

## **Extracción semiautomática de edificios mediante imágenes aéreas monoscópicas Y MDS**

**Jose L. PEREZ, Jorge DELGADO**, [jpgerez@ujaen.es](mailto:jpgerez@ujaen.es), [jdelgado@ujaen.es](mailto:jdelgado@ujaen.es).

Universidad de Jaén, Dpto. de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Campus de las  
Lagunillas Edificio A-3 Jaén.

### **RESUMEN**

*En este artículo se propone una metodología de extracción semiautomática y representación prismática de edificios en zonas urbanas o suburbanas mediante el uso de imágenes aéreas monoscópicas orientadas y modelos digitales de superficies (MDS) suficientemente densos para describir la escena. Después del análisis del MDS a partir de morfología matemática y momentos geométricos invariantes se obtiene una primera aproximación del rectángulo que representa al tejado del edificio así como de la altura del mismo. Este rectángulo-terreno será usado en una segunda fase tras transformar las coordenadas terreno del mismo a coordenadas imagen. Este rectángulo-imagen será tratado mediante análisis digital de imágenes para obtener los bordes, y mediante la Transformada de Hough obtener el rectángulo principal existente en dicha imagen. Este rectángulo, junto con la altura del mismo extraída en la fase anterior, formará el prisma de base rectangular que representa al edificio.*

### **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad más de la mitad de la población mundial habita zonas urbanas o suburbanas, y el desarrollo que se ha producido en ellas en estos últimos tiempos ha sido enorme. Esto lleva a que cada día sea más necesario el contar con una cartografía precisa y actualizada de dichas zonas, con vistas a la planificación y gestión de los servicios prestados a sus habitantes. En la actualidad, un problema muy importante de la cartografía de las zonas urbanas es que carece de la información necesaria para poder obtener a partir de ella una descripción tridimensional de las mismas. Aspecto fundamental para diversas aplicaciones como, por ejemplo, diseño de redes de transmisión y telefonía móvil, estudios de impacto visual, de ruido y polución, a otras como estudios de simulación para predicción de inundaciones y obtención de ortofotografías en zonas urbanas (*true ortho*), etc.

La generación de cartografía es una tarea laboriosa que en los últimos años ha experimentado importantes avances que simplifican y agilizan su trabajo. Dentro de estos avances se podría mencionar la utilización de las técnicas de Fotogrametría Digital para la automatización del proceso de generación de cartografía a partir de fotografías aéreas. Desgraciadamente, dicha automatización aún no es completa, así por ejemplo, tareas como la restitución (o de acuerdo a la necesidad concreta la extracción automática de los volúmenes ocupados por los edificios) son tareas que aún no están automatizadas en los sistemas comerciales, contando tan sólo con algunas herramientas de asistencia para facilitar el trabajo.

Evidentemente, la extracción automática de edificios no es un problema sencillo de resolver debido a la gran cantidad de información que es interpretada por el operador. Dicha problemática queda reflejada en diversos artículos entre los que se pueden mencionar los de Lin et al (1995), Baltsavias et al (1995), Weidner et al (1995), Lin et al, (1998), M. Gerke et al (2001), poniendo de manifiesto el interés de la cuestión en el ámbito internacional.

#### **1.1 Objetivo.**

El objetivo básico de este trabajo es el plantear una metodología sencilla para la extracción automática de edificios. Dicha metodología se basa en utilización de modelos de tipo prismático, que permitirá la extracción del prisma rectangular más característico del edificio desde el punto de vista geométrico. Esta metodología ha sido implementado en un programa informático de desarrollo propio cuya información de partida serán las imágenes aéreas de la zona, junto con sus parámetros de orientación externa y el modelo digital del terreno de la zona de estudio.

