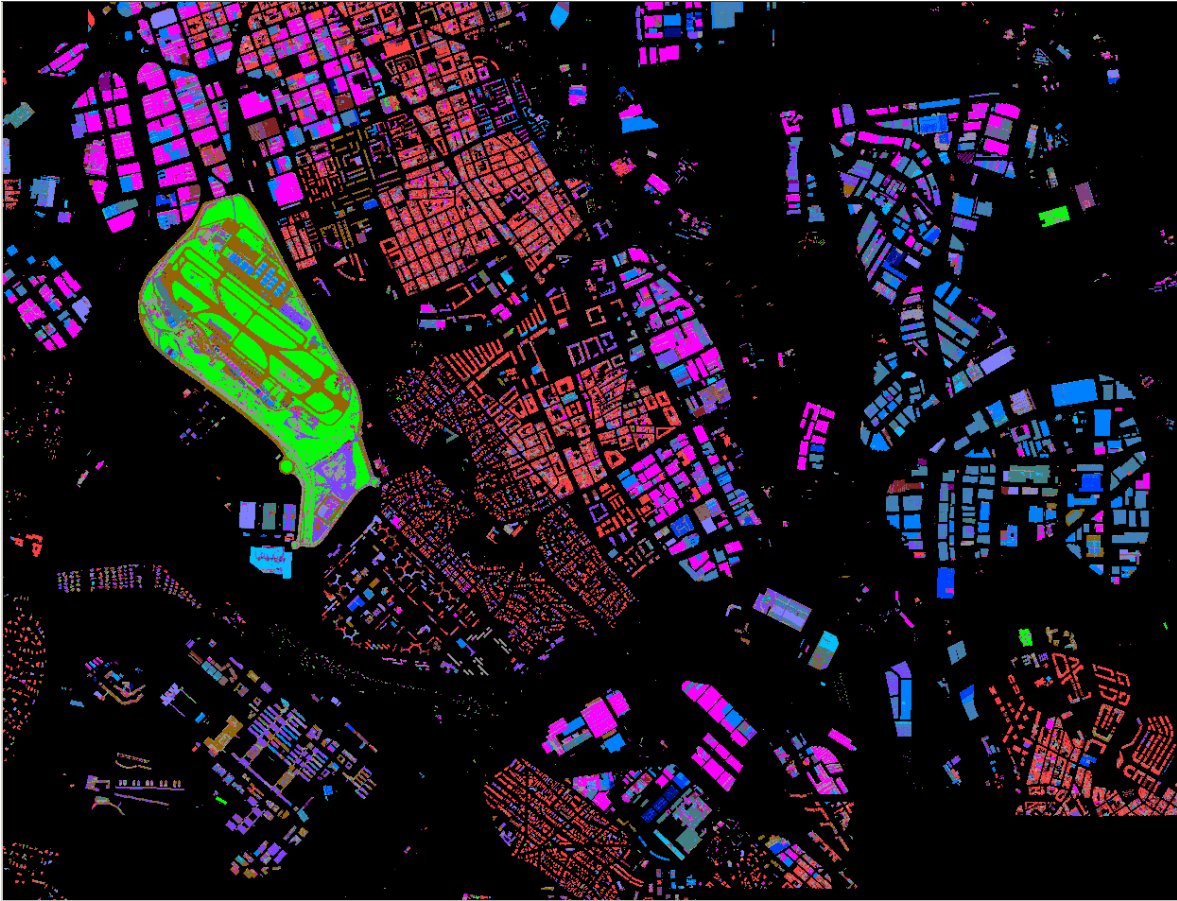


Figura 4. Imagen general de la clasificación no supervisada realizada sobre las cubiertas del área de trabajo incluyendo el aeropuerto de Sabadell.

Se han detectado 7 cubiertas. La identificación fue por fotointerpretación (inspección visual sobre la ortofoto del ICGC vigente a escala 1: 2500 y las imágenes en falso color del AISA simulando el RGB).

Finalmente, a cada polígono de plano de cubierta se ha asignado una clase (de las 7 derivadas en esta clasificación) de cubierta por el criterio máximo representante. En la Figura 5 se muestra un detalle de la imagen clasificada sobre impuesta en la ortoimagen AISA, dónde los elementos no clasificados (no edificios o clase 0) están en transparencia y en la Figura 6 se observa el resultado de la asignación de clase de cubierta a los polígonos de plano de cubierta.



Figura 5. Detalle de la clasificación no supervisada sobreimpresa en la ortoimagen AISA.



Figura 6. Detalle de la asignación de clase a los polígonos a partir de la clasificación no supervisada, sobreimpresa en la ortoimagen AISA.

Referencias

- [1] L. Pipia, F. Pérez, A. Tardà, V. Palà and R. Arbiol , “Potentials of the Thermal Airborne Spectrographic Imager for Environmental Studies,” International Geomatic Week Conference, 15-17 March, Barcelona, Spain, 2011
- [2] Luca Pipia, Fernando Pérez, Anna Tardà, Vicenç Palà, Jordi Corbera, Marta Morera and Angel Ruíz, “ Hyperspectral TIR sensor for building heat-loss detection”, RAQS 2014
- [3] A.Gillespie et al., “Temperature and Emissivity Separation from Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images”, Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 35, No. 4, pp.1113-1126.
- [4] A.A.Green et al., “A Transformation for Ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal” IEEE Transactions and Remote Sensing Vol. 26 no. 1, Enero 1988
- [5] J.MacQueen., “Some Methods dor Classification and Analysis of Multivariate Observations” , 1967