

Generación de estéreo-imágenes mediante rectificación digital

Stereo-images generation by digital rectification

M. Jáuregui, J. Vílchez, L. Chacón* y L. Jáuregui
Instituto de Fotogrametría, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes
*leirac@ula.ve

Resumen

Una estéreo-imagen es un par de imágenes que orientadas adecuadamente y observadas en forma simultánea, permite su visión en tres dimensiones. Usualmente, estas dos imágenes presentan deformaciones causadas por inclinación de la cámara, desniveles y pendiente del terreno. Si una de estas imágenes se rectifica en forma rigurosa, y simultáneamente se genera otra imagen asociada que contenga las paralajes correspondientes, se obtiene un par de imágenes que permite la visión estereoscópica así como la medición de desniveles. La estéreo-imagen generada mediante este procedimiento se llama estéreo-ortoimagen y es de gran utilidad en la obtención de información planialtimétrica del terreno y en la fotointerpretación de la topografía de una zona. El procedimiento descrito en este artículo se realiza en tres etapas: Primero, se rectifica en forma rigurosa la imagen original. Segundo, se determinan las paralajes horizontales de cada punto del modelo digital de elevación del terreno (MDET), referidos a un plano horizontal y a una base de vista establecidos. Tercero, con estas paralajes se determina la posición de cada punto de la imagen rectificadas sobre la imagen asociada.

Palabras claves: Estéreo-imagen, estéreo-ortoimagen, rectificación digital, MDET, ortofoto,

Abstract

A stereo-image is a pair of images that observed simultaneously allows for 3D visualization. Usually these images have deformations due to camera tilt and terrain relief. When one of these images is rigorously rectified and at the same time other image containing the corresponding parallaxes is associated, an stereo-image is generated, which allows for 3D visualization and height difference measurements. This stereo-image is named stereo-orthoimage, which is useful for planialtimetric information extraction of the terrain surface. This paper shows the procedure to generate a digital stereo-orthophoto from an aerial image and the corresponding Digital Terrain Elevation Model (DTEM).

Key works: Stereo-image, stereo-orthoimage, digital rectification, DETM, orthophoto.

1 Introducción

Una estéreo-imagen consiste en un par de imágenes homólogas que orientadas y observadas en forma simultánea, permiten su visión en tres dimensiones. Usualmente, estas dos imágenes presentan deformaciones causadas por inclinación de la cámara, desniveles y pendiente del terreno. Si una de estas imágenes se rectifica para obtener una ortofoto, y simultáneamente se genera otra imagen asociada o *estereomate* que contenga las paralajes correspondientes, se logra de igual forma la visión estereoscópica, y esta estéreo-imagen se le conoce como estéreo-ortoimagen.

En este artículo se muestra un procedimiento desarrollado para la elaboración de estéreo-ortoimágenes digitales.

La ortofoto digital se elabora a partir de la información

geométrica obtenida del Modelo Digital de Elevación del terreno, MDET, y de la información radiométrica de la imagen original, aplicando las ecuaciones de colinealidad y procedimientos de remuestreo de los valores radiométricos de la imagen original. La *estereomate* digital se elabora introduciendo en los puntos imagen de la ortofoto digital las paralajes calculadas a partir de la intersección del MDET con el plano de referencia y de la base de toma de vista establecida. De esta forma, se obtiene lo que se denomina Realidad Virtual Mensurable (MVR – *Measurable Virtual Reality*), la cual utiliza los principios de la estereovisión humana para la visualización y medición de diferencias de altura (Deren, 2002).

Las estéreo-ortoimágenes son de gran utilidad en la obtención de información planialtimétrica del terreno y en la

fotointerpretación de la topografía de la zona (Baltsavias, 1996).

2 Generación de la estéreo-ortoimagen rectificada

La representación de un punto del terreno en el plano negativo de la imagen se realiza mediante la línea proyectiva que va desde el punto, pasando por el centro de proyección O hasta su intersección con ese plano negativo, como se observa en la Fig. 1.