#### **1.2 Solución adoptada.**

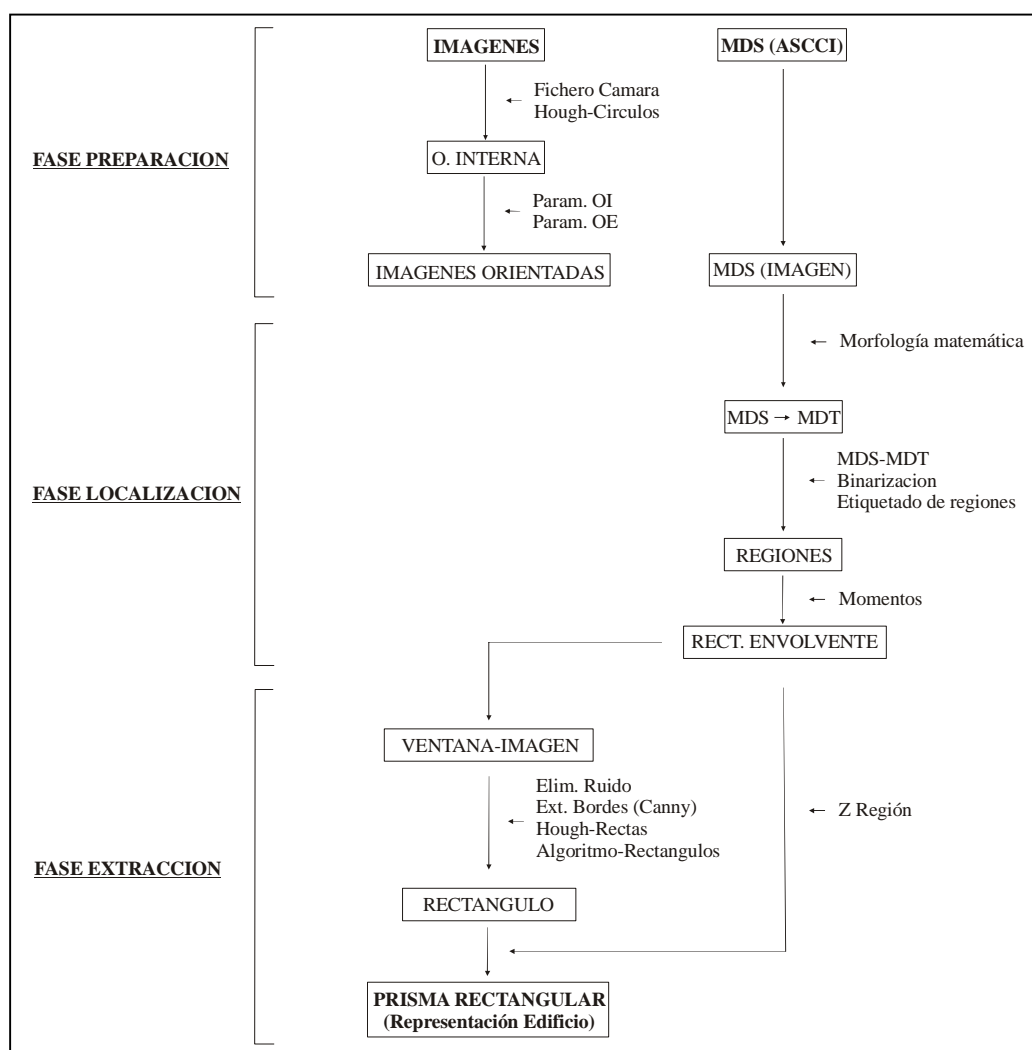
En el trabajo se ha optado por utilizar imágenes de forma monoscópica, y para evitar tener que hacerlo de manera global se realizará una primera aproximación a los edificios mediante el uso de modelos digitales de superficies (MDS), lo que nos permitirá resolver el problema de la extracción de forma local. Esto va a suponer una gran ventaja ya que el usuario no tendrá que disponer necesariamente de un sistema de visión estereoscópica cosa que encarecería el coste del sistema a emplear.

La representación final de cada uno de los edificios localizados va ser el prisma de base rectangular que mejor represente al mismo. Por lo tanto, esta metodología va a obtener resultados satisfactorios con edificios cuya forma se asemeje a un rectángulo, ya que en la mayoría de los casos el prisma rectangular será la forma simple que mejor represente al edificio. Otro factor a tener en cuenta es que la localización se realizará de manera individual para cada una de las edificaciones, motivo por el cual estas deberán estar distantes en el terreno. En el caso de encontrarse unidas la representación que se obtendrá será del conjunto.

Para realizar las pruebas pertinentes se ha trabajado con zonas de características diferentes. Esto supone cambiar por un lado las condiciones de la toma de las fotografías (diferentes cámaras y escalas de vuelo) y por otro cambiar las características de la escena urbana (densidad de los edificios, altura y superficie de los mismos, etc.).

## 2. LA METODOLOGÍA.

### 2.1. Estrategia General.



Esta metodología va a constar de dos etapas principales para la extracción automática de los edificios. Pero antes de éstas, es necesaria una etapa previa o de preparación de los datos. En esta etapa se realizará la selección de las imágenes, los datos de calibración de la cámara o cámaras utilizadas y del MDS cuyo formato inicial será un fichero ASCII con las coordenadas X,Y y Z de todos los puntos. En el momento de la selección del MDS se generará una imagen con los datos de éste. Y por último, antes de comenzar con la extracción propiamente dicha, se tendrá que realizar la orientación interna de las imágenes.

