

La imagen digital en el Catastro

Aplicaciones en la realización de la cartografía catastral

Ismael Rodríguez Vicente

*Jefe del Servicio de Aplicaciones Cartográficas Urbanas
Dirección General del Catastro*

En el umbral de un nuevo milenio, la fabricación y el uso de los mapas está sufriendo una auténtica y rápida revolución. Tan veloces y profundos están siendo los cambios que a diario se producen, que historiadores y cartógrafos deben retrotraerse al Renacimiento, durante los siglos XV y XVI, para hallar similares antecedentes, admitiendo además que en cuanto a ritmo y magnitud la revolución actual es a todas luces incomparable y de resultados impredecibles, salvo para el lapsus temporal inmediato.

Así, generaciones de instrumentos, que van desde el cuadrante al teodolito, pasando por brújulas y taquímetros, se nos aparecen como aparatos del paleolítico en comparación con ordenadores modernos, escaners, satélites artificiales y el sistema GPS.

De esta forma, la visión del cartógrafo no se limita a lo que es perceptible al ojo humano, ya que los modernos sensores radiométricos permiten auscultar y obtener informaciones sobre fenómenos ocultos a

la observación humana; asimismo las sondas sísmicas nos permiten obtener la fotografía subterránea de la tierra, los radares de formación de imágenes, obtienen éstas mediante radioseñal de microondas que rebotan sobre una superficie obteniendo el contorno y geometría de los elementos que la configuran, haciendo abstracción de los obstáculos existentes entre el emisor y la propia superficie; de esta manera se han obtenido los primeros mapas de la superficie del misterioso, lejano y nebuloso planeta Venus.

Por otro lado la obtención de datos digitales, y su posterior tratamiento, compilación y conversión nos permitirá dotarnos de mapas, en cuya confección el hombre como instrumento discretizador está llamado a desaparecer, siendo sustituido por equipos de trabajo que a partir de la creación de software cada vez más potente, gobiernen lo que los adelantos electrónicos pongan a su disposición.

Con estas circunstancias y condicionantes se puede afirmar que se acabaron

ya los «mapas estáticos», pues con esta cartografía digital hay que pensar que cada nivel de datos o capa, lo constituye una lámina transparente que contiene una parte concreta de la información general o lo que es lo mismo, contaremos con una fuente «dinámica» e inacabable en muchos aspectos, que debidamente estructurada y organizada permitirá no solamente poder contar con una imagen fotográfica global de un territorio, sino que al mismo tiempo podremos hacer extracciones de información puramente cartográfica de una faceta temática contenida en aquella, todo ello en un ámbito geocodificado. La conclusión es que la cartografía digital se convierte en un proceso dinámico que posibilita la obtención y actualización de mapas de una forma más eficaz y con un costo menor en todos los aspectos.

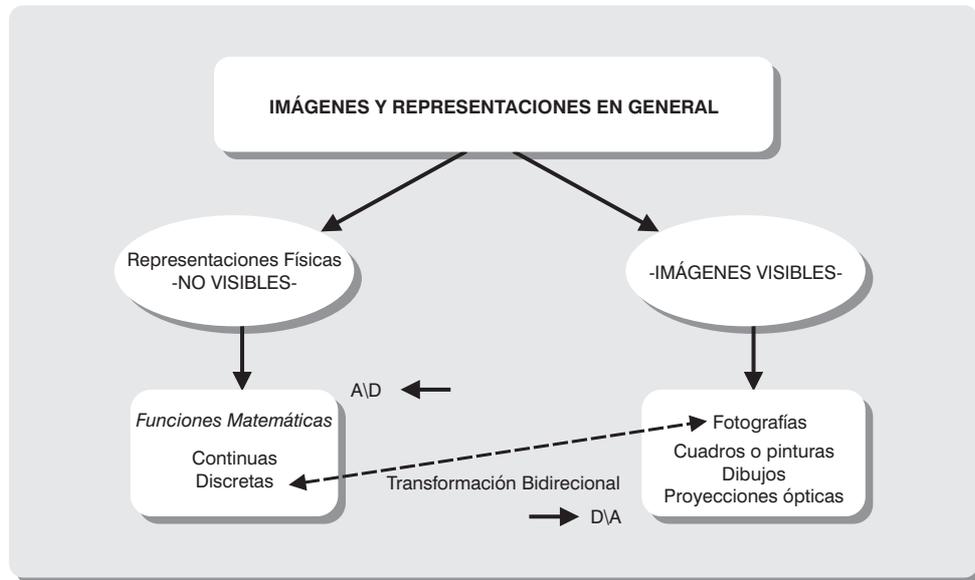
A continuación se exponen y desarrollan los aspectos fundamentales y elementos básicos de las imágenes digitales y sus variantes productivas.

La imagen digital - Consideraciones generales

La realización y obtención de cartografía digital se realiza desde y a partir de las imágenes digitales. Estas imágenes pueden presentar estructuras muy diversas, y tener orígenes muy diferentes, todo ello dentro de la premisa o condición básica de que son elementos portadores de información «bidimensional».

En la figura 1 se expone una visión simple y esquemática de lo que podemos llamar imagen.

Figura 1
La imagen: división y representación



Es una primera división de carácter primario, las imágenes se pueden dividir en «VISIBLES» como pinturas, dibujos, proyecciones ópticas, fotografías y en imágenes «VIRTUALES» o imágenes físicas no visibles y representaciones como son las funciones matemáticas.

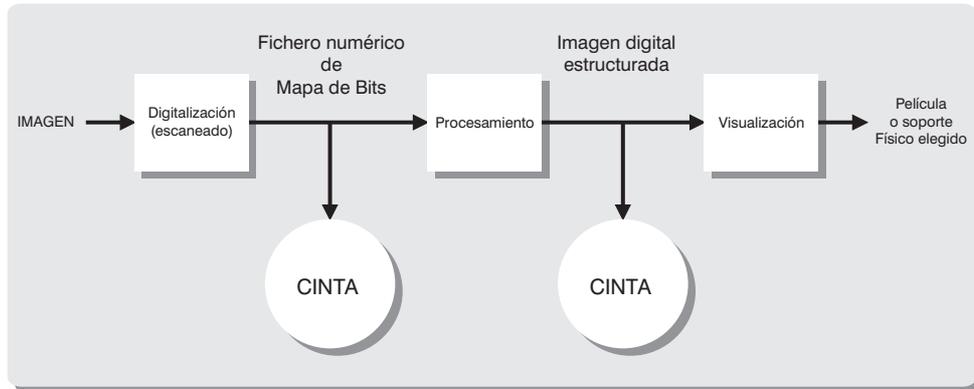
En el caso que nos ocupa del tratamiento digital de imágenes, nos vamos a referir solamente a las fotografías y las funciones matemáticas, asumiendo que toda imagen digital es una función matemática discreta en dos dimensiones, que se compone solamente de dígitos que se pueden tratar en un PC con software adecuado al fin perseguido.