Si se tiene una sola imagen fotográfica y se quiere conocer la posición de un punto P sobre la superficie del terreno, es necesario reconstruir la línea proyectiva correspondiente a partir de las coordenadas del punto imagen p y del centro de proyección O . La longitud de la línea L será determinada a partir de la información planialtimétrica del punto, obtenida de un MDET. La línea proyectiva es representada mediante las ecuaciones de colinealidad

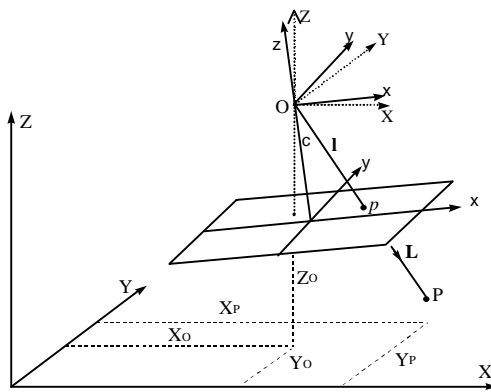


Fig. 1. Reconstrucción del rayo proyectivo entre el punto imagen, centro de proyección y punto terreno.

La rectificación rigurosa de imágenes fotográficas en forma digital se realiza transformando la posición de cada punto del MDET a su posición sobre la imagen. En el procedimiento que se presenta, como la celda del MDET ya está geo-referenciada, sólo resta ubicar su posición en la imagen original para determinar el tono de gris correspondiente.

La *estereomate* digital se genera mediante el desplazamiento horizontal de cada uno de los píxeles de la ortofoto, a diferencia de otros métodos (Deren y Jianya, 2002). Estos desplazamientos son los paralajes horizontales determinados respecto a un plano medio de referencia, establecido a partir de las alturas del MDET, y de una base de toma que garantice una buena visión estereoscópica. Esta base se determina en función de la escala y del formato de la ortofoto, así como del recubrimiento longitudinal deseado. Una vez calculada la posición de cada celda del MDET en la *estereomate*, se le asigna el mismo tono de gris asignado a su homólogo en la ortofoto.

3 Procedimiento

El procedimiento presentado permite generar la estéreo-ortoimagen digital a partir de una imagen analógica digitalizada y de un MDET del área cubierta por esta imagen. El procedimiento mostrado en la Fig. 2, consta de tres grandes partes: Primera, se rectifica en forma rigurosa la imagen original. Segunda, se determinan los paralajes horizontales de cada punto del modelo digital de elevación del terreno (MDET), referidos a un plano horizontal y a una base de vista establecidos. Tercera, a partir de estas paralajes y de la imagen ortorectificada, se determina la posición de cada punto imagen de la *estereomate*. A continuación se describe cada una de las fases del procedimiento.

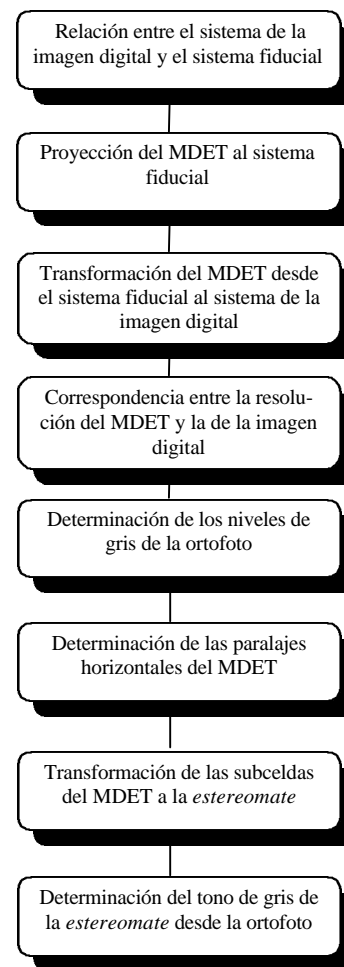


Fig. 2. Esquema del procedimiento

3.1 Relación entre el sistema de la imagen digital y el sistema fiducial

La imagen analógica está definida mediante un sistema de coordenadas fiduciales x, y, z , con origen en el centro de proyección O , situado a una distancia c de la fotografía, se-

gún se observa en la Fig. 1. Un punto cualquiera p de la imagen fotográfica tiene coordenadas x_p, y_p, c en el sistema fiducial.

La imagen digital se organiza en un arreglo de píxeles, dispuestos en filas y columnas paralelas a un sistema de ejes x' y y' , respectivamente. En la Fig. 3 se muestra la relación entre el sistema de coordenadas fiduciales x, y de la fotografía y el sistema de coordenadas x', y' de un dispositivo de digitalización (sistema del escáner), apreciándose una traslación x_0, y_0 y una rotación α .

La relación entre las imágenes digital y analógica se establece mediante una transformación Afín. El procedimiento se realiza en dos fases. Primero, se determinan los parámetros de la transformación Afín desde el sistema de la imagen digital al sistema fiducial. Segundo, se transforman las coordenadas de los puntos de control desde la imagen digital al sistema fiducial.