La primera etapa o de localización comienza con la selección de la zona a estudiar dentro de la imagen total del MDS. Esta imagen, teniendo en cuenta una serie de variables introducidas por el usuario, relacionadas con las características de los edificios que nos vamos a encontrar (superficies mínima y máxima, altura mínima, etc.) será tratada mediante morfología matemática para inicialmente y a partir del modelo original, obtener un MDT o modelo digital del terreno, que deberá ser igual al MDS pero sin las edificaciones ni los demás objetos situados sobre el terreno. Posteriormente, la

diferencia de ambos modelos MDS y MDT dará una imagen que contendrá exclusivamente los objetos sobre el terreno, de esta imagen se extraerá una nueva imagen binaria con las regiones que representan posibles edificios. A continuación, estas regiones son tratadas mediante descriptores de formas como son los momentos geométricos invariantes (M. Gerke et al, 2001) obteniendo así para cada región el centro de masas, el rectángulo envolvente y el mínimo-encuadrante, así como la cota de la región.

Estas regiones son el dato de partida para la segunda etapa de la que saldrán las representaciones de los edificios extraídos. Se obtendrá la región de la imagen pasando a coordenadas píxel el correspondiente rectángulo mínimo-encuadrante de cada una de las regiones, y sobre ella se aplicarán los diferentes algoritmos encaminados a la extracción del rectángulo más representativo del edificio.

El análisis aplicado a estas imágenes consta de varias fases hasta llegar a la obtención del prisma de base rectangular más representativo del edificio desde el punto de vista geométrico. El proceso general se puede observar de manera esquemática en la figura 2.1.1.

## 2.2 Fase Previa o de Preparación.

Esta fase consiste en preparar los datos de partida para que sea posible la extracción automática propiamente dicha. Como se comento anteriormente, estos datos son las imágenes, los datos métricos y de orientación de la cámara en el momento de las tomas y el modelo digital de superficies en forma de malla regular y en formato ASCII.

Antes de comenzar con la extracción necesitamos realizar la orientación interna de las imágenes. En la aplicación informática desarrollada se ha implementado un modulo de orientación interna manual o automática para el que se utiliza la Transformada de Hough para círculos. En el caso de que la medida automática no obtenga resultados satisfactorios podremos realizar la medida de forma manual en las marcas donde exista mayor residuo.

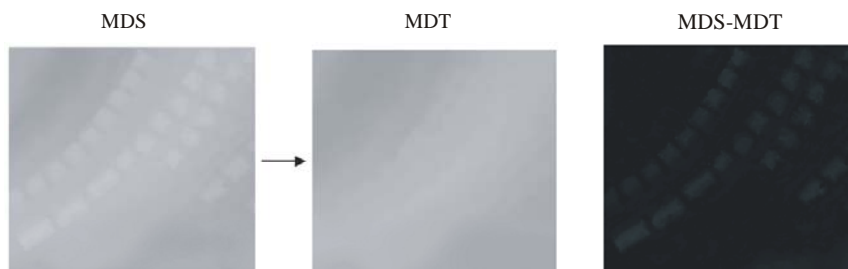
En este momento ya estaríamos en disposición de comenzar con la segunda fase o de localización ya que podemos relacionar los sistemas modelo e imagen.

## 2.3 Fase de Localización.

Una vez seleccionada la zona de trabajo se extraerá región del modelo digital correspondiente y estaremos en disposición de darle valores a las variables de la localización automática. Estas variables son: superficie mínima y máxima esperada para los edificios (se utilizarán para la depuración de las regiones extraídas), altura mínima esperada (será el umbral inicial de umbralización para la binarización del MDS) y distancia de apertura (deberá ser superior que la mitad del lado mayor del edificio mayor esperado). Para la introducción de estas variables se necesitará un conocimiento previo de la escena, o bien analizar el región del modelo extraído.

Una vez que se han asignado los valores a las diferentes variables, se procede al cálculo y localización de las regiones. Para lo cual se siguen las siguientes fases:

1. Aplicación de un proceso de “apertura” (González y Woods, 1996). teniendo en cuenta la distancia de apertura introducida por el usuario, tras el cual se obtiene una aproximación a la superficie topográfica MDS, sin contener los objetos sobre el terreno, tales como edificios, árboles, vehículos, etc. Para evitar que el resultado de la apertura dependa de la orientación de los edificios se utilizará un elemento estructural circular en lugar de utilizar una ventana rectangular. De esta fase saldrá el modelo digital del terreno (MDT).
2. Diferencia de MDS-MDT con lo que se obtienen solo los objetos sobre el terreno. Ya que el MDT y el MDS deben coincidir en todas las zonas menos donde existan los objetos, la diferencia entre ellos nos deberá dar la representación de los edificios situados sobre un plano de cota 0 (figura 2.3.1).
3. La imagen resultado va a ser binarizada mediante una umbralización inicial teniendo en cuenta la altura mínima de edificio esperada, obteniéndose como resultado de esta fase una imagen binaria con regiones que representan a probables edificaciones. Realizaremos una erosión (adelgazamiento de la región) seguida de una dilatación (ampliación de la región) con la intención de separar regiones que hallan quedado unidas debido a que la zona entre ellas en el modelo original no estuviera muy bien determinada, y de eliminar regiones de grosor insignificante consecuencia de ruido en el modelo (González y Woods, 1996).