En el caso citado de fotografías, que como es sabido son funciones matemáticas

«continuas», su transformación en funciones matemáticas «discretas» se denomina de manera genérica conversión Analógica a Digital (A/D), y se produce ejecutando con las fotografías un muestreo o discretización de su imagen, mediante su barrido con instrumentos del tipo escáner o cámaras de vídeo, del que se obtiene parámetros cuantificadores y cualificadores de la unidad de la imagen; empezamos pues a referirnos al término PÍXEL al que nos vamos a referir frecuentemente en estas líneas. El proceso inverso al citado, es decir, la transformación de Digital a Analógico (D/A) se denomina reconstrucción de la imagen.

En la figura 2 se expresa la secuencia operativa típica del tratamiento digital de imágenes.

Figura 2
Secuencia operativa del tratamiento digital de imágenes



Conceptos básicos del tratamiento (digitalización) digital de imágenes

En términos cartográficos, se entiende por digitalizar una imagen continua situada sobre un soporte físico (fotografía), a la

transformación de la referida imagen en un fichero numérico de «mapa de bits», teniendo como fundamento operativo primario, la división de la imagen en pequeñas celdas o elementos unitarios conocidos con el nombre de PÍXEL (Pictures Element), que en su conjunto conforman una matriz o mapa de bits de píxeles adyacentes; estos elementos son pequeños cua-

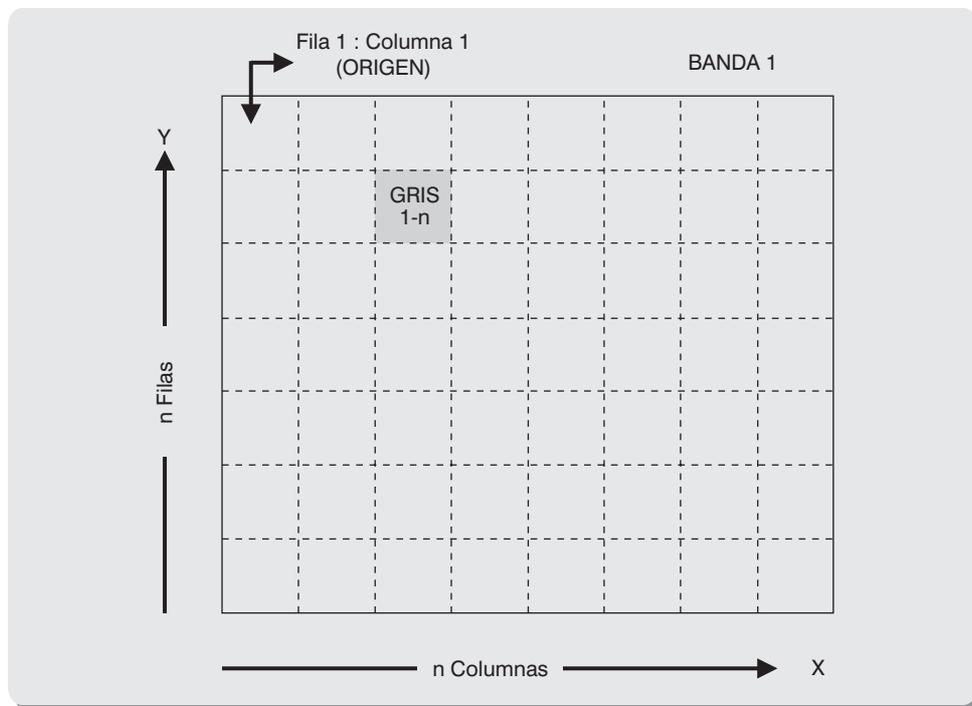
drados (generalmente) negros, blancos y grises (diferentes tonos de gris) de los que se extrae su información espacial (x, y) y la información radiométrica del tono de gris de cada uno, al efectuar el barrido de la imagen (escaneado) con instrumentos como los ya citados anteriormente.

Partiendo de lo referido con anterioridad, se puede conceptualmente afirmar que la estructura de la «imagen digital» tendrá el aspecto de una retícula o matriz de unidades imagen o píxeles, conformada por filas y columnas, en la que cada una de estas unidades vendrá definida en primer lugar, por un número que se corresponde con el valor de «un nivel de gris», y en segundo lugar por su posición espacial en la referida matriz, indicada por el número de «fila y columna» donde se encuentra.

En la figura 3 se aprecia esquemáticamente la organización de los datos de una imagen; como se ve se trata de una matriz de tres dimensiones, las dos primeras corresponden a sus coordenadas (x, y), es decir, a una fila y columna concreta de la matriz, y la 3.^a dimensión pertenece al tono de gris concreto en ese espacio de la imagen. El origen de las coordenadas se aprecia que se sitúa en la fila 1, columna 1, esto es, en la esquina superior izquierda de la retícula.

En el orden concreto, la dimensión del píxel para Cartografía Digital y Ortos Digitales, oscila entre 12μ y 30μ , o lo que es lo mismo 83 y 33 píxel, respectivamente, por milímetro de auscultación de barrido, lo que da a priori una idea del número posible de unidades imagen que contiene por ejem-

Figura 3
Organización de los datos de una imagen



plo un fotograma convencional de 23×23 cm. de los empleados en citados trabajos.

La mecánica operativa que un instrumento tipo escáner realiza mediante el barrido de la imagen, se produce en función de dos parámetros de aplicación simultánea y complementaria, con los cuales se extrae la información que se transforma y estructura en un fichero numérico; los dos parámetros son, descomposición de la imagen en píxel, y la cuantificación de cada píxel que se citan a continuación.

- *Descomposición de la Imagen en Píxel.* conocido como discretización superficial (x, y) se efectúa con el rango decidido apriorísticamente por la dimensión del píxel.

- *Cuantificación de cada píxel.* captura de los valores radiométricos de los diferentes tonos de gris que contiene cada uno de los píxel.

Características fundamentales de las imágenes digitales

Todas las imágenes digitales cuentan con cuatro características fundamentales que son: Resolución, Profundidad de Bits, Tamaño Físico y Modelo de Color, las cuales se explican a continuación.

Resolución

¿Cuántos píxel contiene una imagen digital?