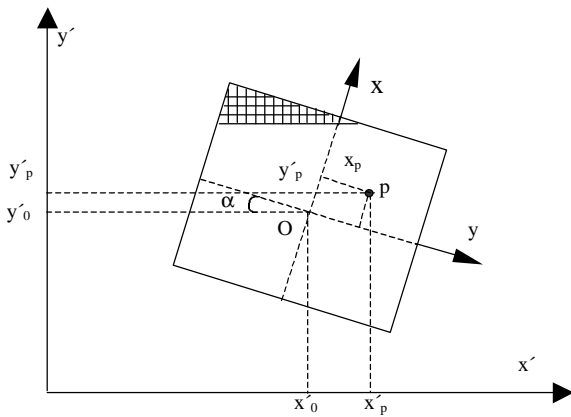


Fig. 3. Relación entre la proyección del sistema fiducial de la fotografía y el sistema de la imagen digital.

La transformación Afín desde la imagen digital al sistema fiducial se define mediante las Ec. 1

$$\begin{aligned} x &= a_1 x' + a_2 y' + a_3 \\ y &= a_4 x' + a_5 y' + a_6 \end{aligned} \quad (1)$$

donde, x, y son las coordenadas en el sistema fiducial
 x', y' son las coordenadas en el sistema de la imagen digital

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ son los parámetros de transformación de coordenadas desde el sistema de la imagen digital al sistema fiducial

Los parámetros de la transformación Afín (Ec. 1) se determinan usando las cuatro marcas fiduciales con coordenadas conocidas en ambos sistemas. Luego, se transforman los puntos de control quedando referidos planimétricamente al centro de la imagen fotográfica. Dado que en el proceso de rectificación rigurosa de la imagen fotográfica se requiere transformar los nodos del MDET al sistema del escáner, es conveniente en esta fase determinar en forma análoga, los parámetros de transformación Afín desde el sistema fi-

ducial al sistema del escáner.

En el caso de que no se conozcan las coordenadas de las marcas fiduciales en el sistema fiducial, se pueden determinar en forma aproximada mediante la Ec. 2 (Doytsher y Hall, 1995).

$$\begin{aligned} x &= (x' - x'_0) \cos \alpha - (y' - y'_0) \text{sen} \alpha \\ y &= (x' - x'_0) \text{sen} \alpha + (y' - y'_0) \cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

donde, x_0, y_0 son las coordenadas del centro de la fotografía en el sistema de la imagen digital
 α es el ángulo de rotación entre el sistema fiducial y el sistema de la imagen digital

El centro de la fotografía se calcula mediante la Ec. 3 y el ángulo α mediante la Ec. 4.

$$x'_0 = x'_1 + (x'_3 - x'_1) \frac{b_1}{b_1 - b_2} \quad (3)$$

$$y'_0 = y'_1 + (y'_3 - y'_1) \frac{b_1}{b_1 - b_2}$$

$$b_1 = (y'_1 - y'_4)(x'_2 - x'_4) - (x'_1 - x'_4)(y'_2 - y'_4)$$

$$b_2 = (y'_3 - y'_4)(x'_2 - x'_4) - (x'_3 - x'_4)(y'_2 - y'_4)$$

donde, $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ son las coordenadas de las marcas fiduciales en el sistema de la imagen digital, siguiendo la numeración de la Fig. 4.

$$\alpha = \arctan \frac{y'_3 - y'_0}{x'_3 - x'_0} \quad (4)$$

En el caso de que las marcas estén dispuestas en las esquinas como se muestra en la Fig. 4, el valor de α debe ser transformado a $\alpha = |\alpha| - \pi / 4$.

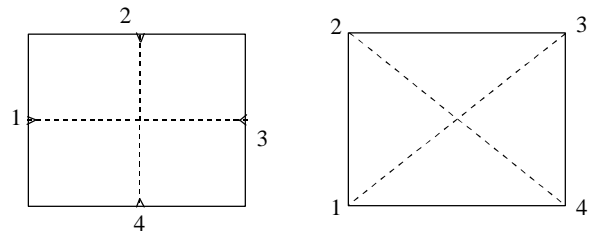


Fig. 4. Disposición de las marcas fiduciales sobre la fotografía dependiendo del tipo de cámara.

3.2 Transformación del MEDT desde el sistema de terreno al sistema fiducial

En esta etapa se proyectan los nodos del MDET al sistema de la imagen analógica. Esto se realiza en dos fases: Primero, se determinan los parámetros de transformación entre el sistema del terreno y el sistema fiducial, usando los

puntos de control. Segundo, con estos parámetros se transforman las coordenadas de los nodos del MDET al sistema fiducial. Esto se realiza usando las ecuaciones de colinealidad.