4. Tras esta operación se realizará una agrupación de píxeles pertenecientes a la misma región y se procederá al etiquetado de las mismas. Una vez etiquetadas las regiones, se va a calcular un umbral más óptimo y representativo para cada una de ellas. Para ello, haremos uso del estadístico moda. Si calculamos la moda de las cotas de los píxeles de la región y la utilizamos como umbral para una nueva binarización, la región obtenida será más representativa del edificio.

5. Las regiones obtenidas en esta segunda umbralización se depurarán teniendo en cuenta los datos de superficie máxima y mínima introducidos por el usuario y que éstas no estén situadas en el margen del modelo ya que esto podría indicar que el edificio no está completo. Esta fase da como resultado una lista de regiones.

6. Obtención de las características de las regiones mediante el uso de momentos geométricos inerciales (M. Gerke et al, 2001). En esta fase se obtiene para cada región datos tales como superficie, centro de masas, altura media de la región, rectángulo mínimo-encuadrante y rectángulo envolvente. Para lo que se utilizará la formulación siguiente:

- Centro de masas:  $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_x \sum_y x = m_{1,0}$   $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_x \sum_y y = m_{0,1}$
- Orientación: Se define como el ángulo del eje correspondiente al mismo momento de inercia, y se obtiene minimizando dicha función.

$$I(\theta) = \sum_x \sum_y d^2 \min(x, y) = \sum_x \sum_y [(y - \bar{y}) \cos \theta - (x - \bar{x}) \sin \theta]^2 \quad \text{cuyo resultado será } \theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{2\mu_{1,1}}{\mu_{2,0} - \mu_{0,2}}$$

En el caso de que los lados sean muy similares el ángulo de la dirección principal no va a estar bien definido debido a que el denominador de la ecuación se aproximará a 0.

- Rectángulo circunscrito (Bounding Box).

Es el menor rectángulo que encierra al objeto y está alineado con su orientación. A partir de ésta se rotan los puntos del contorno para buscar los valores máximos y mínimos de ambos ejes.

Los momentos invariables a rotación y referidos al sistema de coordenadas locales de la región vienen dados por:

$$\mu'_{ij} = \sum_{r=0}^i \sum_{s=0}^j (-1)^{j-s} \cdot \binom{i}{r} \cdot \binom{j}{s} \cdot (\cos \theta)^{i-r+s} \cdot (\sin \theta)^{j+r-s} \cdot \mu_{(i+j-r-s)/(r+s)}$$

y estos pueden ser usados para calcular las dimensiones del rectángulo  $L_x$  y  $L_y$  en las direcciones locales  $x$  e  $y$ . Resolviendo las siguientes integrales:

$$\mu'_{00} = \int_{-Lx/2}^{Lx/2} \int_{-Ly/2}^{Ly/2} dx dy = Lx \cdot Ly \quad \mu'_{02} = \int_{-Lx/2}^{Lx/2} \int_{-Ly/2}^{Ly/2} y^2 dx dy = \frac{1}{12} Lx \cdot Ly^3 \quad \mu'_{20} = \int_{-Lx/2}^{Lx/2} \int_{-Ly/2}^{Ly/2} x^2 dx dy = \frac{1}{12} Lx^3 \cdot Ly$$

Despejando  $Lx$  y  $Ly$  tendremos:  $Lx = \sqrt{\frac{12 \cdot \mu'_{20}}{\mu'_{00}}}$ ;  $Ly = \sqrt{\frac{12 \cdot \mu'_{02}}{\mu'_{00}}}$

BINARIZACION

MOMENTOS

Como resultado de esta fase tendremos ya una buena aproximación (muy dependiente de la calidad del modelo digital del terreno disponible) de las edificaciones que utilizaremos como partida para mejorarla mediante el tratamiento de imágenes en la fase siguiente o *Fase de Extracción* (figura 2.3.2). En el caso de no conseguir una mejora de la representación del edificio, como se verá a continuación, ésta será la representación definitiva.

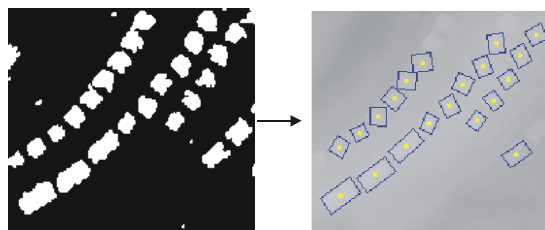


Figura. 2.3.2. Obtención de las características de las regiones

## 2.4 Fase de Extracción.

Las coordenadas terreno de estos rectángulos se transforman en coordenadas imagen (píxeles) mediante la condición de Colinealidad y la transformación afín. Con estas coordenadas se obtiene el rectángulo mínimo-encuadrante para cada una de las regiones en coordenadas píxel. Se generará una imagen para cada región que será enviada al procedimiento general de extracción del rectángulo que representará al edificio correspondiente. Para disminuir en lo posible los cálculos e intentar aminorar la influencia de zonas exteriores del edificio (sobre todo en edificios en los que la dirección de su planta está en la diagonal) solamente se trabajará dentro del rectángulo envolvente a la región más un margen de seguridad.

