

RESULTADOS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE GENERACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS DEL TERRENO DEL I.A.C.

C. MARTIN Y M. F. GOMEZ
INSTITUTO DE ASTROFISICA DE CANARIAS. Tenerife.

RESUMEN

En esta comunicación se presenta una breve descripción del sistema de generación de modelos numéricos del terreno desarrollado en el Instituto de Astrofísica de Canarias. El sistema permite la generación de modelos numéricos densos así como ortofotografías de forma automática y está basado íntegramente en soporte informático. También se presentan los resultados de las pruebas de precisión a que se ha sometido al sistema y los tiempos de proceso implicados.

ABSTRACT

In this paper we present a brief description of the system conceived to generate digital terrain models which was developed at the Instituto de Astrofísica de Canarias. The system, based on computer means, is designed to produce, automatically, high density digital terrain models as well as orthophotographies. The results of the quality tests to which the system has been subjected and the required processing time, are also included.

1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

1.1. Introducción.

Hace cuatro años que el Instituto de Astrofísica de Canarias (I.A.C.) inició el desarrollo de un proyecto para la realización de un sistema informático que fuera capaz de restituir automáticamente pares estereoscópicos de fotografías aéreas. El proyecto tenía como objetivo principal el crear un producto que fuera competitivo en tres campos de producción dentro de la fotogrametría: los modelos numéricos del terreno de densidad media-alta, los perfiles altimétricos y las ortofotografías (Martín et al., 1989). Actualmente, este sistema de generación de modelos numéricos del terreno se está empleando con éxito en la restitución de fotografías aéreas de escalas 1:10.000 a 1:80.000. Uno de los mayores logros del proyecto ha sido el conseguir calcular la correspondencia de cientos de miles de puntos entre imágenes estereoscópicas con la suficiente precisión y en tiempos competitivos, utilizando un equipo informático de bajo coste.

A continuación se describirá el sistema desarrollado en el I.A.C. que como se verá realiza el proceso de orientación relativa y absoluta, el de restitución y el de proyección mediante el uso exclusivo de medios informáticos. El sistema requiere como entradas las fotografías aéreas digitalizadas y genera a la salida los modelos numéricos del terreno y las ortofotografías en cinta magnética, que pueden reproducirse en material fotográfico con un sistema foto-impresor. El sistema también requiere como entrada un fichero con la medida de unos 25 puntos sobre las fotografías, que se realizan previamente con un programa auxiliar y que sirven para el cálculo de las orientaciones. A partir de ahí el sistema es totalmente automático y no exige ninguna intervención humana. En la segunda parte de esta comunicación se detallarán las prue-

bas de calidad a que se ha sometido al sistema. Los resultados son francamente satisfactorios en cuanto a precisión y tiempos de cálculo, y únicamente se han apreciado limitaciones cuando la calidad fotográfica original no permite una correcta digitalización de alguna parte del negativo. Incluso en esos casos no existe una pérdida de precisión sino que el sistema deja la zona en cuestión con cotas indefinidas.

En esta comunicación emplearemos el término modelo numérico del terreno para referirnos a una red regular de cotas de alturas, también llamada modelo digital de elevación. El término perfil altimétrico se empleará para el caso de un modelo numérico del terreno con espaciado entre puntos grande y cuyo uso se centra en la representación sencilla de alturas o en la producción de ortofotografías.

1.2. Digitalización.

Para la digitalización de las fotografías y para que éstas puedan ser introducidas al sistema es necesario el empleo de un digitalizador o microdensitómetro. Este dispositivo mide la transmisión de la película gracias a un proceso automático de barrido de muy alta velocidad. De esta manera, la información fotográfica queda almacenada en forma digital y puede ser introducida al sistema.