En la Fig. 1 puede observarse que las coordenadas del centro de proyección O en el sistema X,Y,Z (sistema del terreno) son X_0, Y_0, Z_0 . Este sistema se encuentra girado los ángulos ω, ϕ, κ en relación a los ejes x, y, z (sistema fiducial), respectivamente. La determinación de los parámetros de transformación entre estos sistemas ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$) requiere la utilización de puntos de control sobre el terreno que aparezcan en la fotografía y de las ecuaciones de colinealidad. La forma general de las ecuaciones de colinealidad se tiene en la Ec. 5.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} = k^* A^T * \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

donde, x, y, -c son las coordenadas de los puntos de control en la imagen respecto al sistema fiducial
c es la distancia principal de la cámara fotogramétrica

X, Y, Z son las coordenadas de los puntos de control en el sistema del terreno

X_0, Y_0, Z_0 son las coordenadas del centro de proyección O en el sistema del terreno

k es el factor de proporción entre el vector **l** y el vector **L** para cada punto

A es la matriz ortogonal de rotación, definida por el giro de la fotografía (sistema fiducial) respecto al sistema del terreno en el instante de la exposición

Las Ec. 5 pueden expresarse en las Ec. 6 y 7, en las cuales los a_{ij} son los elementos de la matriz A. Estas ecuaciones son rigurosas y no lineales en términos de los seis parámetros incógnitas $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$.

$$\frac{x}{-c} = \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (6)$$

$$\frac{y}{-c} = \frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (7)$$

3.3 Transformación del MDET desde el sistema fiducial al sistema de la imagen digital

En esta parte se transforman las coordenadas de cada nodo del MDET, desde el sistema fiducial al sistema de la imagen digital, mediante la Ec. 1 y los parámetros determinados en la primera etapa del procedimiento.

En esta parte se transforman las coordenadas de cada nodo del MDET, desde el sistema fiducial al sistema

de la imagen digital, mediante la Ec. 1 y los parámetros determinados en la primera etapa del procedimiento.

3.4 Correspondencia entre la resolución del MDET y la de la imagen digital

En el paso 3.3 sólo se determinó la posición de cada celda del MDET, referida en el sistema fiducial, en el sistema de la imagen digital. Como el tamaño de las celdas del MDET es mayor a las de la imagen digital, las celdas del modelo deben ser divididas en subceldas, cuyas alturas son desconocidas. La correspondencia geométrica entre cada subcelda del MDET y la imagen digital, puede determinarse de dos maneras: i) utilizando las ecuaciones de colinealidad o, ii) utilizando la transformación proyectiva. En la primera, se requiere conocer la coordenada Z_i de cada nodo de la subcelda i , la cual se tiene sólo para los nodos de las celdas del MDET, es decir, sería necesario generar un nuevo MDET a la resolución de la imagen fotográfica. Esto involucra un gran volumen de cálculo e información a almacenar. En la segunda manera no se necesita la coordenada Z_i , ya que lo que se hace es proyectar directamente cada subcelda sobre la imagen digitalizada, considerando cada celda del MDET (dentro de la cual se encuentran las subceldas a proyectar) como un plano, reduciendo notablemente el proceso de cálculo (Fig. 7) (Jáuregui y otros, 2000).

La transformación proyectiva de cada subcelda i del MDET en la imagen digital tiene la forma siguiente:

$$\begin{aligned} x_i &= a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i + a_3 X_i Y_i \\ y_i &= b_0 + b_1 X_i + b_2 Y_i + b_3 X_i Y_i \end{aligned} \quad (8)$$

donde, x_i, y_i son las coordenadas de los nodos de cada subcelda en el sistema de la imagen digital.

X_i, Y_i son las coordenadas de los nodos de cada subcelda en el sistema del terreno.

$a_0, a_1, a_2, a_3, b_0, b_1, b_2, b_3$ son los parámetros de transformación proyectiva.

Para la solución de este sistema de ecuaciones de 8 incógnitas, es necesario conocer las coordenadas de al menos 4 puntos en ambos sistemas, esto es, las coordenadas de los cuatro nodos de cada celda del MDET, tanto en el sistema de terreno como en el sistema de la imagen digital. Una vez conocidos los parámetros de la transformación proyectiva, se procede a transformar las coordenadas X_i, Y_i de cada subcelda i a la imagen digital.

