



## **Calibración de cámara digital aérea de gran formato**

**Benjamín Arias Pérez<sup>(1)</sup>, Oscar Cuadrado Méndez<sup>(2)</sup>, María del Pilar Quintanilla Blanco<sup>(3)</sup> y Javier Gómez Lahoz<sup>(4)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad de León, [benjamin.arias@unileon.es](mailto:benjamin.arias@unileon.es)

<sup>(2)</sup> Centro de Cartografía. Gobierno del Principado de Asturias, [oscarcm@princast.es](mailto:oscarcm@princast.es)

<sup>(3)</sup> Universidad de León, [mdpqb71@hotmail.com](mailto:mdpqb71@hotmail.com)

<sup>(4)</sup> Universidad de Salamanca, [fotod@usal.es](mailto:fotod@usal.es)

### **RESUMEN**

*Durante el verano de 2007 se ha ejecutado un vuelo fotogramétrico específico para intentar realizar la contrastación y calibración de los parámetros geométricos de una cámara digital aérea de gran formato, modelo UltraCamD. Dicho vuelo fotogramétrico se ha realizado en el Principado de Asturias, y ha sido diseñado con un GSD de 6 cm., formado por dos pasadas perpendiculares entre sí, con cinco imágenes cada una y un recubrimiento longitudinal del 60%. Se han preseñalizado sobre el terreno numerosos puntos, tanto de paso como de apoyo y control. La configuración establecida permite calibrar la citada cámara, aplicando una estrategia de calibración usual en fotogrametría terrestre a una cámara aérea. La calibración de las cámaras digitales de gran formato utilizadas en Fotogrametría aérea es un tema actual, donde a nivel europeo acaba de finalizar el proyecto del EuroSDR "Digital Camera Calibration", del que surgen otros tres proyectos.*

### **ABSTRACT**

*During the summer of 2007 a specific photogrammetric flight was executed to try to make the contrast and calibration of the geometric parameters of an aerial digital camera of large format, UltraCamD model. This photogrammetric flight was made in the "Principado de Asturias" and it has been designed with a GSD of 6 cm formed by two strips perpendicular between each other, with five images each one and a longitudinal overlap of 60%. Numerous points have been presignalled over the ground, both check points and control points. The established configuration allows us to calibrate the just mentioned camera, applying a strategy of usual calibration in terrestrial photogrammetry to an aerial camera. The calibration of digital cameras of large format used in aerial photogrammetry is a current theme, where on the European level it has been finished the project of EuroSDR "Digital Camera Calibration", from which other three projects have emerged.*

## **1. INTRODUCCIÓN.**

### **1.1. Cámara UltraCamD**

El diseño de la cámara fotográfica de UltracamD se basa en el uso de 9 sensores CCDs (cada uno de 4k x de 2,7k píxeles) con tamaño de píxel de 9µm. Cada cono óptico pancromático tiene el mismo campo, pero los sensores CCD se disponen en diversas posiciones dentro de cada plano focal. La idea es que no todos los conos se exponen al mismo tiempo, pero sí desde el mismo sitio (funcionamiento sintópico). Un cono, llamado A en la figura 1, actúa como cono maestro, para definir el sistema de coordenadas imagen. Las otras imágenes se emparejan como piezas secundarias dentro de este marco principal definido por el cono maestro. La imagen final tiene una única perspectiva central y tiene un tamaño de 11.500 x 7.500 píxeles.