El paso estándar de digitalización requerido por nuestro sistema es de 50 micras, es decir, la distancia recorrida por el dispositivo de barrido entre medición y medición debe ser de 50 micras. Una fotografía aérea de 9 pulgadas, digitalizada con este paso, se convierte en una red de 4300 por 4300 elementos o píxeles. Básicamente este valor del paso de digitalización, que determina el tamaño de la red, viene impuesto en función de la precisión a alcanzar, del tiempo disponible para su procesado y de la capacidad de almacenaje en disco. Cuando los requerimientos de precisión no

son muy altos el sistema también admite fotografías digitalizadas con un paso de 100 micras.

La medida de la transmitancia de la película puede hacerse mediante una escala lineal o logarítmica ya que el sistema es poco sensible a esta diferencia, sin embargo, en ambos casos debe discretizarse la medida en 256 niveles, entre el punto más claro y el más oscuro de la película.

1.3. Cálculo de la Orientación.

Para poder realizar una restitución estereoscópica es necesario conocer con gran exactitud las posiciones y los ángulos de orientación de las fotografías en el momento de la toma. La determinación de estos parámetros se denomina cálculo de la orientación y suele dividirse en dos partes: orientación relativa y orientación absoluta (Chueca Pazos, 1982). Para la orientación relativa de las fotografías es necesaria la medición de coordenadas de algunos puntos sobre ellas (puntos de control), mientras que para la orientación absoluta, además, se requiere la referenciación al terreno de un cierto número de ellos. Estos puntos sobre el terreno de coordenadas conocidas, que son identificados y medidos sobre las fotografías, reciben el nombre de puntos de apoyo.

El sistema desarrollado en el I.A.C. calcula los parámetros de orientación de un par estereoscópico mediante la medición de 15 a 20 puntos de control y 4 o 5 puntos de apoyo. Los parámetros de la orientación relativa son utilizados por el sistema para generar dos nuevas imágenes que poseen geometría epipolar, para de esta manera facilitar el cálculo de correspondencias entre ellas. Existe correspondencia entre puntos de distintas imágenes cuando ambos son una proyección fotográfica de un mismo rasgo del terreno. Por lo tanto, el cálculo de correspondencias es equivalente a la búsqueda sobre dos imágenes de un mismo objeto, y la geometría epipolar restringe a una sola dimensión el proceso de rastreo.

Una vez se ha encontrado una correspondencia entre imágenes, es decir, se ha calculado el paralaje de un punto, la aplicación de los parámetros de orientación absoluta permite conocer las coordenadas sobre el terreno de dicho punto.

La medida de coordenadas sobre fotografías es el único punto donde interviene un operador humano en este sistema. Utilizando las imágenes digitalizadas esta medición se realiza de forma externa y sobre una pantalla de alta resolución. El tiempo empleado por un operador en este proceso es de unos 10 a 15 minutos. El programa de cálculo de orientaciones de este sistema permite una precisión en el cálculo de la relativa (paralaje vertical residual medio) de 1/4 del tamaño del píxel de digitalización y un residuo medio de la orientación absoluta equivalente o menor al tamaño del píxel de digitalización.

1.4. Procesado Previo.

Una vez determinados los parámetros de la orientación relativa el sistema genera dos nuevas imágenes que facilitarán el tratamiento posterior. Estas nuevas imágenes, que sustituyen a las originales en el resto del proceso, tienen una geometría

epipolar adecuada para la búsqueda de correspondencias y, además han sido creadas de forma que se han compensado pequeñas diferencias radiométricas que pudieran tener las originales. A su vez, estas imágenes son de menor tamaño ya que se ha desechado la zona de no solapamiento. La generación de estas imágenes se hace por interpolación bilineal sobre las originales, y a partir de ahora a ellas nos referiremos con el término imagen. La imagen digitalizada original sólo vuelve a emplearse para la generación de la ortofotografía evitándose de esta manera una segunda interpolación.

1.5. Cálculo de Correspondencias.

El algoritmo de cálculo de correspondencias constituye sin duda el núcleo más importante de este sistema. Básicamente se puede considerar dividido en dos partes. En la primera de ellas se determinan las correspondencias y en la segunda se realiza un filtrado para garantizar la calidad de las mismas. Ambas son importantes puesto que al ser robusta la eliminación de paralajes erróneos, el algoritmo de cálculo de correspondencias puede ser más rápido.