3.5 Determinación de los niveles de gris de la ortofoto

En esta parte se termina de elaborar la ortofoto digital. Para ello se asigna el tono de gris a cada subcelda del MDET que ha sido proyectada sobre la imagen digital en el paso 3.4. En general, las subceldas del MDET proyectadas sobre la imagen digital no coinciden con ninguno de sus píxeles, por el contrario, lo más común es que exista una superposición parcial sobre varios de ellos (Fig. 8). Por esta

razón se hace necesario realizar una interpolación del tono de gris, a partir de los valores de los píxeles de la imagen digital superpuestos por la subcelda, para obtener el valor

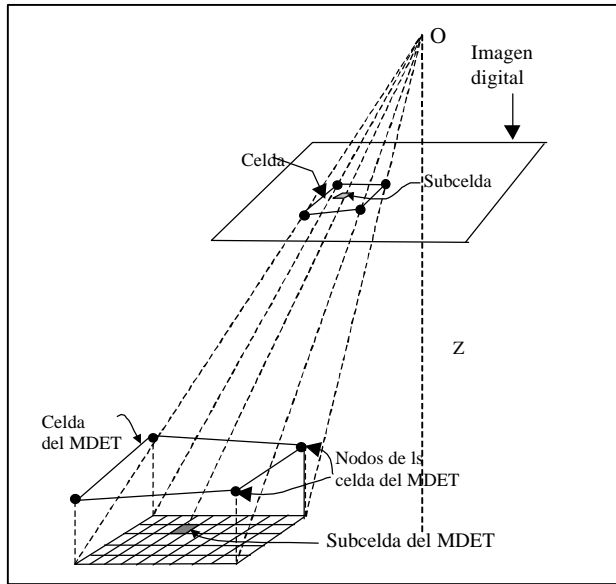


Fig. 7. Proyección y densificación del MDET

de gris de cada una de ellas. Los métodos de interpolación comúnmente usados son el vecino más cercano, áreas proporcionales, áreas significativas entre otros.

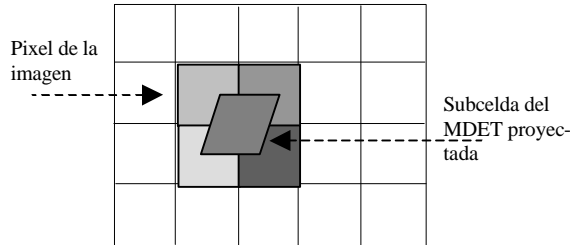


Fig. 8. Proyección de una subcelda del MDET sobre la imagen digital

3.6 Determinación de las paralajes horizontales del MEDT

En esta etapa se determinan las paralajes horizontales de cada nodo del MDET en el sistema del terreno respecto al plano de referencia. Con estas paralajes y una base de

toma de vista adecuada se transforman las coordenadas de cada nodo j del MDET al sistema de la *estereomate*, involucrando sólo un factor de escala en la dirección del eje X entre ambos sistemas.

Las paralajes horizontales P_{xj} para cada nodo j del MDET se determinan mediante la Ec. 9 (Zorn, 1971).

$$P_{xj} = \Delta H_j B / (Z_R - \Delta H_j) \quad (9)$$

donde, ΔH es la diferencia entre la altura de cada nodo j (H_{pj}) y el plano de referencia. El plano de referencia se establece de tal forma, que su altura (H_R) sea igual a la altura menor del MDET, esto es $\Delta H_j = H_{pj} - H_R$

Z_R es la altura relativa de vuelo determinada como la diferencia entre la altura del centro de proyección Z_O y H_R

B es la base de toma de vista de la *estéreo-ortofoto*. (Un valor de $B=Z_R/5$ garantiza una buena visión estereoscópica)

Las coordenadas X'_j de cada nodo j del MDET en el sistema de la *estereomate* se determinan mediante la Ec. 10.

$$X'_j = X_j + P_{xj} \quad (10)$$

donde, X'_j es la coordenada en el eje X' del nodo j en el sistema de la *estereomate*

X_j es la coordenada en el eje X del nodo j en el sistema del terreno

P_{xj} es la paralaje horizontal del nodo j

3.7 Transformación de las subceldas del MDET a la estereomate

La posición de los nodos del MDET en el sistema del terreno y en el sistema de la *estereomate*, permite determinar los parámetros de transformación proyectiva entre ambos sistemas. Con ellos se determina la posición de cada subcelda del MDET en la *estereomate*, generándose un arreglo con el mismo número de subceldas pero de diferentes tamaños y formas, como se muestra en la Fig. 9. Obviamente, cada subcelda deformada tiene asociado el tono de gris que tiene su correspondiente píxel en la ortofoto.