Al digitalizar una imagen se debe especificar el número de lecturas que se van a realizar en una distancia predeterminada; se expresa en diferentes formas:

- «Res 12» significa 12 píxels por milímetro
- «Res 20μ » significa 50 píxel por milímetro
- «Píxel por Pulgada» (p.p.i); ejemplo 305 p.p.i es lo mismo que 12 píxel por milímetro

Resolución de píxel

¿Cuántos bits por píxel?

Define el número de tonos o colores que puede asumir cada píxel de un mapa de bits, o dicho de otra forma, la cantidad de información a registrar al efectuar la digitalización, esta definida y limitada por la profundidad de bits elegida.

Cuando se digitaliza con una profundidad de UN BIT, cada píxel sólo puede tener dos estados (blanco o negro o cero y uno); estas imágenes se las conoce con el nombre de binarias o planas.

Generalmente se emplea una de un bit para describir un píxel, pues entre el blanco y el negro se sitúa la gama de tonos grises; empleando un píxel de 8 bits nos puede proporcionar 2^8 (256) niveles o tonos de gris entre el blanco y negro. Esta elección de profundidad es determinante para conocer el «Volumen de información a tratar» informáticamente al digitalizar imágenes; si tratamos una imagen convencional (fotogramétrica) de 23×23 cm. escaneada con un píxel de 20μ , nos producirá un volumen de información entre 125 y 130 MB y nos da una idea clara del software y hardware que se tiene que situar operativamente para poder asumir la metodología del «TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES».

La explicación rápida y sencilla de la imagen puesta anteriormente como ejemplo es la siguiente:

Ejemplo:

1) Para un tamaño de píxel (resolución) de 20μ , entonces tendremos «50 píxel por m/m», ya que cada píxel de este tamaño su dimensión es de $1/50$ de m/m.

2) Dado el que tamaño físico en este caso concreto es de $23\text{ cm.} \times 23\text{ cm.}$ de imagen, entonces se producirá $(230 \times 50)^2 = 132.250.000$ píxel (de una profundidad de 8 bits), esto es, este número de píxels de 1 byte que se produce es 132.250.000 bytes (de 8 bits cada uno).

3) Como $1 \text{ MB} = 1.048.576 \text{ bytes}$ tendremos:

$$\frac{132.250.000}{1.048.576} \cong 126 \text{ Mb por imagen}$$

(BLANCO/NEGRO)

Este mismo ejemplo en el caso de imágenes color nos llevaría a un volumen de información de 250 Mb Y 400 Mb por fotograma de las imágenes R.G.B. y C.M.y.K respectivamente.

Tamaño físico

Se obtiene para caso concreto dividiendo el número total de unidades o píxel en una longitud predeterminada por la resolución elegida para el píxel.

Modelo de color

Cuando se trate de imágenes en color, para poder registrar y almacenar los píxeles en colores es necesario obtener información TONAL INDIVIDUAL para cada uno de los colores o canales constitutivos de la imagen color.

Si nos referimos a canales primarios, las imágenes color corrientes en este momento en el mercado son las R.G.B. y C.M.Y.K cuyas siglas indicativas se explican a continuación junto a las características básicas de carácter operativo que poseen cada una de ellas.

IMÁGENES R.G.B. abreviatura de Rojo, Azul y Verde (3 canales primarios de composición)

Se las denomina genéricamente «Imágenes Lumínicas» de visualización en pantalla, ya sea en ordenador o bien televisión; la composición combinatoria de los tres colores primarios produce el tono o color blanco.

Estas imágenes por su composición son las adecuadas para ser tratadas y obtenidas finalmente en el proceso operativo de laboratorio fotográfico convencional; además y dado que poseen «3 canales», so-

lamente son las imágenes que se escanean de manera habitual, pues como es lógico producen un volumen de información menor que las C.M.Y.K. ya que la profundidad del píxel en estas últimas es de 24 bits ($3 \times 8 \text{ bits}$) y su consecuencia es la identificación de hasta 16.500.000 tonos de color.

IMÁGENES C.M.Y.K. abreviatura de Negro, Cian, Magenta, y Amarillo a lo que es lo mismo que negro, azul, rosa y amarillo, cuya combinación absoluta produce un color o tono negro.

Poseen 4 canales primarios por constitución y la profundidad de píxel es de 32 bit ($4 \times 8 \text{ bits}$), de ahí su complejidad de tratamiento final que tiene que ser en modernas «filmadoras» en vez de laboratorio, y el gran volumen de información a tratar pues nos referimos a aprox. 4.000 millones de tonos de color, es decir, 4.000 millones de píxel.

Generalidades operativas del hardware y software empleado en cartografía para la digitalización de imágenes

Empezando por el hardware o máquina para tratamiento de imágenes o digitalización de éstas se emplea en cartografía el ESCÁNER, entendiéndose siempre que para cartografía o sus derivados (ortos) nos estamos refiriendo a imágenes aéreas o fotogramétricas, de ahí que se conozca a estos aparatos con el nombre de fotogramétricos, cuyas características operativas fundamentales se describen seguidamente.

Precisión mecánica y configuración

Llamada también Precisión Geométrica, es la que nos tiene absolutamente que garantizar la métrica de la imagen original, en el proceso de captura para convertir la imagen analógica (sobre el soporte que

sea) en Digital, o sea cuando se escanea dicha imagen con resolución y profundidad de píxels determinadas. La precisión que normalmente ofrecen las casas constructoras de estos instrumentos es del orden de $\pm 3\mu$; la configuración o formato del receptáculo para originales son de dos tipos de Tambor y Mesa.

Resolución admisible

Estos escáneres tienen que permitir la captura de información en el barrido, con la precisión geométrica citada anteriormente, con un rango de resolución (cuantos píxel) de orden de 13μ a 30μ , para cumplir el objetivo de escanear imágenes aéreas fotogramétricas.

Se debe tener en cuenta que la «resolución» esta condicionada por la relación o factor de ampliación existente entre la escala del vuelo y la escala de la cartografía o al orto.

En las ortofotos a escala 1:5.000, y escala lógica del vuelo a 1:20.000, existe un factor de ampliación de 4 veces, entonces la resolución aconsejada en la digitalización es de 25μ .

Con esta resolución el fichero TIFF de la imagen color tiene un volumen de información de 240 MB, actuando con una profundidad de 24 bits (Imagen R.G.B), y un tamaño de píxel de $\pm 0,50$ metros.

La explicación sencilla de por qué existiendo un factor de ampliación de 4 veces entre vuelo y cartografía, se debe, por ejemplo, escanear a 25μ es la siguiente:

Vuelo - Escala:	1/20.000
Car/Orto - Escala:	1/5.000



Entonces y como tamaño primario de píxel tendremos en el vuelo:

$$25\mu * 20.000 = 0,500 \text{ metros}$$

Aplicando entonces las 4 ampliaciones hasta llegar a la escala de la Car/Orto.

$$25\mu * 4 = 100\mu.$$

$100\mu * 5000 = 0,500$ metros, igualando pues el tamaño del píxel, o lo que es lo mismo la precisión nominal en ambos casos.

Profundidad del píxel

El píxel como «unidad básica de imagen» a definir y tratar con un escáner fotogramétrico tendrá como mínimo que poseer una profundidad de 8 bits, asegurando entonces los 256 tonos de gama en blanco y negro; En el caso de tratar imágenes color, en las referidas R.G.B. de tres canales, su profundidad será de 24 bits y para las imágenes C.M.Y.K de cuatro canales la profundidad será de 32 bits, para realizar la tarea de captación o extracción de datos del escáner.

Tipos de soporte para tratamiento

Estos escáneres deben permitir operar con imagen Blanco/Negro y Color, en positivos, negativos, opacos y transparentes como soportes físicos originales.

Mecánica operativa de carga y tratamiento en el escáner (fundamentos)

A la hora de «colocar» los originales, ya sea en el Tambor o bien la Mesa, o lo que es lo mismo sobre el cilindro cristal, se deberá tener especial cuidado con la absoluta planeidad del soporte evitando así la creación de bolsas de aire, precursoras, sobre todo en las imágenes en color, de la aparición de los Anillos de Newton distorsionadores de la reconstrucción de la imagen.

Otro factor operativo de la tarea de la digitalización, que por su inmediatez pasa desapercibido, es la Limpieza del Entorno

e Instrumento, utilizando para prevenir la aparición del polvo, tanto en las imágenes como en los elementos mecánicos que los soportan (cilindro, cristal), productos especiales indicados para cada uno de ellos. Esta suciedad es importante prevenirla pues puede distorsionar gravemente la captura de datos imagen.

Al digitalizar una diapositiva o negativo en un escáner nos apoyaremos en un software de tratamiento de imágenes para escanear que nos permita crear ficheros LUTS, donde se almacenan los datos que configuran radiométricamente una imagen, como por ejemplo: CORRECCIÓN TONAL, CORRECCIÓN DE COLOR y DEFINICIÓN DE IMAGEN; estos parámetros citados, su estudio y sus correcciones oportunas, permiten mantener la «Homogeneidad Radiométrica» de las imágenes escaneadas, en las largas pasadas de vuelo de un proyecto de ortos-digitales, por ejemplo.

Para terminar este apartado, citaré que la técnica de la EXPLORACIÓN o BARRIDO (esacaneado), ha sustituido al procedimiento fotográfico tradicional, pues los problemas que este instrumento resuelve, como por ejemplo la selección, corrección y tramado de imagen, son los mismos que hasta ahora se solucionaban y resolvían fotográficamente; quiero con esto decir que para manejar un instrumento de esta precisión y características hay previamente que «conocer» las técnicas fotográficas que el citado aparato opera y resuelve.

En efecto, como para con todos los instrumentos, se deberá conocer para que sirve, y en este caso concreto del ESCÁNER, se deberá conocer la CURVA CARACTERÍSTICA del COLOR y sus MODIFICACIONES, que es la SELECCIÓN DE COLORES y en función de que se corrige, que es la MÁSCARA DESENFOCADA, que es el U.C.R (Under Colour Removal) o reducción de color bajo el negro etc. El escáner es un aparato de grandísima precisión, pero solamente es un aparato al servicio del hombre y que sólo el hombre sabe utilizar con inteligencia y acierto, aparte del profundo

conocimiento de la FOTOCROMÍA, esto es, la fotografía y la selección cromática para la impresión a colores.

Aplicación y utilidades de las imágenes digitales en la cartografía actual

Antes de citar los usos y métodos aplicativos basados en «lo digital» en el ámbito cartográfico, conviene a mi juicio hacer una reflexión sobre el pasado cercano y el presente, para comprender el profundo cambio estructural que han sufrido, por ejemplo, los gabinetes fotogramétricos o empresas productoras de cartografía.

Se ha pasado en los últimos años de trabajar con aparatos óptico-mecánicos asistidos a los todavía funcionales restituidores analíticos, ambos instrumentos con tamaños y pesos considerables, para acabar en la actualidad en las ESTACIONES DIGITALES, aparatos de gestión y tratamiento de los ficheros digitales obtenidos en el escáner, y que están constituidos por un ordenador y pantalla gráfica; este cambio de tamaño físico de los instrumentos generadores de cartografía ha modificado (a mejor) la importancia de la inversión en espacio que era necesario que realizar para la instalación del citado gabinete, contando con la premisa de igualdad de instrumentos productores de cartografía en tiempo pasado y en la actualidad con «lo digital». Asimismo el personal técnico que se ocupa de estos cometidos, ha dejado de ser un solitario creador y generador de datos cartográficos, con unas condiciones personales (físicas y psíquicas) intrínsecas derivadas de la citada condición de solitario, pasando a ser en la actualidad una persona cualquiera con una media cualificación informática, la cual se situará ante cualquier estación de trabajo en función de las necesidades coyunturales de la producción cartográfica en cada momento; de

esta forma los cometidos antes «estáticos» se han convertido en sistemas de trabajo, basados en equipos de personas, versátiles y dinámicos por constitución original.

Dentro del cambio que la imagen digital ha traído a la moderna cartografía, basta como ejemplo citar lo que han cambiado, para bien, los trabajos de «actualización de cartografía», donde la búsqueda de nuevos elementos o entidades se realiza imagen contra imagen, cuando hasta ahora por el contrario se realizaba cartografía contra imagen, con la pérdida de visión perspectiva global en cada modelo fotogramétrico, y la penosidad añadida en este trabajo.

Ya en el ámbito concreto de este apartado y después de las consideraciones anteriormente expuestas, se puede afirmar que la aplicación de la digitalización de imágenes en el ámbito de la cartografía y derivadas, tiene en España dos usos preferenciales y diferentes, que son por orden técnico, primero la Cartografía Digital Fotogramétrica, y segundo las Ortoimágenes Digitales como subproducto fotogramétrico de la primera; estas imágenes orto tienen cada día que avanza una mayor utilización temática, sobre todo de ámbitos abiertos y los muchos aspectos que se puedan estudiar a partir de los ortos.

A continuación vamos a describir los procedimientos metodológicos de la generación de cartografía y ortos a partir de las imágenes digitales y las diferencias esenciales entre ambos productos cartográficos.