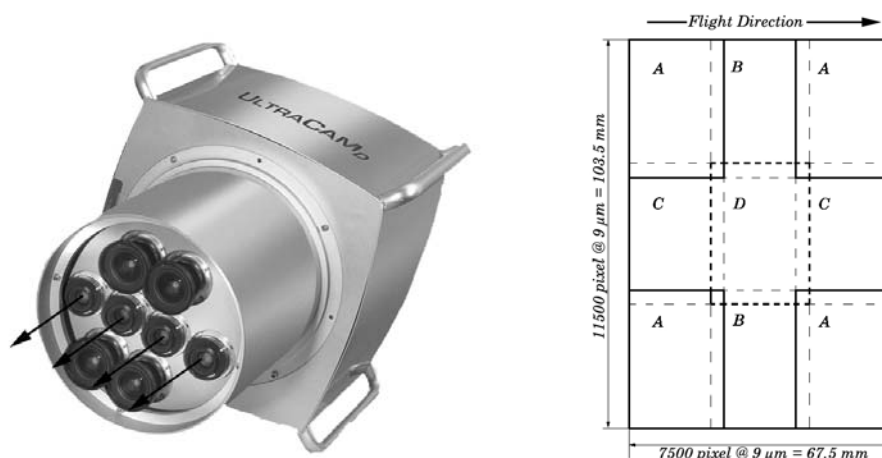


Figura 1.- Izquierda: cámara digital de gran formato modelo UltraCamD con 8 conos. Los cuatro conos de la imagen pancromática están colocados en línea en el centro. Los 9 CCDs correspondientes a estos 4 conos conformarán la imagen final. Derecha: los cuatro conos de la imagen pancromática (A, B, C y D) y la disposición de los 9 sensores CCDs. La geometría de la imagen final queda definida por el cono maestro, el llamado A en esta figura, y que agrupa a los 4 CCDs situados en las esquinas (Gruber et al, 2006).

## 1.2. Proyecto *Digital Camera Calibration & Validation*

En octubre de 2003 comenzó el proyecto del EuroSDR *Digital Camera Calibration & Validation*, con el objetivo de derivar el fondo técnico para procedimientos de calibración y validación de cámara fotográfica aérea apoyados en la teoría científica y en la investigación empírica y basándose en una red de expertos internacionales en el tema.

El proyecto fue dividido en dos fases: teórica y empírica. La primera estaba principalmente dedicada al arranque del proyecto, incluyendo la convocatoria de expertos para formar la red. Además, fue elaborado un extenso informe en el que están documentados los diversos planteamientos para la calibración de sensores y los métodos de calibración que aplican los fabricantes (Cramer, 2004). Esta fase terminó a finales de 2004. Las conclusiones principales de este análisis teórico de la fase 1 se resumen en los siguientes puntos (Cramer, 2007):

- Es evidente una disminución de la calibración estándar en el laboratorio, mientras que aumenta la importancia de la calibración *in-situ*.
- Las calibraciones *in-situ* tienen que ser realizadas regularmente por los usuarios, para validar y refinar los parámetros de calibración suministrados por el fabricante.
- Dado que estas técnicas de autocalibración no están en el campo común de la fotogrametría tradicional aérea, existe un déficit claro de conocimiento de las características y de las ventajas de la calibración del sistema en vuelo.

En la segunda fase se realizaron pruebas empíricas basadas en las experiencias y las recomendaciones de expertos sobre los procedimientos comúnmente aceptados para calibración. Se realizaron vuelos con las siguientes cámaras: ADS40 de Leica (ADS); DMC de Z/I Imaging y; UltraCamD de Vexcel (UCD). Los datos de estos vuelos fueron repartidos entre los miembros de la red de participantes en esta segunda fase. Los resultados más importantes obtenidos en esta fase se exponen en un informe presentado por Cramer (2007), y se resumen en los siguientes puntos:

- La autocalibración es necesaria para mejorar la calidad para los tres sistemas de cámara fotográfica probados: ADS, DMC y UCD. Con la autocalibración, la precisión horizontal de ADS está en el rango de 1/5 de píxel y la precisión vertical en 0.04 ‰ de la altura del vuelo. Para la cámara DMC la precisión es de 1/4 - 1/3 de píxel y 0.05-0.1‰ de la altura del vuelo. Y finalmente, en el caso de UCD, la precisión resultante es de 1/4 - 1/2 del píxel, y de 0.03 ‰ de la altura de vuelo. Estos valores se obtienen solamente de los datos empíricos de estos vuelos, y serán siempre dependientes del modelo matemático aplicado. Cada bloque tiene su propia geometría. Estas cifras no se pueden transferir a otros proyectos pues tienen que ser verificados con investigaciones adicionales.