El proceso de medida de paralajes se desarrolla de la siguiente forma: se selecciona un rasgo de la primera imagen y se explora la línea epipolar correspondiente de la segunda, tratando de encontrar ese mismo rasgo. El rastreo de la segunda imagen se hace mediante funciones de correlación (correlación cruzada) de las cuales se extraen una serie de candidatos (posiciones donde aparece un máximo de correlación). Para el cálculo de estas funciones se emplean ventanas pequeñas rectangulares y, por ello, después es necesario decidir con entornos mayores cuál de los candidatos se acepta como correcto.

La selección de un rasgo en la primera imagen se hace en función de su derivada para garantizar un mínimo de contraste, y el número de rasgos que se buscan en cada línea es aproximadamente el mismo (30%), para que la distribución de puntos encontrados sea bastante densa y relativamente independiente de la textura del terreno. Este proceso de selección tiende a asegurar el hallazgo de las correspondencias pero genera una distribución irregular de los puntos encontrados.

El rastreo de la línea epipolar de la segunda imagen se realiza mediante la función correlación cruzada entre un entorno del rasgo buscado de la primera imagen y un intervalo relativamente amplio sobre la segunda. La función de correlación es multiplicada luego por un factor de correlación radiométrica que tiende a pesar positivamente aquellos valores de la correlación que además correspondan a unos valores radiométricos parecidos. De forma análoga, y para los mismos intervalos, se repite este cálculo para las derivadas de las imágenes y posteriormente se multiplican ambas funciones, forzando a que el producto sea cero cuando alguna de las dos es negativa. De esta manera los máximos de esta función producto se corresponden con una buena correlación entre ambas imágenes y sus respectivas derivadas. Sin embargo, dado que los entornos de correlación son pequeños y los máximos de esta función son considerados sólo co-

mo candidatos. Usualmente, la correspondencia correcta está situada en el primer o segundo máximo de esta función pero su validación definitiva se hace calculando, para esas posiciones, un nuevo valor de correlación en un entorno mayor (21x21 píxeles). Si este valor supera una cierta cota y no hay posible confusión con otro máximo que tenga un valor parecido, se acepta el punto. El paralaje del punto se calcula restando la coordenada x del punto en la primera imagen y la coordenada del máximo de una parábola ajustada al entorno del máximo de la función de correlación en la segunda imagen.

De esta forma una correspondencia es dada por válida cuando se cumple que: es un máximo relativo de la función de correlación cruzada de grises con ventana pequeña, es máximo relativo de la función de correlación cruzada de derivadas con ventana pequeña, es máximo absoluto de la función de correlación de grises en entorno grande sobre las posiciones candidatas y éste supera una cierta cota y, finalmente, no existe otra posición candidata con un valor de correlación de grises en entorno cercano al del máximo.

Todo el proceso de cálculo de paralajes se realiza de forma jerárquica procesando previamente imágenes reducidas un factor 8, para luego procesar las reducidas un factor 4 y así sucesivamente hasta llegar a las originales. De esta manera los paralajes calculados en cada caso sirven de estimación para el paso siguiente reduciéndose sustancialmente los intervalos a rastrear sobre la segunda imagen, a la vez que se gana en fiabilidad. Este proceso jerárquico tiene la ventaja del ahorro de tiempo en el procesado (por la reducción de los intervalos a rastrear) y permite detener el cálculo antes de llegar a las imágenes originales. Si el cálculo se detiene al finalizar el procesado de las imágenes reducidas un factor 2 podemos tener una estimación de los paralajes que para algunas aplicaciones puede ser suficiente. En este sistema es el usuario el que decide a priori en función de los requerimientos de precisión el nivel hasta el que quiere procesar.