El procedimiento general de extracción lo podemos ver en la figura 2.3.1, cuyas fases se explican con más detalle a continuación.

1. Fase de preparación: Si fuese necesario se aplicará a la imagen una mejora del contraste mediante una expansión lineal. Esta fase que es opcional, habrá que activarla para cada proyecto en función de la calidad de las imágenes.
2. La segunda fase consiste en la extracción de bordes de la imagen mediante la utilización del *Filtro de Canny* (González, 2000). La imagen obtenida o *imagen de bordes* que será una imagen binaria donde se marcarán los píxeles que serán borde y los que no, se utilizará en fases posteriores.
3. Seguidamente, y utilizando la *Transformada de Hough* para líneas rectas (González, 2000), extraeremos las rectas de las direcciones principales de la imagen, considerando estas rectas como aquellas cuya dirección es igual o perpendicular a la dirección del gradiente principal observado en la imagen. Puesto que estamos trabajando de manera local, y la imagen sobre la que se trabaja contiene casi exclusivamente la superficie de la edificación extraída, la dirección del gradiente principal coincidirá (o será muy similar) con la dirección del borde principal de la imagen, que deberá ser un borde del edificio. Y puesto que partimos de la consideración de que se van a extraer edificios de base rectangular, en la dirección perpendicular a ésta estará el otro borde del edificio. Dicho esto, una vez calculada la dirección principal del gradiente (ya calculado en la fase anterior para el filtro de Canny), se utilizará la Transformada de Hough para extraer líneas rectas, pero limitándonos a las direcciones antes mencionadas y a aquellas rectas cuyos contadores superen un umbral marcado. Tras varias pruebas con diferentes imágenes y tipo de edificios se considera el umbral del 30-50% del máximo obtenido en cada dirección. Es decir se extraerán las rectas cuyos contadores (nº de píxeles) estén por encima del 30-50% del contador de la recta principal de la misma dirección.  
El resultado de esta fase serán dos listas de rectas con pendientes más o menos perpendiculares.
4. En esta fase se realizará una restauración de bordes, pero solo de aquellos que pertenezcan a rectas principales. Para ello utilizaremos la *Transformada de Hough Inversa* (González, 2000). Se restaurará todo aquel píxel que no este marcado como borde y que perteneciendo a alguna de las rectas el gradiente tiene la dirección perpendicular a la misma y su módulo supera un segundo umbral menos exigente que el anterior.

5. Con estas rectas realizaremos todas las intersecciones posibles entre rectas de direcciones perpendiculares, dando como resultado una lista de puntos a partir de los cuales se generarán todos los rectángulos posibles teniendo en cuenta algunas limitaciones (relación entre lados, superficie del rectángulo, etc.).

6. Selección del rectángulo más representativo. La selección del mejor rectángulo se va a realizar buscando primeramente aquellos en los que la función siguiente no supere el umbral marcado cuyas variables estarán relacionadas con los siguientes conceptos:

$$f_1(x_1, x_2) < \text{umbral}$$

$x_1 \rightarrow$  Relación entre Áreas (región y rectángulo)

$x_2 \rightarrow$  Relación de formas (lado mayor /lado menor) del rectángulo obtenido y la región correspondiente.

$$f_1 = \sqrt{\left( \frac{|\sqrt{A_{\text{Re } c_i}} - \sqrt{A_{\text{Re } g}}|}{\sqrt{A_{\text{Re } g}}} \right)^2 + \left( \frac{|F_{\text{Re } c_i} - F_{\text{Re } g}|}{F_{\text{Re } g}} \right)^2} < \text{umbral}$$

Puesto que estamos dividiendo la diferencia entre los datos del rectángulo y el de la región, entre el valor del dato de la misma, podríamos hablar de error relativo en esta magnitud. La elección del umbral deberá estar en función de la calidad esperada en el rectángulo que determina la región, y por la tanto de la calidad del MDS del que se disponga. Nosotros lo fijamos por defecto en 0.20.

Esta fase nos permitirá eliminar todos aquellos rectángulos formados que se alejen de la forma y tamaño esperado, y sobre los que no tendremos que realizar el cálculo siguiente que consiste en contar los píxeles de borde que contiene cada uno de los rectángulos en la *imagen bordes*.

Por último, de los rectángulos depurados nos quedaremos con aquel que haga mínima la función:

$$f_2(x_3) = \min$$

$x_3 \rightarrow$  N° de píxeles de borde en relación con el perímetro de dicho rectángulo

$$\min(f_2); f_2 = \frac{|Pix_{\text{Borde}} - P_{\text{Re } c_i}|}{P_{\text{Re } c_i}}$$

7. Obtención del prisma rectangular. Obtenido el rectángulo más característico del edificio y considerando como altura del mismo la cota media del borde de la región correspondiente calculada anteriormente, generamos el prisma que representará al edificio (Figura. 2.4.1).

## 2.4 Fase de Edición.

Puesto que se trata de una metodología semiautomática, posteriormente a la fase de extracción será necesaria una fase de edición. En esta fase tendremos que eliminar aquellos edificios que en realidad no lo sean (caso de árboles, formas especiales del relieve, trozos de edificios fracturados en la fase de apertura por la utilización de una distancia inadecuada, etc.) y editar los errores cometidos en los que si lo son pero no se ha obtenido la representación correcta. Los resultados son exportados a un fichero dxf mediante el cual podremos editar los resultados en cualquier estación fotogramétrica con visión estereoscópica.

## 3. RESULTADOS.

Para poner de manifiesto las posibilidades de la metodología propuesta a continuación se presenta un ejemplo completo de aplicación. La zona seleccionada está situada en la provincia de Almería (en lo sucesivo será denominada como “Michelín”) y las características de la información para ver de una manera más real los resultados que se pueden obtener con la metodología aportada vamos a trabajar con una zona de Almería a la que denominaremos “Michelín” y que tiene las siguientes características:



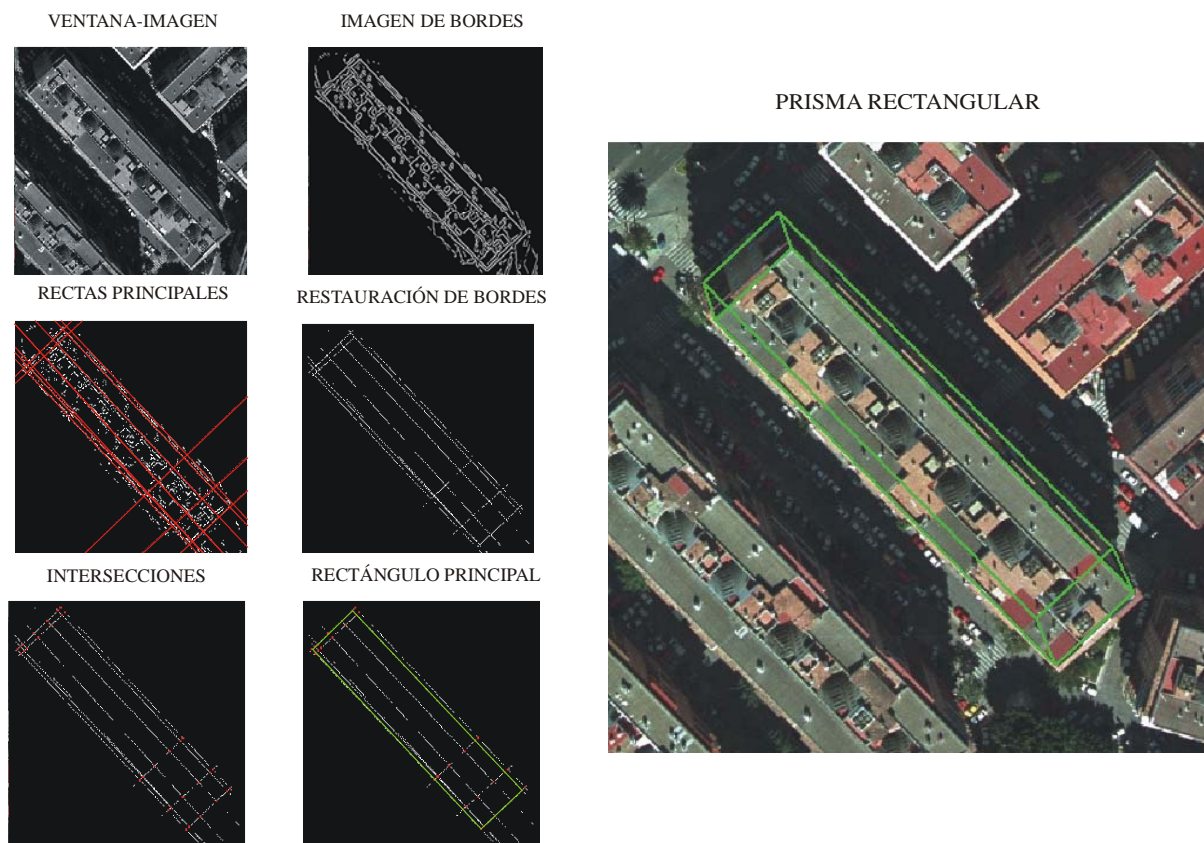


Fig. 2.4.1. Fase de Extracción

- Características de las tomas fotográficas

focal de la cámara: 153.33 mm  
 Altura de vuelo: 850 m.  
 Escala del fotograma: 1:5000  
 Resolución de la imagen: 40 micras, 20 cm.