- La precisión obtenida aumenta con el uso de la autocalibración, y ésta tiene más influencia en DMC y UCD que en ADS. Además, las correcciones sistemáticas para UCD son más significativas que para DMC.
- En algunos casos, puede ser necesario emplear parámetros especialmente diseñados para autocalibración y adaptados a la geometría del sensor. Para las cámaras ADS el modelo estándar basado en parámetros Brown es suficiente. Para los sistemas DMC y UCD han sido utilizados modelos extendidos y/o modificados de autocalibración. Alternativamente, los polinomios de corrección de alto orden, como los 44 parámetros de Grün, pueden llevar a resultados más precisos. El uso de 12 parámetros adicionales de Ebner o los parámetros estándar de BLUH no son suficientes para compensar los errores sistemáticos.
- Además del modelo de autocalibración, el peso a priori de las observaciones tiene una gran influencia. En algún caso, la elección de pesos puede incluso superar la influencia de la aplicación de la autocalibración.

Es muy interesante observar que los tres fabricantes de cámaras de gran formato para fotogrametría aérea han participado en este proyecto, y han comenzado a mirar con más detalle su propio software para superar la necesidad de tales métodos de autocalibración. Por ejemplo, Intergraph/ZI-Imaging ha establecido ya un grupo de trabajo especial para analizar y solucionar los errores sistemáticos en las imágenes. Se han hecho investigaciones similares en Microsoft/Vexcel. Las modificaciones de la cámara ADS permiten ahora la calibración *in-situ*.

Dos nuevos proyectos del EuroSDR han comenzado a finales de 2007, cubriendo aspectos que se han planteado en la iniciativa *Digital Camera Calibration & Validation*. Uno de ellos, *EuroDAC*<sup>2</sup>, trata sobre certificación a nivel europeo de cámaras digitales aerotransportadas, mientras que el otro proyecto, *Medium Format Digital Camera*, sobre el funcionamiento geométrico y radiométrico de las cámaras digitales aéreas de medio formato. Un tercer proyecto, *Radiometric Aspects of Digital Photogrammetric Images*, empezará previsiblemente en poco tiempo y tratará sobre la radiometría de las cámaras digitales aéreas. Los tres proyectos surgen como una continuación necesaria del proyecto *Digital Camera Calibration & Validation*, y están interrelacionados, aunque sean proyectos diferentes y tengan grupos de trabajo distintos.

### 1.3. Parámetros adicionales en las cámaras digitales aéreas de gran formato

Las imágenes de las cámaras digitales de gran formato son generadas prácticamente libres de distorsión, a partir de la calibración de laboratorio y el procesado de las diferentes sub-imágenes. Sin embargo, las condiciones ambientales en la toma de imágenes aéreas no son las mismas que en el laboratorio, y aparecen errores residuales en las coordenadas imagen, como puede apreciarse en la figura 2.

En el congreso *EuroCOW* celebrado en Barcelona en 2006, varios trabajos presentados plantean ya esta cuestión, y aplican parámetros adicionales considerando la formación modular de las imágenes de las cámaras UltraCamD de Vexcel, y DMC de Z/I. Mientras que unos autores plantean la aplicación de parámetros de Ebner para las imágenes de la cámara DMC, bien para toda la imagen (Honkavaara et al, 2006) o bien para las cuatro zonas de la imagen DMC (Kornus, 2006), otros autores presentan la utilización de parámetros especiales para estas cámaras, planteando juegos de parámetros diferentes para DMC y para UltraCamD (Gruber et al, 2006; Kruck, 2006). Posteriormente, se han presentado diferentes trabajos sobre parámetros adicionales para la cámara DMC (Alamús et al, 2007) y UltraCamD (Baz et al, 2007). En *The Photogrammetric Week* del año 2007 se presenta un trabajo que trata sobre la aplicación de parámetros adicionales especiales para la nueva cámara UltraCamX (Gruber, 2007), mientras que para la cámara DMC se proponen nuevas estrategias, como la aplicación de una malla de corrección en el propio procesado de la imagen virtual, o la utilización de cuatro mallas obtenidas por técnicas de colocación mínimo cuadrática (Dörstel, 2007).