Como puede verse, el proceso de determinación de correspondencias es bastante cuidadoso, no bastante, existe un pequeño porcentaje de puntos (inferior al 4%) que se han hecho corresponder de forma errónea. Esto es debido a que dado el cambio de perspectiva de las tomas, ciertos detalles del terreno, siendo distintos, pueden ser muy similares dentro de las ventanas utilizadas para la correlación. Para la eliminación de estos errores el sistema efectúa un análisis estadístico sencillo, tanto a nivel local como global, después de cada uno de los procesados de la estructura jerárquica.

Debido a la geometría del efecto estereoscópico la ordenación por su coordenada x de los puntos encontrados en una línea epipolar debe ser la misma en ambas imágenes. En un primer análisis efectuado línea a línea ya se eliminan los puntos que presentan inversión de orden. A su vez, en este análisis también se eliminan los puntos que en una imagen están muy próximos (con respecto a los tamaños de las ventanas) y en la otra están muy alejados. En un estudio global se calcula el histograma de paralajes encontrados y se eliminan aquellos grupos de pocos puntos que tienen un paralaje muy distinto del resto, ya que se parte de la suposición

de que las grandes extensiones de terreno tienen una distribución de alturas continua (que no es cierta en zona urbana). En un análisis local se estudia el paralaje de un punto en función del de sus vecinos más próximos. El punto se elimina cuando difiere en más de una cierta cantidad con respecto a la mediana de sus vecinos. La cota de validez se ha determinado después de un estudio de la dispersión de los valores locales para diferentes terrenos y, por supuesto, depende del nivel de procesado de la estructura jerárquica de que se trate. No obstante, esta cota siempre es inferior a dos veces el paralaje equivalente al tamaño del elemento de resolución del procesado. Finalmente, cuando un punto está aislado del resto y no es posible compararlo con fiabilidad con su entorno también es eliminado.

Para hacer más robusto este análisis estadístico de eliminación de errores no sólo se hace para todos los niveles jerárquicos sino que en cada caso se hace de forma iterativa hasta que ya no es eliminado ningún punto.

El sistema en su versión actual tiene ajustados los parámetros para que al final del proceso de búsqueda de correspondencias y de eliminación de errores se disponga de un valor de paralaje para el 15%-20% de todos los elementos de la imagen en la zona de solapamiento. Así, cuando se procesan imágenes sin reducción (típicamente de 4100 por 2600 elementos en la zona de solapamiento) el sistema encuentra el paralaje de 1.500.000 a 2.000.000 de puntos sobre el terreno. En imágenes reducidas un factor 2 el número de puntos encontrados es de 400.000 a 500.000.

1.6. La Generación de Modelos Numéricos.

Las coordenadas fotográficas de las parejas de puntos encontradas en el cálculo de correspondencias son convertidas por el sistema en una lista de coordenadas y alturas referidas al terreno mediante la aplicación de los parámetros de orientación absoluta. Esta lista de alturas posteriormente se distribuye en los nodos de una red regular cuadrada con un paso entre nodos seleccionado por el usuario. La asignación de un punto a la red se hace en el nodo de coordenadas planimétricas más cercano y cuando varios puntos coinciden en el mismo nodo el valor de altura adoptado es la media ponderada por la distancia al nodo de cada uno de ellos. De esta forma se va construyendo el modelo numérico del terreno que a continuación será necesario interpolar para dar un valor a todos sus nodos, ya que la distribución inicial no es homogénea. Para evitar que el número de nodos sin valor de altura asignado sea grande y que la interpolación pueda introducir inexactitudes, el paso mínimo recomendado por el sistema es de unas 250 micras a la escala de la fotografía, aunque el usuario puede seleccionar cualquier otro.

Para la interpolación de los nodos no asignados se ha desarrollado un método, basado en la media móvil, que consiste en estudiar el entorno del punto a interpolar con una ventana cuadrada que se va ampliando hasta que el número de puntos-dato contenidos en su interior es el adecuado (>6) y su distribución es buena (a ambos lados). Entonces se toma como valor interpolado la media aritmética ponderada con la distancia de los datos del entorno (Martín et al., 1990).