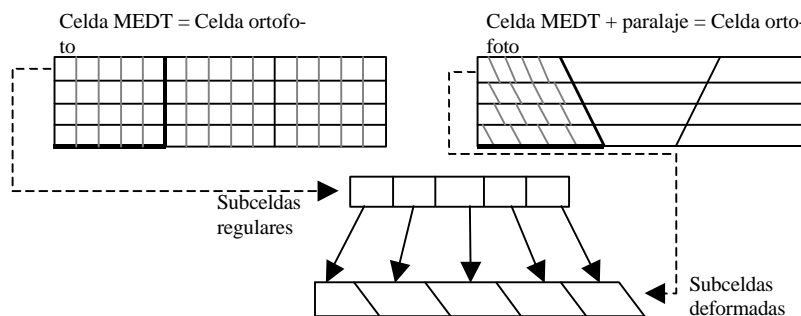


Fig. 9. MEDT y la estereomate

3.8 Determinación del tono de gris de la estereomate.

La imagen de la *estereomate* se crea a partir de los valores radiométricos de la ortofoto digital. La variación geométrica entre la ortofoto y la *estereomate* radica en una deformación de las subceldas de cada fila de la *estereomate* con respecto a la ortofoto. Por lo tanto, para generar la imagen de la *estereomate*, es necesario disponer de un arreglo de píxeles a la misma resolución de la ortofoto.

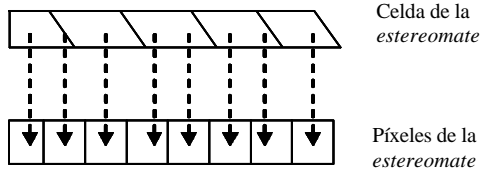


Fig. 10. Interpolación lineal de los píxeles de la *estereomate*

Pueden entonces presentarse situaciones en las que en una fila de la *estereomate* se tengan más o menos píxeles que en su correspondiente fila en la ortofoto, como se muestra en la Fig. 10. De esta manera, se establece una correspondencia entre cada subcelda del arreglo y las

subceldas deformadas, con el objeto de asignarle el tono respectivo.

4 Aplicación

Para mostrar la aplicación del procedimiento, se seleccionó el área del pueblo de Chiguará del Estado Mérida. La escala de la fotografía de la zona fue de 1:10.000, tomada con una cámara gran angular de distancia principal igual a 152,4 mm y formato 23 cm x 23 cm. El área es de relieve montañoso, con alturas medias que oscilan entre 400 m y 1400 m sobre el nivel medio del mar, generando grandes desplazamientos por relieve.

El MDET fue generado a partir de un plano topográfico a escala 1:2.500 de la zona, con intervalos entre curvas de nivel de 10 m (Fig. 11). El tamaño de la malla se hizo igual a 5 m, valor que garantiza un RMS en la altura igual a 0,95 m, con un valor residual máximo de 9,3 m, obteniéndose 1,7% de valores residuales mayores de 1/3 de intervalos entre curvas. El MDET del área fue generado por el método de interpolación de *Kriging*, haciendo uso del software *Surfer for Windows*TM. La fotografía aérea fue digitalizada a una resolución óptica de 600 dpi y los puntos de control y las marcas fiduciales fueron vectorizadas en la pantalla usando el software *Map Maker*TM.