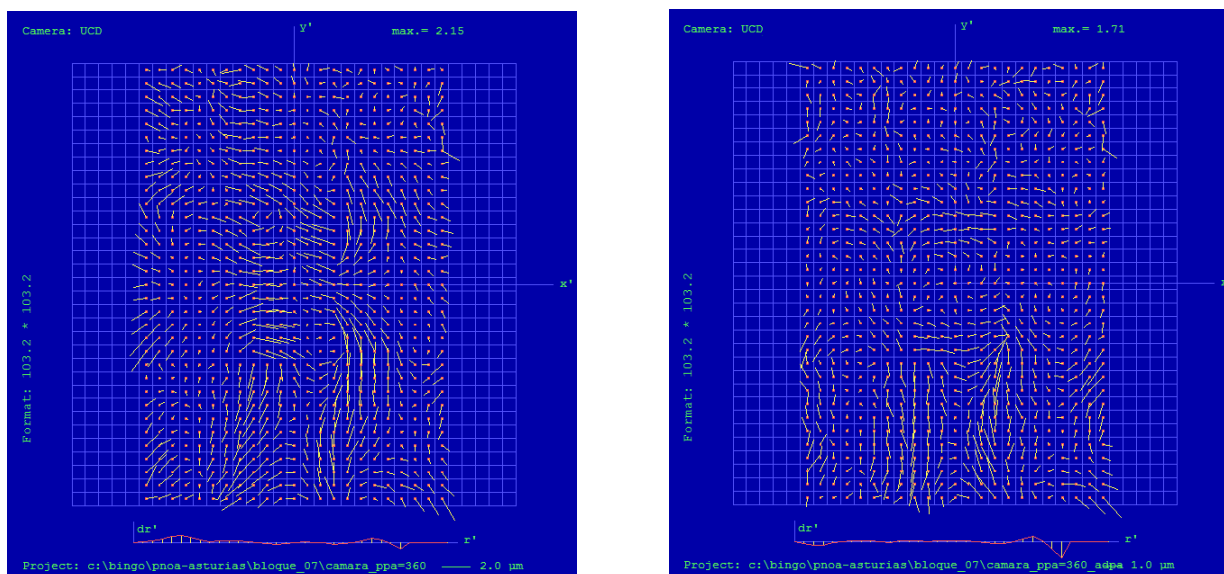


Figura 2.- Representación de residuos en las fotocoordenadas después de un ajuste, para un bloque de 629 fotos (9 pasadas), correspondiente a PNOA del Principado de Asturias, volado con cámara UltraCamD en el año 2007. Izquierda: sin aplicar parámetros adicionales ( $S_0 = 1,87 \mu\text{m}$ ). Derecha: aplicando los parámetros adicionales específicos para cámara UltraCamD del programa BINGO v.5.4 ( $S_0 = 1,78 \mu\text{m}$ ). Nótese que el factor de escala es el doble en la imagen de la izquierda que en la de la derecha.

#### 1.4. Contrastación de parámetros internos de una cámara digital

En 2008 ha sido presentado un trabajo en el congreso *EuroCOW* (Arias et al, 2008), en el que se exponen los resultados de la determinación del *desalineamiento* del sistema de medida inercial, para dos empresas que operan con cámara UltraCamD. Para una de ellas, todo resulta de forma correcta, pero para la otra, unos resultados *inesperados* permiten detectar un sistematismo que finalmente se achaca al punto principal de autocolimación de la cámara. Esto pone de manifiesto la necesidad de contrastar y validar los parámetros internos de estas nuevas cámaras fotogramétricas aéreas. Por tanto, la cuestión de la calibración de las cámaras digitales de gran formato es actualmente una cuestión de gran relevancia y de alto interés. En el trabajo que se expone en este artículo se presenta un vuelo realizado de forma específica para contrastar los parámetros internos de una cámara: distancia focal y posición del punto principal.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1. Campo de calibración

El campo de calibración está situado en el Parque Tecnológico de Asturias, en el concejo de Llanera, al lado del aeródromo de La Morgal. Se elige esta zona porque, por un lado, permite la implantación de una serie de puntos de control preseñalizados con una gran estabilidad temporal y, por otro lado, posibilita la utilización de marcas viales a modo de puntos preseñalizados, disponibles para su medición tanto con técnicas GPS como en las propias imágenes.



Figura 3.- Izquierda: zona del campo de calibración, en el Parque Tecnológico. Derecha: Detalle de punto de control preseñalizado.

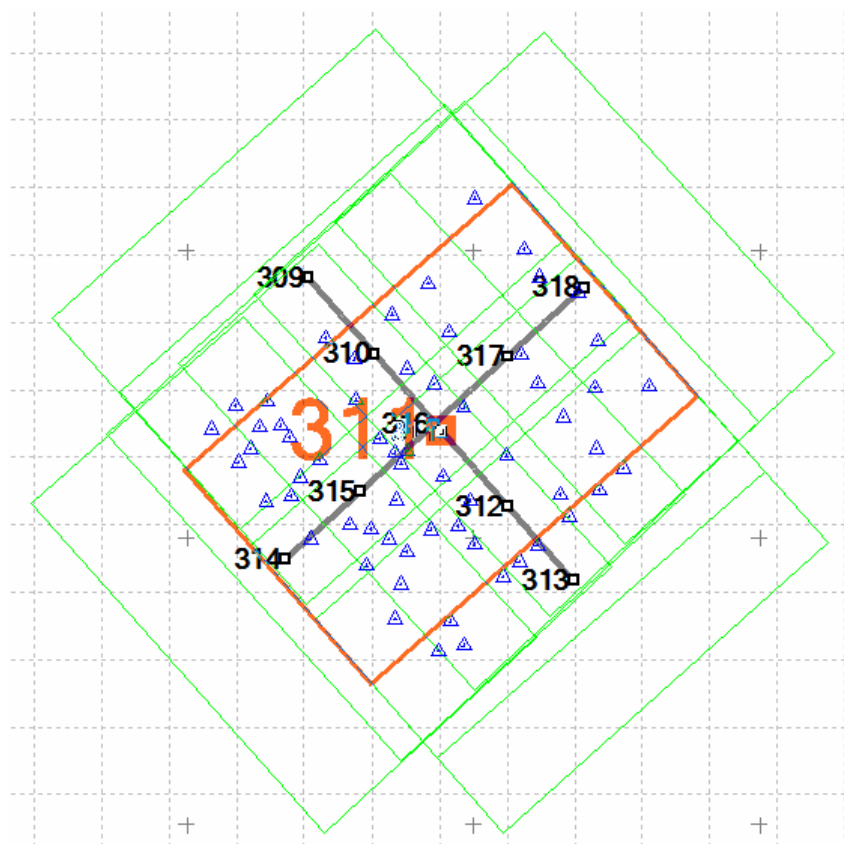


Figura 4.- Esquema de vuelo empleado para la calibración de la cámara.



### 2.3. Vuelo

Como puede verse en la figura 4, el vuelo consta de dos pasadas en forma de cruz, con 5 imágenes cada una y con un recubrimiento longitudinal del 60%. El GSD empleado es de 6 cm., correspondiendo a una altura de vuelo de 675 metros aproximadamente.

### 2.2. Mediciones y Cálculo

Fueron medidos mediante técnicas GPS un total de 52 puntos de control preseñalizados así como 581 puntos en marcas viales, obteniéndose finalmente coordenadas UTM y altitudes elipsoidales referidas al sistema ETRS89.

Las mediciones de fotocoordenadas, tanto manuales como automáticas, fueron realizadas con Match-AT v.5, de Inpho. Para dar una mayor consistencia al cálculo de los parámetros internos fueron medidos (manualmente) en las imágenes 124 puntos de paso, situados en las azoteas de los edificios.

### 2.3. Cálculos

Los cálculos se han realizado con Bingo v.5.4. Este programa permite calcular la distancia focal de la cámara, la posición del punto principal, distorsión radial y emplear parámetros adicionales. Sólo se deben calcular una vez eliminados los errores groseros del bloque y cuando se disponga de buenas aproximaciones para las incógnitas.

Los cálculos realizados para calibrar la cámara son de dos tipos: *ajuste de haces* y *resección espacial*. Si se emplean varias imágenes con solape entre ellas lo más normal es utilizar *ajuste de haces*, aprovechando la robustez geométrica que proporcionan las mediciones de fotocoordenadas, tanto automáticas como manuales, de los puntos en diversas imágenes. Por otro lado, cuando se utiliza una sola imagen, una opción para realizar la calibración es la *resección espacial o intersección inversa*.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 3.1. Calibración con la imagen pancromática a nivel 3

En primer lugar se realizan los cálculos con la imagen pancromática de nivel 3, que corresponde con la imagen final después de realizar una serie de procesos a las imágenes obtenidas en los 9 CCDs pancromáticos (nivel 0). Se presentan en la tabla 1 los resultados de la calibración mediante ajuste de haces, considerando dos opciones, en función de la utilización de los puntos medidos en marcas viales, bien de chequeo o bien de control.

<i>Puntos Control</i>	<i>Puntos Chequeo</i>	<i>c</i> (mm)	<i>S<sub>C</sub></i> (mm)	<i>x<sub>H</sub></i> (mm)	<i>S<sub>xH</sub></i> (mm)	<i>y<sub>H</sub></i> (mm)	<i>S<sub>yH</sub></i> (mm)	<i>Ratio</i>	<i>S<sub>0</sub></i> ( $\mu$ m)
564	0	101,3999	0,0017	-0,0001	0,0017	0,000	0,0017	1,21	1,72
52	512	101,4000	0,0010	0,0001	0,0010	0,0005	0,0010	1,09	1,02

Tabla 1.- Resultados de la calibración de la imagen de nivel 3 de UltraCamD mediante ajuste de haces, donde: *Puntos Control*: número de puntos de control empleados; *Puntos Chequeo*: número de puntos de chequeo empleados; *c*: distancia focal; *S<sub>C</sub>*: desviación típica a posteriori de *c*; *x<sub>H</sub>*, *y<sub>H</sub>*: fotocoordenadas del punto principal de autocolimación; *S<sub>xH</sub>*, *S<sub>yH</sub>*: desviaciones típicas a posteriori para las fotocoordenadas del punto principal de autocolimación; *Ratio*: cociente entre la desviación típica a posteriori y la desviación típica a priori de los datos de cámara; *S<sub>0</sub>*: Sigma naught del ajuste, que corresponde con la desviación típica a posteriori de las fotocoordenadas.

Como se puede observar en la tabla 1, el resultado es muy parecido con las dos opciones comentadas. En el cálculo del ajuste con puntos de chequeo se han obtenido unos valores medios para los residuos en dichos puntos de  $X = 38$  mm;  $Y = 30$  mm;  $Z = 49$  mm. Esto implica que, recordando que el GSD es de 60 mm, aproximadamente medio píxel en X e Y, menos de 1 GSD en Z. Los valores

En la siguiente tabla se muestran los resultados para la calibración mediante resección espacial. Se han realizado para todas las imágenes excepto las que se encuentran al inicio y al final de cada pasada, puesto que incluyen pocos puntos de control y están situados solamente en una zona de la imagen.

<i>Imagen</i>	<i>Puntos Control</i>	<i>c (mm)</i>	<i>S<sub>C</sub> (mm)</i>	<i>x<sub>H</sub> (mm)</i>	<i>S<sub>xH</sub> (mm)</i>	<i>y<sub>H</sub> (mm)</i>	<i>S<sub>yH</sub> (mm)</i>	<i>Ratio</i>	<i>S<sub>0</sub> (μm)</i>
310	22	101,4000	0,0014	0,0000	0,0014	0,0000	0,0014	0,81	1,41
310	271	101,4000	0,0034	-0,0001	0,0034	0,0001	0,0034	3,40	3,79
311	39	101,4000	0,0018	0,0000	0,0018	0,0000	0,0018	1,13	1,84
311	470	101,3999	0,0037	-0,0003	0,0037	0,0000	0,0037	3,33	3,69
312	36	101,4000	0,0014	0,0000	0,0014	0,0000	0,0014	0,72	1,37
312	298	101,4000	0,0036	0,0002	0,0036	-0,0002	0,0036	3,07	3,63
315	31	101,4000	0,0015	0,0000	0,0015	0,0000	0,0015	0,50	1,47
315	369	101,4000	0,0038	-0,0002	0,0038	0,0006	0,0038	6,94	3,78
316	32	101,4000	0,0017	0,0000	0,0017	0,0000	0,0017	0,92	1,66
316	421	101,4000	0,0036	-0,0001	0,0036	0,0001	0,0036	2,14	3,64
317	23	101,4000	0,0012	0,0000	0,0012	0,0000	0,0012	0,73	1,23
317	286	101,4000	0,0037	-0,0001	0,0037	0,0001	0,0037	2,79	3,66