Una vez se ha determinado un modelo numérico del terreno es relativamente sencillo la obtención de una ortofotografía. Para ello hay que calcular, mediante los parámetros de orientación, qué valor radiométrico sobre el negativo tiene cada una de las coordenadas planimétricas de la zona. Con todos estos valores se construye otra red en la que en lugar de alturas se coloca el valor del tono gris del negativo en ese punto.

Para mejorar el aspecto fotográfico de la ortofotografía el sistema realiza finalmente un resalte de bordes laplaciano y un estiramiento lineal de su histograma de grises (Pratt, 1978). De esta manera se gana en contraste y en definición. La ortofotografía final puede ser visualizada en pantalla o ser reproducida en material fotográfico mediante un dispositivo fotoimpresor.

2. PRUEBAS DE PRECISIÓN

2.1. Zona de Estudio.

Para estudiar la precisión planimétrica y altimétrica del sistema se han procesado 47 pares estereoscópicos de escala fotográfica 1:30.000. El desnivel del terreno en la zona (Tamajón, Guadalajara) es muy importante: de 350 a 950 metros según el par. Los modelos numéricos se han generado a un paso de 5 metros, es decir, en promedio cada uno de ellos tiene unos 800 por 1.300 nodos lo cual equivale a unos 4 por 6,5 Kilómetros por par. El mosaico generado por todos ellos corresponde a una hoja del mapa 1:50.000 y tiene unos 21 millones de puntos con cota de alturas.

La digitalización de los negativos se realizó con un paso de 50 micras, es decir, la resolución de las imágenes originales equivale, aproximadamente, a 1,5 metros sobre el terreno. El procesado de las imágenes para el cálculo de las correspondencias se efectuó con una reducción de tamaño de un factor 2. Por lo tanto, los valores de paralaje se han calculado procesando imágenes que tienen una resolución sobre el terreno de 3 metros aproximadamente, de esta manera los tiempos de ordenador no eran muy altos. No obstante, la resolución original de las imágenes (1,5 metros) fue la utilizada en la medida en pantalla de los puntos para el cálculo de las orientaciones.

2.2. Comparación con los Puntos de Apoyo.

El primer estudio de precisión se ha realizado comparando la altura nominal de todos los puntos de apoyo existentes en la zona con la altura dada por cada uno de los modelos numéricos generados en el nodo de coordenadas planimétricas más próximas.

A partir de la estadística de esta comparación de alturas, donde se ha supuesto un error planimétrico nulo, se ha determinado una desviación estándar de 3,12 metros y un error medio de -0,18 metros. El número de puntos de apoyo cuya altura se ha comparado es de 293 y hay que resaltar que si bien su medición en pantalla se ha utilizado para el cálculo de los parámetros de orientación, durante el proceso de cálculo de los paralajes estos puntos no han seguido ningún tratamiento especial y por tanto se pueden considerar

una buena muestra.

2.3. Comparación con los Puntos de Control.

Cuando se aplican los parámetros de orientación a los puntos de control medidos por el operador sobre fotografías, también se obtiene un conjunto de puntos con coordenadas terrestres conocidas, aunque con menor precisión que los puntos de apoyo. Estos puntos sólo tienen el error debido al digitalizado y a la orientación y, por ello, también pueden ser empleados para estimar el error altimétrico.

La desviación estándar de la diferencia de alturas entre los 1086 puntos de control y la dada por el modelo numérico correspondiente en el nodo de coordenadas planimétricas más próximas es de 3,12 metros y la diferencia media de -0,15 metros.

Estos valores nos permiten concluir que el cálculo de paralajes no introduce errores sistemáticos y que el modelo está de acuerdo con la orientación, es decir, si la orientación es buena el modelo también lo es. Hay que recordar que los puntos de control han sido escogidos principalmente en la parte exterior de la zona de solapamiento, es decir, las condiciones de la comparación son las más desfavorables.