Parámetros de orientación de la cámara en el momento de las tomas vienen dados en la siguiente tabla

imagen	X(m)	Y(m)	Z(m)
izquierda	572159.100	4075252.360	855.530
derecha	572619.530	4075257.820	857.820
imagen	$\omega(\text{deg})$	$\phi(\text{deg})$	$k(\text{deg})$
izquierda	0.2796	-0.5188	2.0501
derecha	-0.3702	-0.2634	2.0852

- Características del modelo digital del terreno:

Origen: Obtenido mediante técnicas de fotogrametría digital por correlación.  
 Espaciado: 1 metro.  
 Cota min.: 39.683 m.  
 Cota max.: 61.854 m.  
 Cota med.: 45.524 m.

- Características de la escena:

Se trata de una zona llana de terreno industrial, en la que existen diversos edificios de gran tamaño y planta rectangular, que se disponen con una considerable separación entre ellos. Los edificios presentan tejados planos o a dos aguas, aunque también existe alguno con formas más irregulares. Las alturas de los edificios es bastante uniforme, aunque no su superficie. A continuación se muestra una imagen de la escena. La escena se muestra en la figura 3.1



*Figura. 3.1. Escena de Michelin*



*Figura. 3.2. Edificios extraídos*

Las regiones extraídas y depuradas según estas variables han sido 18. Estas regiones tras el análisis de bordes y extracción del rectángulo característico dan los resultados que se muestran en la *figura 3.2*. Donde en color azul se dibujan los rectángulos extraídos mediante los momentos inerciales y en verde los edificios definitivos. Si sobre la imagen no se observa el rectángulo azul de los momentos geométricos es por que ha sido utilizado para la creación del prisma definitivo ya que no se ha conseguido ningún rectángulo aceptable en la fase de extracción.



	Xm	Ym	Zm	Area	Altura	dA	dh
1	572376.18	4074759.37	44.93	261.00	8.13	...	...
2	572432.36	4074767.26	47.46	213.00	7.08	...	...
3	572398.33	4074799.98	48.07	1066.89	8.14	-44.84	0.92
4	572319.43	4074822.28	43.54	657.00	8.93	...	...
5	572174.19	4074943.42	46.67	3522.52	11.33	216.3	-3.94
6	572231.59	4074941.52	47.67	3599.72	11.35	-404	-0.43
7	572406.66	4074958.7	47.9	2299.89	7.8	832.1	0.74
8	572280.98	4074969.34	47.04	1894.84	12.08	-164	-2.84
9	572610.94	4074955.08	44.64	3151.00	8.73	537.7	-0.36
10	572331.61	4074963.8	47.31	1165.47	10.63	-238.3	-0.09
11	572079.17	4074988.39	46.91	1948.93	9.82	-68.49	-0.17
12	572553.08	4075011.59	48.17	890.87	8.33	-19.19	-0.11
13	572332.52	4075032.45	47.01	430.18	8.02	-58.04	0.45
14	572175.53	4075050.67	45.48	770.34	8.96	-78.44	-1.4
15	572115.22	4075054.46	44.7	303.57	5.4	129	-0.62
16	572256.73	4075090.35	45.22	628.57	6.45	...	...
17	572177.62	4074836.47	45.35	1127.92	6.69	-15.31	-0.58
18	572600.35	4074851.1	49.41	7426.31	12.82	-150.3	-0.48

*Tabla 1. Resultados de la Extracción*

En la tabla 1 se muestra con más detalle los resultados obtenidos, y las diferencias existentes con los datos obtenidos mediante una restitución manual de la misma zona utilizando una estación fotogramétrica digital con visión estereoscópica.

Inicialmente podemos observar que prácticamente la totalidad de los edificios existentes además de algunas estructuras (como depósitos) han sido localizados y posteriormente refinada su representación mediante le análisis de los bordes.

Respecto a las diferencias obtenidas en la altura del edificio, hay que tener en cuenta en primer lugar que el MDS se ha tratado como una imagen de niveles de gris por lo que las cotas se han aproximado al entero más próximo. En segundo nuestra aplicación obtiene la cota de la media del contorno de la región correspondiente, por lo que en el caso de tejados de dos aguas esta cota se incrementará respecto al de la restitución al introducir en el cálculo los puntos más elevados del eje del tejado. Independientemente de estas puntualizaciones la representación de la escena se ha conseguido de una manera bastante aceptable y realista.