Tabla 2.- Resultados de la calibración de la imagen de nivel 3 de UltraCamD mediante intersección inversa. donde: *Imagen*: fotograma para en el que se han efectuado las mediciones; *Puntos Control*: número de puntos de control empleados; *c*: distancia focal; *S<sub>C</sub>*: desviación típica a posteriori de *c*; *x<sub>H</sub>*, *y<sub>H</sub>*: fotocoordenadas del punto principal de autocolimación; *S<sub>xH</sub>*, *S<sub>yH</sub>*: desviaciones típicas a posteriori para las fotocoordenadas del punto principal de autocolimación; *Ratio*: cociente entre la desviación típica a posteriori y la desviación típica a priori de los datos de cámara; *S<sub>0</sub>*: Sigma naught del ajuste, que corresponde con la desviación típica a posteriori de las fotocoordenadas.

En la tabla 2 se muestra para cada imagen dos cálculos, en función de la utilización sólo de los puntos de control preseñalizados o de la utilización de todos los puntos medidos en el campo de calibración (preseñalizados y marcas viales). Como se puede observar, los resultados son ligeramente peores que los obtenidos mediante ajuste de haces.

### 3.2. Calibración con una imagen multiespectral

La cámara UltraCamD posee cuatro conos para generar las imágenes multiespectrales, correspondientes al Rojo, Verde, Azul e Infrarrojo cercano. Estos conos están asociados cada uno a un CCD, de tal manera que captan toda la zona que es tomada por la imagen pancromática (a través de sus 9 CCDs), y por lo tanto tienen menor resolución en el terreno. Por ello se aplica un procedimiento conocido como *pan-sharpening*, muy empleado en teledetección, el cual, basándose en que el color es una propiedad de área, proporciona a las imágenes multiespectrales la mayor resolución que ofrece la imagen pancromática final.

Con este vuelo se ha procedido a la calibración mediante ajuste haces de uno de los conos multiespectrales, el correspondiente al rojo (cono nº4), empleando para ello sólo los puntos de control preseñalizados, puesto que la baja resolución que ofrece esta imagen no permite distinguir correctamente las marcas viales medidas en campo. Los

resultados se muestran en la tabla 3. En este caso la imagen corresponde con el nivel 0 (sin ningún tipo de procesamiento), con una distancia focal de 28 mm y una gran distorsión radial. Por ello la calibración básicamente consiste en la determinación de la distorsión radial.

$r$ (mm)	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0
$dr$ ( $\mu\text{m}$ )	55,7	98,4	121,0	118,3	86,1	22,1	-74,9	-204,3	-364,4	-551,6

Tabla 3.- Resultados de la calibración de la imagen de nivel 0 del cono nº 4 de UltraCamD mediante ajuste de haces, donde:  $r$ : distancia al punto principal;  $dr$ : distorsión radial a la distancia  $r$ . El ajuste se completó con  $S_0 = 2,19 \mu\text{m}$ .

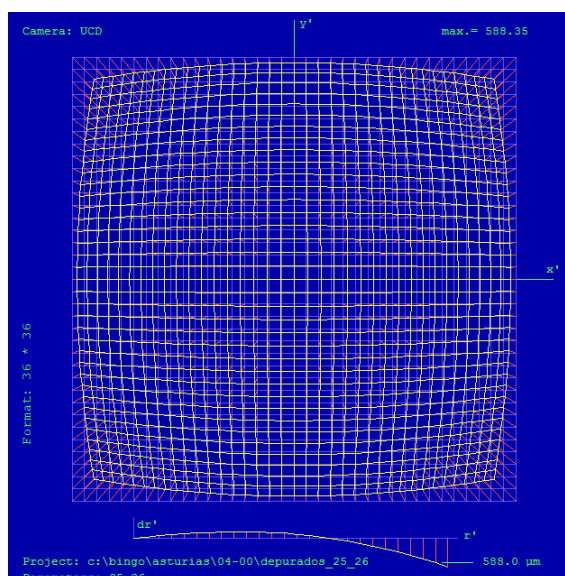


Figura 5.- Representación de la distorsión radial calculada para el cono nº 4.

#### 4. CONCLUSIONES.

Se han presentado los resultados para la calibración de una cámara digital de gran formato para fotogrametría aérea modelo UltraCamD, con imágenes tomadas en vuelo. Esto supone un cambio respecto de la calibración *usual* en laboratorio.

A través de dos modalidades de cálculo, ajuste de haces y resección espacial, se ha comprobado la bondad de los parámetros de calibración para la imagen final a nivel 3. Los resultados obtenidos muestran una mayor fiabilidad del cálculo para el ajuste de haces frente a la resección espacial, como era de esperar. Sin embargo, se aprecia la distribución de los 9 CCDs en los residuos de las coordenadas imagen. Una posibilidad para atenuar la influencia de estas 9 zonas es la aplicación de parámetros adicionales especiales, tal y como se muestra en la figura 1.

Otra posibilidad sería la calibración en vuelo de los 4 conos correspondientes a los 9 CCDs de la imagen pancromática a nivel 0, y que los resultados de esta calibración fueran introducidos en el procesado de la imagen hasta llegar a nivel 3. Para ello, se podría utilizar un vuelo sobre un campo de calibración como el utilizado para este trabajo, con puntos preseñalizados y posibilidad de multitud de mediciones de marcas viales ya implantadas en el terreno. Simplemente con efectuar un recubrimiento longitudinal del 80 o del 90 %, se obtendría recubrimiento entre los CCDs individuales (con el 60% no hay tal recubrimiento), y se podría realizar una calibración para cada CCD individual mediante ajuste de haces, puesto que éste cálculo es mucho más robusto que la opción de resección espacial. Nótese la imposibilidad de realizar una pasada con este recubrimiento tan alto para este tamaño de GSD (la cámara no puede disparar tan deprisa ni el avión volar tan despacio), pero este problema puede ser solventado realizando otra pasada con los centros de proyección desplazados en la base deseada.



## 5. REFERENCIAS.

- Alamús, R., Kornus, W., Riesinger, I. (2007): "DMC geometric performance analysis". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Hannover, Germany, Vol. XXXVI-1/W51 (en CD-ROM).
- Arias, B., Nafría, D.A., Blanco, V., Rodríguez, O.O., Blanco, M., Antolín, F.J., Rodríguez, J., Gómez, J. (2008): "Testing a Digital Large Format Camera" Proceedings of the International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW, January 30th - February 1st, 2008, Castelldefels, Spain (en CD-ROM).
- Baz, I., Buyuksalih, G., Jacobsen, K. (2007): "Bundle block adjustment with high resolution UltraCamD images". The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Hannover, Germany, Vol. XXXVI-1/W51 (en CD-ROM).
- Cramer, M. (2004): "EuroSDR network on Digital Camera Calibration. Report Phase I". Institute for Photogrammetry (ifp), University of Stuttgart, Germany.
- Cramer, M. (2007): "The EuroSDR Performance Test for Digital Aerial Camera Systems". The Photogrammetric Week 2007, Stuttgart, Germany, pp.89-106.
- Dörstel, C., (2007): "DMC – (R)evolution on geometric accuracy". The Photogrammetric Week 2007, Stuttgart, Germany, pp.81-88.
- Gruber, M., Ladstädter, R. (2006): "Geometric issues of the digital large format aerial camera UltraCamD". Proceedings of the International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW, 25-27 January 2006, Castelldefels, Spain (en CD-ROM).
- Gruber, M. (2007): "UltraCamX, the New Digital Camera by Microsoft Photogrammetry". The Photogrammetric Week 2007, Stuttgart, Germany, pp. 137-145.
- Honkavaara, E., Jaakkola, J., Markelin, L., Peltoniemi, J., Ahokas, E., Becker, S. (2006): "Complete photogrammetric system calibration and evaluation in the Sjököulla test field – case study with DMC". Proceedings of the International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW, 25-27 January 2006, Castelldefels, Spain (en CD-ROM).
- Kruck, E., (2006): "Simultaneous Calibration of Digital Aerial Survey Cameras". Proceedings of the International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW, 25-27 January 2006, Castelldefels, Spain (en CD-ROM).