2.4. Solapamiento entre Modelos.

Una tercera comparación se ha realizado viendo la consistencia de los propios modelos entre sí. Para ello, se toman dos modelos contiguos y se ven las diferencias de alturas para todos los nodos comunes (mismas coordenadas planimétricas). Como el conjunto de pares estereoscópicos forman un bloque, todos los modelos tienen un solapamiento importante con los adyacentes. Teniendo en cuenta la densidad de los modelos (un punto de cota conocida cada 5 metros), el número de puntos involucrados en una comparación entre dos modelos es de varios cientos de miles (de 250.000 a 400.000 según los pares).

La desviación estándar de la diferencia de alturas entre modelos es de 4,95 metros y la diferencia media (modelo a modelo) no es nula y sí es consistente con el error residual de la orientación en los extremos de los modelos. Hay que precisar que los parámetros de orientación han sido calculados por el sistema par a par y que, por lo tanto, este error es disminuable con el empleo de un ajuste por aerotriangulación.

Si tenemos en cuenta que este valor de diferencia de alturas es de un modelo con respecto a otro y no de ambos con respecto al terreno, cabe esperar que el error real de las alturas sea inferior a este valor y cercano a 4 metros. Como hemos visto anteriormente no parece haber errores sistemáticos.

2.5. Comparación Cruzada entre Puntos de Control.

Para ver y evaluar los errores que pueden introducir dos orientaciones distintas sobre las coordenadas de los puntos cuyo paralaje se ha calculado, se han tomado todos los puntos de control comunes a dos pares y se ha determinado cuáles son las diferencias de sus coordenadas terreno según

la orientación de cada par. Los errores que influyen en estas diferencias son los debidos a la digitalización, a la medida en pantalla y a los residuos del cálculo de orientaciones.

El conjunto de puntos total es de 396 y los valores obtenidos son: 1,3 metros de desviación estándar para la diferencia de coordenadas x, 1,5 metros para la diferencia de coordenadas y, 2,2 metros para la diferencia de alturas. Por lo tanto, podemos deducir que, modelo a modelo, es esperable una diferencia alimétrica para puntos comunes, debida a la orientación, en torno a 2,2 metros. Este valor está de acuerdo con la dispersión de las diferencias medias entre modelos contiguos mencionada anteriormente. Con respecto al terreno, sin embargo, estas diferencias deben ser menores. Es importante resaltar que los puntos comparados se encuentran realmente en los extremos de ambos modelos y que por ello los errores se pueden considerar máximos.

Así, el error de orientación resulta ser, para estos pares, menor que la mitad del paso del modelo y del orden del tamaño del píxel utilizado en el procesado (para el cálculo de los paralajes las imágenes utilizadas han sido reducidas un factor 2).

2.6. Conclusiones del Estudio de Precisión.

Como principales conclusiones de los estudios de precisión expuestos anteriormente podemos resaltar: a) Los modelos son consistentes internamente, es decir, se ajustan bien a su orientación y ésta tiene un error en torno o menor a los 2 metros con respecto al terreno en las partes más alejadas del modelo (responsable de la diferencia no nula entre modelos contiguos), b) la diferencia de orientaciones introduce un error planimétrico en los modelos cercano a 1 metro, y c) el error alimétrico del mosaico completo construido con todos los 47 modelos numéricos del terreno debe ser próximo a los 4 metros (desviación estándar) y sería mejorable con un proceso de aerotriangulación.

Finalmente, para valorar en su justa medida la precisión del sistema hay que recordar las condiciones de partida, esto es, desnivel de los pares entre 350 y 950 metros, paso de digitalización (resolución) de las fotografías equivalente a 1,5 metros, procesado de las imágenes para el cálculo y la determinación de las correspondencias y paralajes con una resolución de 3 metros sobre el terreno y paso del mosaico de 5 metros (las comparaciones siempre se han hecho con las coordenadas del punto más próximo).

3. TIEMPOS DE CÁLCULO

Los tiempos de cálculo y el automatismo del sistema son también otra de las grandes ventajas de este desarrollo. Una vez digitalizadas las fotografías (aproximadamente 30 minutos para cada una de ellas) y medidos los 15 a 20 puntos sobre cada una de ellas para el cálculo de las orientaciones (10 a 15 minutos por par) el proceso es totalmente automático y puede ejecutarse en modo BATCH. Como resultado de este proceso se obtiene un modelo numérico para cada par y, si se desea, una ortofotografía.

El procesado de los 47 pares de Tamajón objeto del estu-

dio de precisión se ha realizado sobre un ordenador Micro-VAX-3600 de Digital Equipment Corporation y el tiempo medio de proceso por par, incluyendo el cálculo de la orientación, la determinación de los paralajes y la construcción del modelo al paso deseado ha sido de 4 horas y 2 minutos por modelo.

Se han realizado pruebas de tiempos en otros ordenadores, utilizando imágenes un poco menores, y de ellas podemos concluir que el procesado de un par para la generación de un modelo con la misma resolución que los 47 anteriores tarda unas 2 horas y 40 minutos en un ordenador SUN Sparc 1 y unas 2 horas en PC 486. En un ordenador SUN Sparc 2 el tiempo es de 1 hora y 15 minutos. En estos tiempos no están incluidos el digitalizado ni la medida de los puntos de control. La construcción del mosaico a partir de los modelos individuales tampoco está considerada, puesto que es externa al sistema. La generación de una ortofotografía implica un tiempo de procesado adicional cercano a 1 hora (Micro-VAX), sin embargo, el modelo sobre el que se basa puede ser producido en 1 hora y 15 minutos si los requerimientos de precisión no son muy altos (equivalentes a la escala de la fotografía).

4. CONCLUSIONES

Hemos presentado en esta comunicación una descripción breve y unas pruebas de precisión del sistema de generación de modelos numéricos del terreno desarrollado por el Instituto de Astrofísica de Canarias. Este sistema requiere una intervención mínima de un operador en el proceso inicial de medida sobre pantalla para el cálculo de las orientaciones. A continuación el sistema procesa automáticamente las imágenes hasta la obtención del modelo numérico y de la ortofotografía, al paso requerido por el usuario. El sistema descrito tiene una calidad (precisión de los modelos y tiempos de procesado) que los hacen muy competitivo con los métodos clásicos. Por ejemplo, partiendo de la digitalización de un par estereoscópico de escala 1:30.000, el sistema es capaz de generar un modelo numérico del terreno de 800 por 1.300 nodos (a un paso de 5 metros) con una precisión alimétrica del orden de 4 metros (desviación estándar), en un tiempo ligeramente superior a las 4 horas sobre un ordenador Micro-VAX-3600.

El sistema está en explotación en la empresa Galileo de Ingeniería y Servicios S.A., quien ha desarrollado los programas necesarios para la realización del mosaico a que se hace referencia en este escrito.

5. BIBLIOGRAFIA

- ✓ CHUECA PAZOS, M. (1982): *Topografía*. Vol.2. Ed. Dossat. Madrid.
 - ✓ MARTÍN, C. et al. (1989): Obtención automática de modelos numéricos del terreno. En *III Reunión Científica del Grupo de Trabajo en Teledetección*. Madrid. pp.201-208. Asoc. Esp. de Teledetección.
 - ✓ MARTÍN, C.; CARRANZA, J.M.; GÓMEZ, M.F. (1990): Interpolación de modelos numéricos del terreno. En *IV Simposium Nacional de Reconocimiento de Formas y Análisis de Imágenes*. Granada. pp.36-43. Soc. Esp. de Rec. de Formas y Anál. de Imágenes.
 - ✓ PRATT, W.K. (1978): *Digital Image Processing*. Ed. John Willey & Sons. New York.
-