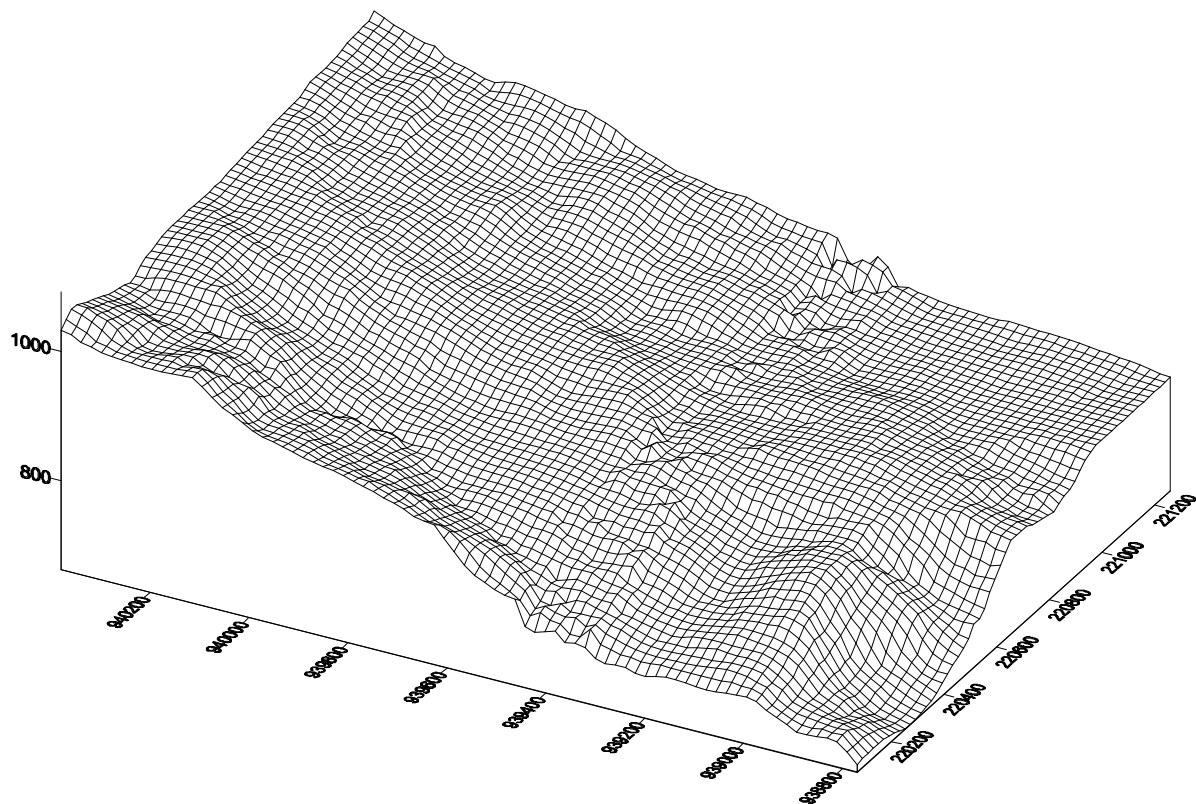


Fig. 11. Vista en perspectiva del MDET del área de aplicación.

Tabla 1. Transformación Afín de imagen digital a la imagen analógica

Marcas fiduciales	Sistema de la imagen digital		Sistema fiducial		Residuales	
	x	y	x (mm)	y(mm)	Vx (mm)	Vy(mm)
1	60.40	5427.90	-103.033	110.118	0.000	0.017
2	5026.03	5379.36	107.115	104.571	0.001	- 0.017
3	5004.96	316.27	102.663	-109.722	0.000	0.017
4	42.84	350.18	-107.347	-104.797	0.000	- 0.016

Puntos de control	Sistema de la imagen digital		Sistema fiducial		Residuales	
	x	y	x (mm)	y(mm)	Vx (mm)	Vy(mm)
1	2736.6	4871.8	10.252	85.720		
2	719.5	2490.4	-77.092	-14.189		
3	2665.7	1247.7	4.650	-68.420		
4	1591.0	3848.9	-39.122	43.000		
5	1376.2	2866.4	-48.938	1.349		
6	2502.9	3487.6	-0.651	26.991		

$a_0 = -109.407597$, $a_1 = 0.042467$, $a_3 = 0.000707$, $b_0 = -119.641906$, $b_1 = -0.000699$, $b_2 = 0.042546$
 $RMSE_x = \pm 0.000$ mm $RMSE_y = \pm 0.017$

Tabla 2. Transformación mediante colinearidad de las coordenadas de los puntos de control

Puntos de control	Sistema fiducial		Sistema de Terreno			Discrepancias	
	x (mm)	y(mm)	X(m)	Y(m)	Z(m)	Δx (mm)	Δy (mm)
1	10.252	85.720	221010.17	940370.22	1065.75	-0.02	0.13
2	-77.092	-14.189	220179.03	939200.26	769.47	0.03	-0.30
3	4.650	-68.420	221234.32	938784.59	844.20	-0.17	0.06
4	-39.122	43.000	220565.27	939905.61	939.89	0.09	-0.25
5	-48.938	1.349	220515.75	939453.38	883.56	-0.11	0.34
6	-0.651	26.991	220999.62	939809.52	942.50	0.17	0.00

$RMSEX = \pm 0.116$ mm, $RMSEY = \pm 0.219$ mm

Valores de la orientación exterior:

$X_0 = 221098.798$ m ± 0.0939 m

$Y_0 = 939537.920$ m ± 0.1828 m

$Z_0 = 2550.796$ m ± 0.0112 m

$\kappa = 0.1756860$ rad ± 0.000053 rad

$\phi = 0.0281194$ rad ± 0.000031 rad

$\omega = 0.0026079$ rad ± 0.000004 rad

$$\text{Matriz de rotación A de la fotografía: } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.98429619 & -0.17426973 & -0.02812588 \\ -0.17434245 & 0.98468507 & -0.00013516 \\ 0.02767158 & 0.00503658 & 0.99960438 \end{bmatrix}$$

Los parámetros de la transformación Afín fueron obtenidos usando las coordenadas de las cuatro marcas fiduciales como datos, tanto en el sistema de la imagen como en el sistema fiducial en la Ec. 1, y con ellos se transformaron los siete puntos de control (Tabla 1) al sistema fiducial.