Cartografía digital

La cartografía digital a partir de una digitalización de imágenes, se la puede ya nombrar como «digital» con absoluta propiedad, en contra de lo que ha sucedido hasta ahora, que se llamaba cartografía digital a algo que se debería llamar cartografía informatizada.

En lo concreto, la cartografía digital se obtiene y sustenta a partir de un vuelo fotogramétrico realizado con los recubrimientos y parámetros de vuelo que se emplean actualmente, y por supuesto convenientemente apoyado.

Este vuelo (negativo) se escanea o digitaliza y así obtendremos los datos (TIFF) digitales imagen, a partir de los cuales seguiremos aplicando las metodologías fotogramétricas de ORIENTACIÓN INTERNA y EXTERNA, ESCALADO y REFERENCIACIÓN al terreno, que se emplean para la generación y obtención de cartografía analítica o numérica.

Lo que ha cambiado del método operativo previo a la restitución propiamente dicho, es que ahora no se posiciona ningún elemento físico (negativo o diapositiva) en un sistema coordinatógrafo, sino que en sentido figurado se puede decir que «se llama» mediante software adecuado a los ficheros imagen de dos fotogramas, se miden sus características internas (orientación interna) y se asigna coordenadas a cada una de las imágenes citadas; a continuación se superponen ambas imágenes en la parte común que poseen (recubrimiento) y ya se obtiene el modelo primero preparado para trabajar en función de las especificaciones y características básicas que contiene para cada proyecto el FICHERO SEMILLA o PATRÓN.

La operación siguiente de restitución o captura de los detalles concretos que se quieran extraer de la imagen, es en lo digital una tarea facilitada por la visión y búsqueda sobre una pantalla gráfica y con la posibilidad de ampliación (Zoom) de la imagen original hasta el límite que define la resolución de la propia digitalización.

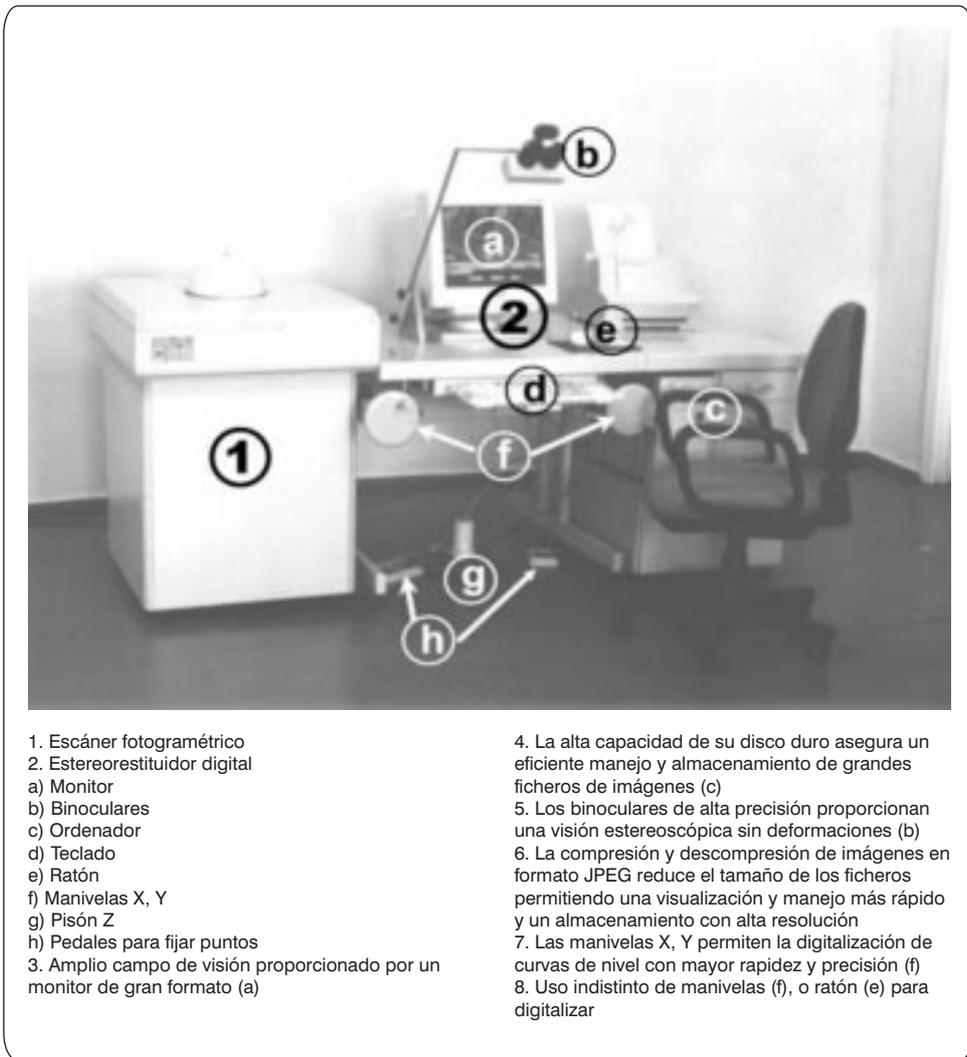
El rendimiento de esta RESTITUCIÓN a partir de imágenes digitales, es muy superior al conocido como convencional (analítico) y la precisión de captura de detalle es mucho más homogénea pues los factores ópticos que pudieran distorsionar han desaparecido ya que solamente se dispone de un ordenador y una pantalla como unidad de trabajo.

El conjunto de las operaciones citadas de manera sintética anteriormente, conforma la CARTOGRAFÍA DIGITAL que se almacena en un formato de lectura y difusión determinado, a partir del cual y como última utilidad, permite realizar la edición gráfica de los elementos capturados; en la figura 4 se recoge una estación

gráfica de las que actualmente existen en el mercado.

La actualización cartográfica por medios digitales tiene la gran ventaja de buscar en una imagen ampliada los «nuevos» «elementos a capturar situados, por así decirlo, entre los «antiguos» elementos, efectuando superposición de imagen sobre líneas car-

Figura 4
Estación gráfica



tográficas en un caso, o bien superposición de imagen antigua sobre imagen nueva.

La estación digital que se muestra en la figura, está compuesta de 8 componentes básicos que van desde un «potente» monitor hasta el multiprocesador simétrico para el proceso de imágenes, pero sin olvidar que también forma parte de este conjunto (sin estar unido a él) el aparato básico de las imágenes o ESCÁNER que se ha citado con frecuencia; De esta manera se puede afirmar que la ESTACIÓN + ESCÁNER conforman un SISTEMA INTEGRAL DE PRODUCCIÓN DIGITAL EN CARTOGRAFÍA al que el sector cartográfico va accediendo, sobre todo al ESCÁNER que hasta ahora estaba limitada su adquisición por el alto e injustificado (a mi modo de ver) precio de los instrumentos citados.

Ortos digitales

La orto digital es una imagen tratada digitalmente y posteriormente rectificadas para conseguir poder medir en ella como en un plano.

Las técnicas o técnica llamada genéricamente «ORTO» se conocen desde que Ferber (1927), Lacmann (1929), las idearon, demostraron y comprobaron, pero no tuvieron un definitivo respaldo operativo hasta 1953, fecha en la que Bean inventó y desarrolló el ORTOPROYECTOR nombre del instrumento que realiza la conversión de la proyección central (que es una foto aérea), o en una proyección ortogonal obteniéndose la ORTOFOTO, o imagen modificada sobre la que se puede efectuar mediciones.

La definición pues de una ORTO u ORTOFOTOGRAFÍA, es la de una fotografía vertical cuya imagen perspectiva ha sido modificada con el fin de obtener un documento métrico de escala casi uniforme de toda la zona recogida en la imagen; esta modificación se la conoce como la RECTIFICACIÓN DIFERENCIAL y es la que se realiza por medio de los ortoproyectores

analíticos, cuyo fundamento se describe en la figura 5.

El fundamento operativo que expresa la figura 5, se puede enunciar de la forma siguiente: La superficie del terreno representado en una imagen (fotografía), se describe mediante su M.D.T. (realizado a priori a partir de la imagen original), elemento básico a partir del cual se realizan los perfiles altimétricos que, leídos e interpretados por el software que controla el proceso, se calculan unos parámetros correctores que son aplicados al sistema óptico del ortoprojector (ZOOM y DOVE), para así poder efectuar la proyección ortogonal correcta (variación de escala, posición y giro) sobre la película del elemento imagen correspondiente a un determinado perfil.

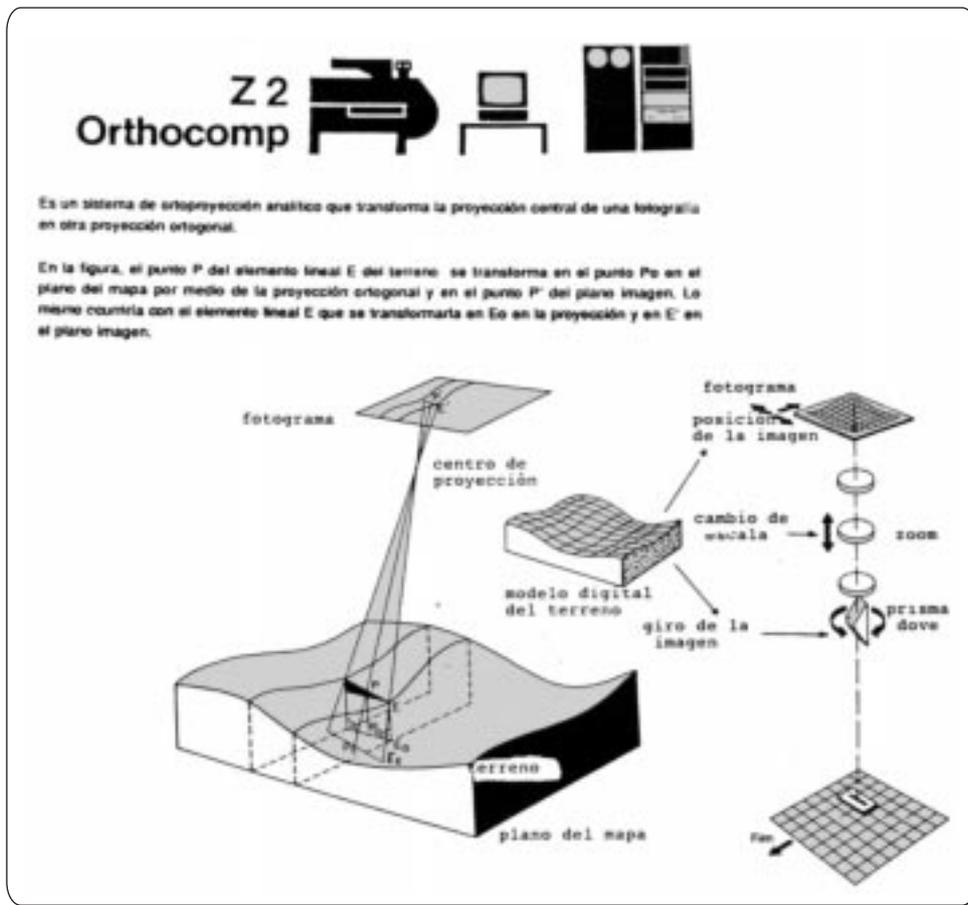
Expresado el fundamento de la orto, conviene tener claro las «diferencias» existentes entre las antiguas y ya obsoletas ortos analógicas, con las modernas y actuales ortos digitales; veamos cuáles son.

Ortos analógicas

Las ortos analógicas son imágenes rectificadas de tomas de vuelo fotogramétrico, cuyo producto final es puramente fotográfico, ya sea cual fuera su formato de presentación, dicho de otra forma, se obtendrá a partir de fotos aéreas verticales con recubrimiento predeterminado, la consecución de imágenes (sólo imagen) fotográficas rectificadas.

Este producto analógico (fotográfico), de carácter absolutamente temporal, es de difícil conservación y manejo costoso, pues su mantenimiento implica siempre grandes módulos de almacenamiento; por otro lado, estos módulos tienen que reunir unas condiciones constructivas que mantengan unas determinadas condiciones tipo de higrometría, presión y temperatura, sin las cuales este producto orto se convierte rápidamente en un material físico absolutamente perecedero.

Figura 5
Desarrollo de un ortoprojector analítico



Ortos digitales

El fundamento operativo como es obvio es igual al de la orto analógica, pero con la introducción del escaneado o digitalización de la imagen, para capturar la información que esta posee, lo que obtenemos son «Ficheros imagen» en un formato informático de presentación (TIFF, TGA, etc.) de las imágenes rectificadas.

Se dispone, entonces, «solamente» de información digital, encapsulada y estructu-

rada de forma que nos permita la visualización integral de cada orto en un simple P.C. moderno; la conclusión operativa es que se puede realizar todo tipo de análisis, inspecciones, estudios, etc., con un mínimo de elementos logísticos, y sobre todo que hasta este momento nadie se ha planteado la tarea de reconstruir y editar analógicamente (plots) la información total o parcial que de la que se dispone en formato digital.

Como se puede apreciar, han desaparecido los citados módulos de almacena-

miento, que han sido sustituidos en origen por un simple armario de C.D.; ésta es una de las enormes ventajas que posee la información digital sobre la analógica.

Propiedades básicas de las ortos digitales

Por citar brevemente, a continuación se relacionan las que se consideran más relevantes.

a) sus imágenes de tipo «raster» a las que se puede aplicar técnicas introspectivas para color e Infrarrojo color; es decir, las ortos digitales son MULTIESPECTRALES;

b) son imágenes geocodificadas, con la misma precisión que un mapa de línea de la misma escala;

c) en consecuencia, estas imágenes se pueden utilizar para estudios de mediciones, de longitud, superficie, etc.;

d) se utiliza en el estudio de proyectos medioambientales y urbanísticos de planeamiento, pues se pueden obtener perspectivas de terrenos, superponiendo la imagen al M.D.T. de la misma;

e) las ortos digitales se pueden fundir (sus imágenes) una con otra u otras para obtener una imagen color homogénea y de mayor calidad que las imágenes originales superpuestas; esta cualidad o propiedad se realiza porque las ortos están «calibradas respecto al color» y permiten la aplicación de módulos de ajuste radiométrico y de formación de mosaicos;

f) otra aplicación de la propiedad anterior, posibilita la MULTITEMPORALIDAD de los ortos digitales, al permitir obtener documentos (imágenes) homogéneos, de ortos realizadas en períodos diferentes de tiempo, donde la luminosidad y el aspecto color de las parcelas es diferente. Ésta es una cualidad básica para la actualización de mapas de forma versátil y rápida; evidentemente esto es imposible realizarlo con ortos analógicas, lo cual implicaría la

repetición de la totalidad del terreno a actualizar o completar;

g) estas ortos permiten, al ser digitales, efectuar extracciones de información de elementos plenamente identificados y concretos (planimetría, altimetría, masas de cultivos, etc.), que se pueden editar, bien en forma independiente como superponibles de la imagen fotográfica del orto, o bien obteniendo dicha imagen conteniendo los citados elementos temáticos sobreimpresionados con claridad. Esto posibilita el estudio completo ON-LINE de anteproyectos de todo tipo geográfico y del terreno;

h) las ortos digitales se pueden presentar en escalas variables a partir de la ESCALA DE CONSISTENCIA o RANGO LÍMITE de ESCALAS definido a priori para las ortos; esta presentación se produce al visualizar la información, permitiendo al software aplicativo de la visualización efectuar como un ZOOM repetido en escalas menores, que tiene su límite en lo definido por el apartado de la RESOLUCIÓN.

Aplicaciones y limitaciones de las ortos digitales

En el ámbito de las aplicaciones que en cartografía poseen las ortos, se citan seguidamente las más importantes, dentro del aspecto multioperativo que estas imágenes digitales poseen.

Catastro de rústica

Dada la fiabilidad, rapidez, economía de producción, facilidad de manejo de información y facilidad para su actualización, las ortos digitales son una herramienta imprescindible del Catastro de Rústica, pues se constituyen en el soporte referencial y dimensional de todos los datos parcelarios, con el valor añadido de la enorme riqueza de información complementaria que poseen estos ortos digitales.

Obras civiles

Por citar una aplicación de proyecto de obra civil que se una con datos catastrales, se podrá disponer en cualquier proyecto de viales, utilizando estas ortos, la identificación de parámetros parcelarios necesarios en la expropiación y consiguiente valoración a aplicar al justiprecio de aquélla, es decir, lo que hasta ahora se hace mediante taquimetría e investigación de propiedad en campo se puede realizar en gabinete, pues no es otra cosa que una tarea catastral localizada.

Urbanismo y planeamiento

La utilización de ortos digitales facilita enormemente estos trabajos, sobre todo en ámbitos urbanos; conocido es que el urbanismo y la ingeniería urbana exigen la presencia de un soporte referencial cartográfico permanentemente actualizado y de gran rigor precisional. Por otro lado, una imagen digital, por ejemplo en color, aporta al planeador no solo la percepción de entidades y líneas, sino también la infinidad de matices que conlleva la representación de todos los elementos que componen la topografía de un lugar, algunos de los cuales están en permanente transformación.

Estudios medioambientales

Se puede afirmar que hoy en día no se acomete un trabajo de Determinación de Impacto sin que los estudios para ello estén primariamente apoyados en una cartografía y ortos digitales de la zona afectada por el estudio, lo que permitirá superponer ambas informaciones, la geométrica y la perspectiva para, de una forma integral, poder definir los parámetros que enmarcan el impacto ambiental; se deberá tener en cuenta que esto se puede hacer en un P.C. Workstation, donde se analizan y plantean soluciones, mirando por así decirlo el terreno natural en vez de sobre una cartografía en línea.

En el aspecto de las LIMITACIONES de este producto cartográfico, solamente hay que tener clara una cosa: Los ortos por muy digitales que sean «no serán nunca» (hasta el momento) cartografía de grandes escalas como el 1/500 y 1/1000, pero sin embargo sí que son cartografía de grandes ámbitos territoriales, desde los términos municipales al territorio de una nación; Con esto quiero afirmar que las ortos digitales y sus utilidades comienzan a partir del 1/2000, continuando de forma masiva con el 1/5000.

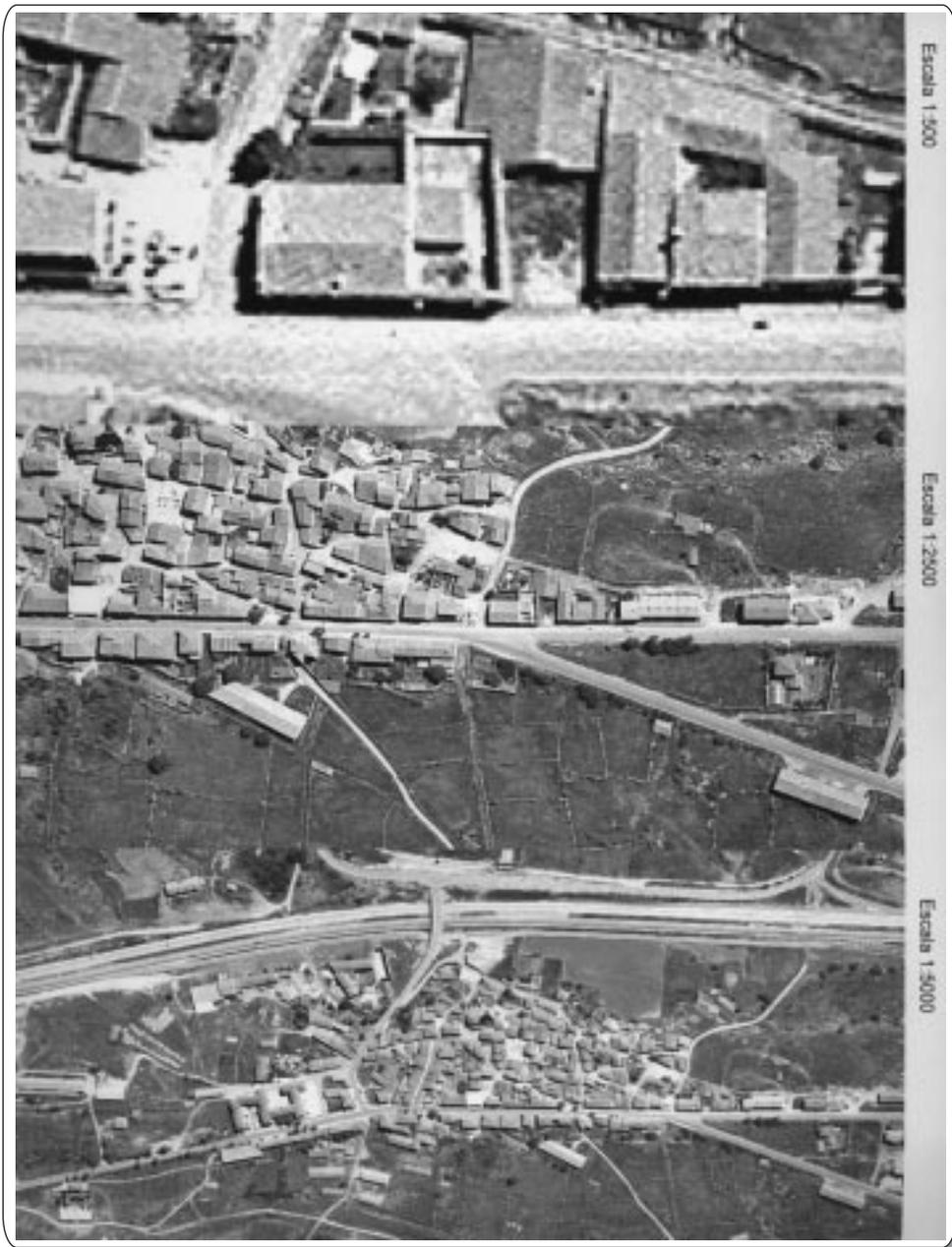
En otro orden de cosas, es muy importante resaltar que la mayor parte de las aplicaciones sobre el territorio se basan en el empleo de los sistemas de información geográfica, de forma que se pueden realizar todo tipo de análisis utilizando la información cartográfica digital con la correspondiente información de atributos. En este sentido, esta cartografía digital tiene que ser necesariamente vectorial y dotada del suficiente nivel topológico que permita su estructura en recintos y cadenas relacionadas que enlazadas a la información atribuyente, permitan su explotación como sistema de información territorial.

Por todo ello, la información cartográfica raster proveniente de ortoimágenes, es muy importante destacar que permitirá su inclusión en el GIS para su visualización, que indudablemente añade un valor informativo, pero por sí misma no es susceptible de una explotación informática sin la realización de todos los procesos posteriores de vectorización y topología.

Consideraciones finales sobre la generación y usos de imágenes digitales

Al preparar este trabajo mi principal y única preocupación, ha sido la de tratar de presentar una visión completa y al mismo tiempo de síntesis de los fundamentos y características básicas de las imágenes digitales personificadas en la cartografía y en

Figura 6
Compresión y descompresión de ficheros digitales



las ortos digitales. Las nuevas técnicas que llegan al mundo de la cartografía hacen en la actualidad replantear el conocimiento que de ellas deben poseer los profesionales, empezando como tarea primaria por difundirlas en la propia Universidad.

Los procedimientos tradicionales de restitución numérica y la generación de ortos con el laboratorio fotográfico como base han dejado paso a la captura de detalle mediante exploración electrónica o barrido mediante ESCÁNER y a las filmadoras industriales, con lo que tendremos que introducirnos en el conocimiento de la Fotocromía y sus postulados básicos, y en el mundo y técnicas de los instrumentos barridores citados anteriormente, para «no solamente conocer sino saber» con detenimiento lo que en cada momento o fase operativa hace, por ejemplo, un escáner aparato de gran precisión y perfección pero que solamente es un instrumento al servicio del hombre y que solamente el hombre puede usar con eficacia e inteligencia.

Asimismo conceptos como «Luz Coloreada Primaria», y la luz complementaria correspondiente, los tenemos que dominar; lo mismo que conocer con detenimiento lo que significa y es la luminosidad, el tono la saturación, etc.; este cambio cualitativo es bastante similar en el mundo cartográfico, al producido en los comienzos de los años setenta con la llegada de los (EDM) instrumentos de Medida Electrónica de Distancias y los primeros telurómetros a España.

Por último, quiero terminar estas consideraciones reiterando lo ya citado en el

epígrafe correspondiente acerca de las propiedades de las ortos digitales, sobre lo que es y significa la Escala de consistencia o Rango de Escalas.

A partir de la Escala de Consistencia, se pueden presentar o producir diferentes escalas (en pantalla) en la etapa de visualización de la información digital, gracias a la facultad de «comprimirse y descomprimirse» que poseen los ficheros digitales, por acción del software específico del tratamiento digital de imágenes. Sin embargo, no debe nunca olvidarse que con estas actuaciones se altera sustancialmente la calidad de la imagen.

Prueba de ello es lo que al respecto refleja la figura 6, donde se aprecia que a partir de la *Escala de Consistencia* (1/5.000) se puede llegar a visualizar solamente los píxel de la imagen (1/500), pasando por la escala (1/2.500) en la cual se empieza a perder nitidez de contornos de entidades o lo que es lo mismo, estamos en el límite del posible *Rango de Escalas* que se pueden presentar a partir del 1/5.000 citado.

Este método operativo de captura de datos y su tratamiento, se aplica en la actualidad en la Dirección Gral. del Catastro, sobre todo, en la generación de Ortos, que se utilizan entre otros aplicativos, como base y soporte cartográfico en los trabajos de renovación del catastro de Rústica; en lo que respecta a la Cartografía catastral urbana, se contratan también los trabajos de ejecución de ésta, utilizando el tratamiento digital de imágenes, como una de las opciones de realización permitidas. ■