#### 4. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos en este trabajo ponen de manifiesto la utilidad tanto de la metodología planteada como de la aplicación informática desarrollada para la extracción semiautomática de edificios siempre que éstos se ajusten al modelo prismático planteado en la metodología. La información de partida del sistema será básicamente las imágenes monoscópicas orientadas de la zona así como un MDS de la zona considerada (que puede ser obtenido fácilmente mediante correlación utilizando sistemas fotogramétricos digitales).

Tal y como se ha señalado en el apartado introductorio, la extracción de la información que permitan una descripción tridimensional de los edificios a partir de las imágenes y el MDS de la zona no es una tarea sencilla. Es importante que el sistema sea capaz de discriminar entre la información “útil” y la que enmascara y “ensucia” a la anterior, y por otro lado, el enorme volumen de información que es necesario considerar (imágenes digitales fotogramétricas) implica que es necesario restringir la zona de trabajo a aquellas áreas en las que existan los edificios, esto se consigue en la metodología propuesta mediante la información adicional proporcionada por el MDS.

La extracción del rectángulo más idóneo depende en gran parte de la calidad de la región obtenida en la fase de localización, por lo que una cuestión a tener en cuenta será que el modelo aportado a la aplicación ha de ser preciso y que describa fielmente la escena a estudiar. En caso contrario partiremos de zonas de búsqueda erróneas y de características de edificios (necesarias para la depuración de la información extraída mediante el análisis de las imágenes) falsas, lo que nos podría llevar a realizar una depuración errónea despreciando el rectángulo correcto. En el caso de modelos obtenidos mediante correlación (caso general en fotogrametría digital) los modelos obtenidos no se adaptan al terreno demasiado bien en zonas de edificaciones altas, debido sobre todo a la presencia de zonas ocultas y que a cambios bruscos de cota equivalen valores grandes de paralaje. Un aspecto importante a destacar de la metodología propuesta es que permite la utilización de MDS de otras fuentes, como, por ejemplo, LIDAR con lo que estos problemas podrían ser solventados.

El hecho de trabajar de manera local es muy importante, ya que aún habiendo obtenido buenas regiones en la fase de localización, nos vamos a encontrar con dificultades para seleccionar de entre todos los rectángulos posibles, el que realmente se ajusta al edificio. Ya que en la mayoría de los casos, la existencia de estructuras en los tejados como

chimeneas, terrazas, patios interiores, etc., la aparición de paredes donde se muestran elementos tales como ventanas, bordillos, y otros objetos, además de las sombras proyectadas por los edificios, se van a disponer de forma paralela a los bordes de los tejados de los mismos. Introduciéndose de esta manera una gran cantidad de ruido que dificultará la selección de los segmentos lineales que determinarán posteriormente el rectángulo definitivo.

## 5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

- Chungan Lin, Andrés Huertas and Ramakant Nevatia**, (1995). "*Detection of Building from Monocular Images*" En: A. Gruen, O. Kuebler, P. Augouris (Ed), "*Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*". Birkhäuser, 1995, Monte Verità.
- Chungan Lin, and Ramakant Nevatia** (1998). "*Building Detection and Description from a Single Intensity Image*". Computer Vision and Image Understanding: CVIU, v 72, n 2, pag 101-121.
- J. Li, R. Nevatia, S. Nornoh**, "User Assisted Modeling of Building from Aerial Images" (1999). IEEE Computer Vision and Pattern Recognition.
- J. González J.** (2000). "*Visión por computador*". Editorial Paraninfo.
- M. Gerke, C. Heipke and B. -M. Straub** (2001) "*Building Extraction From Aerial Imagery Using a Generic Scene Model and Invariant Geometric Moments*". Proceedings of the IEEE/ISPRS joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, November 8-9th 2001, University of Pavia, Rome (Italy), ISBN 0-7803-7059-7, pp. 85-89
- Norbert Haala and Michael Hahn** (1995). "*Data fusion of the detection and reconstruction of buildings*" En: A. Gruen, O. Kuebler, P. Augouris (Ed), "*Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*". Birkhäuser, 1995, Monte Verità.
- Oliver Jamet, Oliver Dissard, Sylvain Airault** (1995). "*Building Extraction from Stereo Pairs of Aerial Images: Accuracy and Productivity Constraint of a Topographic Production Line*". En: A. Gruen, O. Kuebler, P. Augouris (Ed), "*Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images*". Birkhäuser, 1995, Monte Verità.
- Rafael. C. González, Richard E. Woods** (1996). "*Tratamiento Digital de Imágenes*" Addison-Wesley Iberoamericana S.A. Estados Unidos, 773 pag.
- Thierry QUIGUER** (1996). "*Rectangular building 3D reconstruction in urban zones*". ISPRS Congress on spatial information from images, Vienne, Autriche, 9-19 Juillet 1996.
- Uwe Weidner, Wolfgang Förstner** (1995) "*Towards Automatic Building Extraction from High Resolution Digital Elevation Models*". ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 50, 4, 38-49.