Usando las coordenadas de los seis puntos de control tanto en el sistema fiducial como en el del terreno (Tabla 2), y las ecuaciones de colinearidad (Ec. 2), los

parámetros de orientación fueron determinados. A partir de estos parámetros, los nodos del MDET fueron proyectados sobre la imagen fotográfica usando las Ec. 3 y 4. La imagen resultante de esta rectificación se muestra en la Fig. 11, coincidiendo con la restitución fotogramétrica lo que pone en evidencia la exactitud de este proceso de transformación. Finalmente, en la Fig. 12 se tiene la *estereomate* correspondiente a la imagen de la Fig. 11.

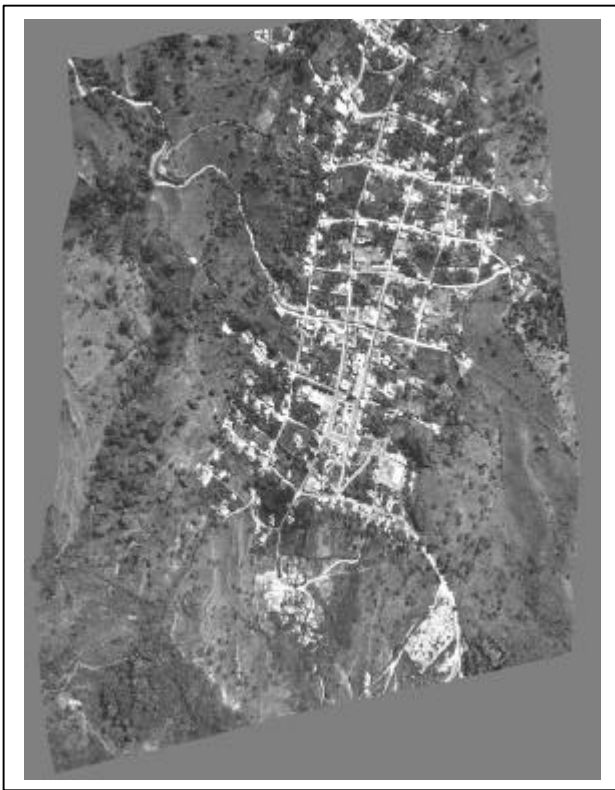


Fig. 11. Comparación entre la restitución fotogramétrica y la ortofoto



Fig. 12. *Estereomate* de la ortofoto de la Fig 11.

5 Conclusiones

El método propuesto permite la producción de estereortoimágenes digitales conociendo el MDET. El procedimiento se basa en la proyección del MDET sobre la imagen fotográfica mediante las ecuaciones de colinearidad y la transformación proyectiva, reduciendo considerablemente el número de operaciones de cálculo. La manipulación de los tonos de la imagen solamente se realiza como último paso del proceso. El procedimiento fue probado en áreas de relieve montañoso arrojando resultados satisfactorios, lo cual muestra la potencialidad de uso.

6. Referencias

- Doytsher Y y Hall J, 1995. Fortran programs for coordinates resection using an oblique photograph and high resolution DEM. *Computer & Geosciences* Vol 21, Núm. 7, Pág. 895-905.
- Baltsavias E, 1996. Digital ortho-images – A powerful tool for the extraction of spatial and geo-information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol 51, Núm. 2, Pág. 63-77, Abril 2002.
- Deren L y Jiaya G, 2002. Principle and implement of measurable virtual reality (MVR) based on seamless stereo-

orthoimage database. Proceeding of the ISPRS Commission III, Vol XXXIV, Part 3A/B. Symposium 2002, Photogrammetry Computer Vision, Austria 2002.
Jauregui M, Vílchez J y Chacón L, 2000. Digital orthophoto generation, The International Archives of the Photogram-

metry, Remote Sensing and Spatial Information System (ISPRS). Amsterdam, Holanda, 2000.
Zorn HC, 1971. Introductory Course Photogrammetry, International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC).