



## Fotogrametría

En fotogrametría digital la imagen sustituye a la diapositiva como soporte de los procesos Fotogramétricos. Por imagen se entiende una estructura matricial en la cuál sus elementos son píxeles. La imagen difiere de la fotografía convencional en las características geométricas y radiométricas.

La obtención de imágenes digitales en la actualidad es posible mediante cámaras aéreas digitales que están comenzando muy despacio a introducirse en el mercado.

Pero dichas cámaras todavía no han llegado a resolver de un modo satisfactorio la captura de imágenes digitales de forma directa, además del elevado coste que suponen.



Ilustración 3.1: Imagen digital obtenida del escaneo de una diapositiva

Frente a la obtención directa la alternativa es la digitalización. La digitalización supone la transformación de fotografías aéreas en imágenes digitales mediante la utilización de un escáner fotogramétrico. La película fotográfica en estos momentos es el soporte de mayor importancia debido a su alta calidad desde el punto de vista del poder de resolución, contraste, estabilidad y rango dinámico. Estas características del soporte se unen a la aparición de los escáneres fotogramétricos especializados a finales de los años 80, con lo que puede observarse un desarrollo gradual y una mejoría en la calidad de los escaneos resultantes.

Originalmente, la especificación más importante para estos escáneres fotogramétricos era la precisión geométrica del escáner pero cada vez, debido a unos resultados óptimos en este campo, existe una mayor preocupación por el buen color y el rendimiento radiométrico.



Ilustración 3.12: Escáner UltraScan 5000 de Vexcel Imaging

Los principales usos hacia los que están derivando las imágenes digitales obtenidas por escáneres fotogramétricos son:

- Generación de Ortofotos
- Aerotriangulación automática
- Generación de MDT automáticos
- Generación y actualización de bases de datos digitales
- Integración en SIG

Será fundamental el control y análisis de las precisiones obtenidas en las imágenes digitales, ya que se han detectado problemas producidos en procesos fotogramétricos digitales como pobres resultados en orientaciones y aerotriangulación, errores en la generación de modelos digitales del terreno (MDT), diferentes deformaciones radiométricas y pérdidas de calidad en la imagen. Dichos errores eran causados en el pasado por la insuficiente calidad radiométrica y geométrica en el momento de la digitalización.

## 1.2. Tipos de escáner

Existen en el mercado diferentes tipos de escáner y sólo una parte de ellos va a permitir que se consigan las calidades geométricas y radiométricas exigibles para cualquier trabajo fotogramétrico. A continuación se muestran los diferentes tipos de escáner que podemos encontrar en el mercado actual, dentro de los cuales se explicará el tipo a los que pertenecen los denominados fotogramétricos.



Los escáneres manuales no son utilizables en fotogrametría debido a su poca anchura de barrido y los inevitables temblores que la mano humana le transmite durante la exploración, haciendo que la imagen digital pierda la métrica que se le presupone.

En cuanto a los escáneres de unidades planas, los de exploración superior colocan los documentos sobre una superficie plana y son digitalizados por medio de una cabeza óptica situada encima de ellos. Por construcción estos escáneres permiten formatos grandes, pero por la metodología de trabajo alcanzan poca resolución y transfieren ciertas vibraciones a la imagen digital que no los hacen recomendables. La estabilidad en la toma de datos tanto geométrica como radiométrica nunca sería la misma.

En los escáneres de rodillo la óptica de exploración y los circuitos son elementos fijos, solamente giran los rodillos que empujan las fotografías o mapas. Estos giros producen unos desplazamientos relativos entre la foto y el rodillo que tienen como consecuencia alteraciones en la métrica de la imagen digitalizada final. Estos escáneres obtienen sin embargo una alta calidad radiométrica.

Como ya se ha hecho referencia, será al final de la década de los años 80 cuando comienza a desarrollarse de una manera lenta la tecnología de digitalización que permitirá transferir la precisión geométrica de la película a la imagen digitalizada. Hasta entonces no había surgido la idea de la utilización en fotogrametría de los escáneres electrónicos de rodillo de bajo costo que en aquellos momentos estaban conquistando el mercado de las artes gráficas. Fue en ese momento cuando se desarrollaron diferentes iniciativas para la utilización de estos escáneres en la fotogrametría demostrándose que su utilización no era posible debido a que se producían errores geométricos del orden de las 500 micras como consecuencia de la imposibilidad de mantener permanentemente en contacto a la película con el tambor para la extensión total de la fotografía aérea. Todos estos estudios determinaron y justificaron la utilización de los escáneres planos con un formato lo suficientemente grande para aceptar el tamaño de una imagen aérea y suficientemente preciso y estable geométricamente para poder trabajar en procesos fotogramétricos.



Ilustración 3.21: Escáner DSW 500 de LH Systems

Los escáneres planos utilizan una metodología de captura de la imagen más compleja. La película se coloca sobre una superficie de cristal y se asegura la posición de ésta mediante la presión con otro cristal. La cabeza óptica se moverá, pegada al cristal que sirve de base, a lo largo del documento mientras que por encima incidirá un haz de luz del mismo tamaño que la cabeza y pegado al cristal superior. En condiciones ideales estos escáneres deberían digitalizar las imágenes fotogramétricas con un único paso de la cabeza óptica, lo cuál no es posible en la actualidad por limitaciones técnicas y las imágenes se deben digitalizar por partes formándose estas a partir del montaje de pequeños cuadrados o pasadas.

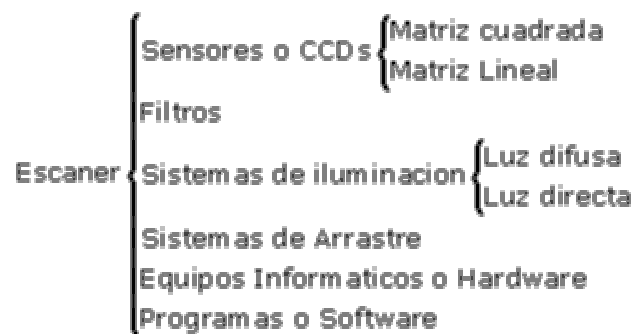
Durante algún tiempo los fabricantes de escáneres de tambor sostuvieron que los escáneres planos no iban a ser capaces de acercarse al rendimiento radiométrico producido por los de tambor. Esta desventaja de los escáneres planos ha sido superada en los últimos años por los

nuevos sensores electrónicos CCD (Charge-Coupled Device) de disposición lineal, que poseen mejores características de relación señal-ruido y un número mucho mayor de píxeles, haciendo de ese modo realidad su superioridad frente a los escáneres de tambor.

### 1.3. Escáneres fotogramétricos

Para llegar a determinar a que se denomina escáner fotogramétrico veremos los elementos que lo forman, las características que tienen, el modo de funcionamiento y los escáneres que podemos encontrar en el mercado.

Hay una serie de elementos que son comunes a los escáneres fotogramétricos y que deben de ser analizados.



#### 1.3.1. Sensores o CCDs

Los escáneres fotogramétricos tienen un elemento básico que es el sensor electro-óptico, en el cual se establece una relación entre la luz incidente en el sensor y la respuesta de éste. Las propiedades de estos sensores son:

- Propiedad Geométrica: En general los sensores electro-ópticos proporcionan una alta estabilidad geométrica, viéndose únicamente afectados por una falta de planeidad de los elementos sensibles que forman la matriz del sensor. Es un parámetro difícil de medir y una información difícil de conseguir. La falta de planeidad produce errores similares a los producidos por falta de planeidad en el plano focal de la película, en cámaras analógicas. Se trata de un problema cada vez más importante ya que los sensores tienen cada vez mayor resolución.
- Propiedad Radiométrica: La imagen no es continua sino discreta y los sensores son acromáticos, toman o captan una zona del espectro que es aproximadamente la del visible y un poco más. Ya que la imagen se considera discreta habrá que discretizar ese intervalo del espectro en niveles de captura. Cómo los sensores son incapaces de capturar el color, la captura de imágenes en color se realiza haciendo cada captura con un filtro (rojo, verde y azul) y posteriormente se monta la imagen con la condición indispensable que el objeto permanezca inmóvil durante la captura.

Existen dos tipos de sensores con diferente forma de operar:

- Los sensores o CCDs de matriz cuadrada recorren la fotografía formando la imagen con la unión de diferentes subimágenes recogidas por la matriz. Este tipo de trabajo que realizan se denomina “de captura y avance”. La matriz avanza hasta una posición predeterminada, recoge la información para conseguir una imagen teselada y así a la siguiente posición. Con ellos se consigue una mejor dimensión de puntos e imágenes.

- Los CCDs lineales se moverán por la imagen de un modo continuo formando una línea de imagen y pasando a una nueva posición para la formación de la siguiente línea o tira.

Siendo dos sistemas de actuación muy diferentes no pueden evitar la formación de la imagen final digitalizada a partir de partes de la imagen.

En otros ámbitos de la tecnología en donde se utilizan estos dos tipos de sensores, los de disposiciones cuadradas se suelen utilizar en las cámaras digitales dirigidas fundamentalmente a objetos en movimiento, mientras que los sensores con disposición lineal se utilizan en cámaras fijas, o fax copiadores donde el elemento a capturar está fijo.

Los escáneres fotogramétricos montan indistintamente cualquiera de los dos sensores, pero si es cierto que los sensores lineales ofrecen una mayor calidad radiométrica, y por lo tanto son los dispositivos más utilizados.

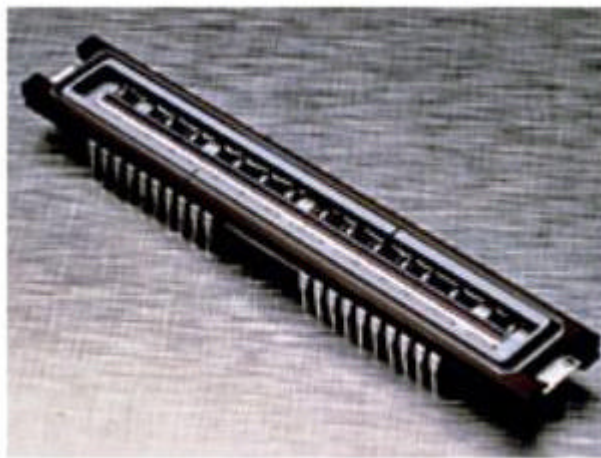


Ilustración 3.31 Sensor CCD lineal

### 1.3.2. Filtros

Los escáneres suelen tener cuatro filtros, tres de ellos para las bandas de color (RGB) Roja, Verde y Azul, y una cuarta que nos permite la obtención de escala de grises. Además, muchos sistemas incorporan filtros de eliminación de infrarrojos, ya que los componentes electrónicos son sensibles a éstos y afectan de una manera muy importante a la resolución radiométrica.

### 1.3.3. Sistemas de iluminación

El sistema de iluminación debe proporcionar una cantidad adecuada de luz roja, verde y azul. La iluminación debe ser independiente del tiempo de funcionamiento del escáner o de su edad. Para conseguir uniformidad en la cantidad de luz generada por la lámpara, se ha implementado un circuito de control.

Existen dos tipos de sistemas de iluminación en los escáneres fotogramétricos, de luz difusa y de luz directa. El más utilizado es el de luz difusa, ya que permite que los rayos lleguen de forma más homogénea y repartida al sensor. Esto se logra colocando entre la película y la luz una placa de cristal opalescente.

El sistema de luz directa proporciona mayor economía de energía de luz, pero actúa de una manera puntual sobre la película con lo que no se logra la homogeneidad sobre toda la película. Incrementa la profundidad de campo de una manera considerable.



Ilustración 3.32 Ejemplo de lámpara de luz difusa

#### 1.3.4. Sistemas de arrastre

Para la automatización del proceso de digitalización ya son muchos los escáneres que incorporan un sistema de arrastre o alimentador, tanto automático como manual, que permite la digitalización desde rollo. Normalmente este sistema es utilizado en grandes proyectos y permite un ahorro importante tanto de tiempo como económico.

De la misma manera, la digitalización directamente desde rollo supondrá un aumento en la calidad de la imagen final obtenida. Se habrá evitado en la película un gran número de ralladuras, polvo y manchas de grasa que se suelen transferir tanto en el proceso de cortado como en el de obtención de la diapositiva. Esto incide en el ahorro considerable de posibles problemas en aerotriangulaciones automáticas posteriores, modelos digitales automáticos o posibles retoques o ediciones de las Ortofotografías antes de su entrega final.



Ilustración 3.33: Alimentador de rollo automático del escáner PhotoScan 2001 de ZI Imaging

#### 1.3.5. Equipos informáticos o Hardware

Los equipos informáticos que acompañan a los escáneres fotogramétricos deben ser de última generación, ya que las imágenes digitales obtenidas tienen gran cantidad de información que se traduce en archivos de gran tamaño, y su tratamiento, procesamiento, transmisión y almacenamiento podrían suponer un grave problema.

La totalidad de los equipos montados, además de poseer la capacidad de almacenar y gestionar una gran cantidad de información, deben dar mucha importancia a las tarjetas gráficas y a los monitores que utilizan.

### 1.3.6. Programas o Software

Los equipos, además de llevar programas propios de escaneo, están dotados de la posibilidad de ecualizar y corregir histogramas de datos radiométricos, convertir a diferentes formatos de imágenes digitales o hacer balances de color.

También permitirán la transformación de película negativa a imagen digital positiva tanto en Color como en Blanco/Negro.

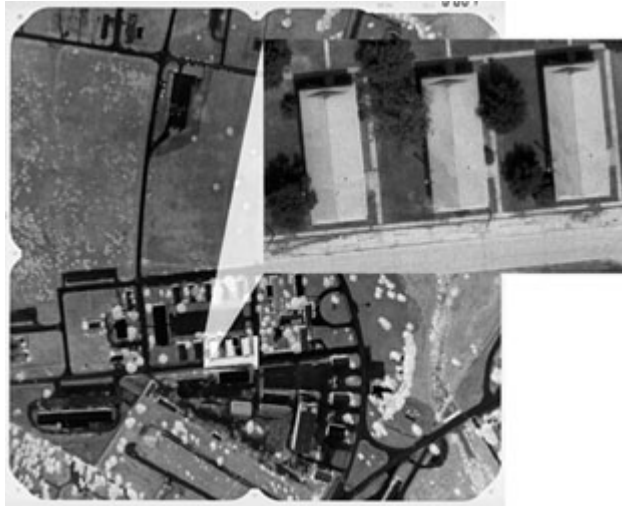


Ilustración 3.34: Datos de entrada negativos y datos de salida positivos en película en B/N.

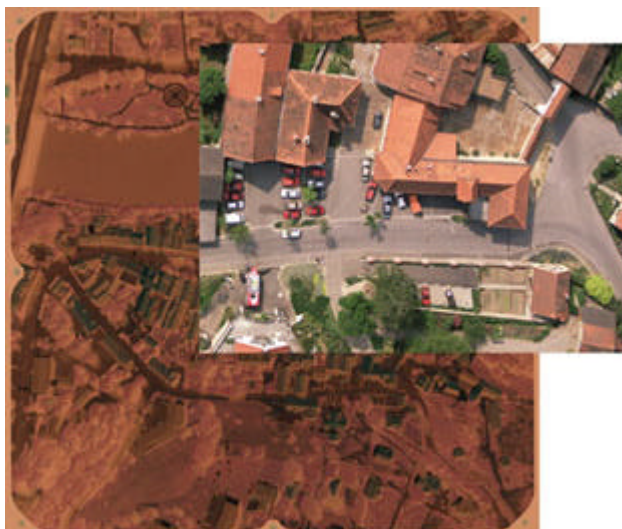


Ilustración 3.35: Datos de entrada negativos y datos de salida positivos en película color.

## 1.4. Características de los escáneres fotogramétricos

Los escáneres tienen una serie de características que son definitorias para poder determinar su condición de fotogramétricos. Estas son:

- Constructivas
- Geométricas
- Radiométricas

### 1.4.1. Características constructivas

Será de especial importancia la estabilidad en todo el sistema. Por ello, como característica constructiva se pide estabilidad en la energía y estabilidad mecánica en los desplazamientos del sensor. Se espera uniformidad en el sistema de iluminación (estabilidad energética) ya que la cantidad de luz deberá de ser constante durante el proceso de digitalización y esa falta de estabilidad produciría serios defectos radiométricos. Esta se consigue mediante el control de la temperatura en diferentes partes del escáner. Los sistemas de refrigeración del sensor permiten que no se produzca un aumento de ruido en la imagen. La estabilidad geométrica es fundamental para obtener las precisiones requeridas en estos tipos de trabajos. Los desplazamientos del sensor pueden perder calidad geométrica influenciados por el polvo, por falta de calibración mecánica o defectos de engrase, los cuáles producirán defectos graves geométricos sobre las imágenes digitales.

### 1.4.2. Resolución geométrica

La resolución geométrica determina la precisión de las imágenes digitales y por tanto la precisión del escáner. Dicha característica viene dada por la resolución y la geometría.

La resolución constituye la explotación métrica de las imágenes por parte del escáner, es decir la resolución máxima que alcanza el escáner. Una mayor resolución significa un menor tamaño de píxel, siendo éste la unidad elemental de información gráfica.

Con la geometría se determina la precisión con la cuál el escáner coloca o posiciona cualquier elemento, punto o píxel dentro de la imagen.

La resolución geométrica del escáner va a depender fundamentalmente de la gama a la que pertenezca el escáner así como del trabajo que se pretenda realizar.

### 1.4.3. Resolución radiométrica

Para evaluar la calidad radiométrica de una imagen digital será necesario evaluar un parámetro denominado "bit number" el cuál es la unidad básica de información digital y se expresa de la siguiente manera:

$$bit = \log_2 I$$

donde I es la cantidad de intensidad luminosa que llega al film expresada en lux.

El número de niveles de grises o de niveles de información se expresa como:



$$G = 2^m$$

donde  $m$  es el bit, y se acepta comúnmente que  $m=8$  debido a que de esta manera se hace corresponder la unidad de información gráfica el píxel con la unidad de almacenamiento informático el byte, y además porque el ojo humano solo es capaz de distinguir hasta 200 niveles de grises y la mejor correspondencia son los 256 que se obtienen de esta manera.

La resolución o calidad radiométrica es un factor fundamental ya que para los siguientes procesos en los que intervendrán las imágenes digitales, sobre todo procesos automáticos, pueden producir falta de precisión geométrica. La definición o ruidos de estos valores pueden influenciar en la precisión de la medición.

Una de las propiedades que establece la calidad radiométrica de una imagen digital es el rango dinámico, a mayor rango dinámico mejor reparto dentro del histograma de frecuencias y por tanto mejor contraste en las imágenes. Los rangos de los escáneres oscilan entre 0.1-2.5D para escalas de grises y 0.2-3.5D para el color, los cuales son suficientemente altos asegurando una correcta calidad radiométrica.

Otra propiedad es la función de transferencia de modulación (FTM) que busca referenciar el contraste de un píxel con sus vecinos. Se indica la reducción de contraste de una onda sinusoidal patrón para varias frecuencias de muestro.

El ruido es la última propiedad a tratar, el cuál se define cómo el error en la determinación de los píxeles sea cual sea su fuente. Se conoce que a mayor nivel de señal mayor ruido. Los escáneres de luz difusa producen un 20% menos de ruido que los que utilizan luz directa.

### **1.5. Funcionamiento de los escáneres fotogramétricos**

Los escáneres fotogramétricos utilizan un sistema de iluminación superior, normalmente luz difusa, la cuál incide sobre la película a digitalizar. Dicha luz sufre una transformación al pasar a través de la película la cual es recogida por un fotosensor denominado "charge-coupled device" o CCD.

El CCD es un conjunto de elementos fotoeléctricos que detectan la luz y cuyo número y disposición depende del tipo de escáner. Los sensores fotoeléctricos producen un voltaje proporcional a la cantidad de luz que reciben. La luz que pasa a través de la película es entonces recibida por estos sensores que interpretan la cantidad de luz que la película les manda. Un punto blanco en la película permite que pase la mayor parte de la luz que recibe y por lo tanto produce una respuesta de alto voltaje de salida, mientras que un punto negro, lo que hace es absorber la mayor parte de la luz, al fotosensor la cantidad de luz que le llega es mínima y por lo tanto produce una respuesta de bajo voltaje de salida. Los dos extremos de la escala de grises originan voltajes iguales pero con signo diferente.

El siguiente paso consiste en la transformación de estos voltajes de salida analógicos del CCD en valores digitales. En el escáner fotogramétrico un transformador analógico digital convierte el voltaje de salida de cada elemento del CCD en una combinación de bits por píxel que representa la cantidad de luz reflejada. En nuestro caso, con 256 niveles de gris, se tiene una gama entre el negro (0000000) y el blanco (1111111). Cada lectura de los elementos del CCD representa una exploración completa de una fila de píxeles.

### **1.6. Características del escáner PhotoScan TD de Intergraph**

Se deberá tener mucho cuidado a la hora de utilizar las imágenes aéreas digitalizadas en la realización de trabajos fotogramétricos, imponiendo la exigencia de digitalización con escáneres que realmente aseguren las precisiones geométricas y radiométricas. Errores producidos en la digitalización se propagaran a través de todos los procesos fotogramétricos posteriores.

Como ya hemos comprobado en el período de preparación del trabajo los equipos y materiales con los que se crean los datos son de alta calidad.

El escáner a emplear debe ser plano, con precisión cartográfica, y con posibilidad de realizar una autocalibración, para comprobar su precisión. Debe tener una capacidad de resolución menor de 10 micras y una precisión geométrica de 2 micras. Deberá ser obligatorio el proceso de autocalibración para poder conocer la precisión del instrumento antes de iniciar el proceso de barrido.

Así mismo este escáner debe tener la capacidad de dar tanto una salida en B/N o escala de grises, cómo una salida Color. Los valores de la escala de grises están expresados por un rango numérico de 0 a 255, siendo el primero el correspondiente al negro y el último el correspondiente al blanco. Lo mismo ocurrirá con el color pero con esta distribución numérica para las bandas del rojo, verde y azul (RGB).

La película original se digitalizará con el escáner fotogramétrico PhotoScan TD desarrollado conjuntamente por las empresas Intergraph y Carl Zeiss. Este escáner utilizado es el distribuido por la empresa Intergraph y se diferencia del escáner Zeiss SCAI en el ordenador principal (Intergraph TDZ 2000 Pentium III que utiliza únicamente Windows NT), en el programa de digitalización además de en un programa propio para comprimir a formato JPEG.

El escáner fotogramétrico PhotoScan TD es un sistema de digitalización de alta resolución tanto geométrica cómo radiométrica, que convierte información fotográfica de películas negativas o positivas tanto en B/N cómo en Color en datos raster.

El escáner fotogramétrico PhotoScan TD es un escáner de mesa, con el sensor fotoeléctrico móvil y la zona que acoge la película fija. El sistema mecánico de movimiento es de alta precisión. Este escáner tiene la posibilidad de un alimentador de rollo que para nuestro trabajo no es necesario, debido a que la empresa encargada de realizar el vuelo nos entrega los negativos cortados por fotogramas.



Ilustración 3.61: Escáner PhotoScan 2001 de ZI Imaging

Las lentes utilizadas son lentes de espejo de alta velocidad con un escalado de la imagen 1:1.

Estas lentes son desarrolladas por los ópticos especialistas de Carl Zeiss. Reúnen los requisitos de no producir ni errores cromáticos, ni distorsiones simétricas. Esto proporciona una alta resolución óptica (72 líneas pares/milímetro), alto contraste y alta calidad de la imagen. No es necesario ajustar o cambiar las lentes si la resolución básica cambia.

El sensor o CCD utilizado monta tres líneas, una por cada banda de rojo, verde y azul (RGB). Se utilizan 5632 píxeles activos lo cuál proporciona una anchura de brazo de 39.424 mm, así una fotografía aérea con una anchura entre fiduciales de 230 mm puede ser explorada en 6 pasos de brazo. La ventaja de una configuración lineal en vez de una matriz es que se reducen los tiempos de digitalización sobre todo para imágenes en color ya que tanto el registro como el procesado se realizará en un único ciclo de exploración.

Las diferentes resoluciones que alcanza el escáner fotogramétrico (7, 14, 21, 28, 56, 112, 224 micras) son propias de la máquina (hardware), es decir no son obtenidas mediante ningún método de remuestreo o cálculo. Por tanto se tendrán diferentes tiempos de digitalización dependiendo de cada resolución, incrementándose los tiempos con tamaños de píxeles menores. Lo cual nos permite digitalizar una imagen completa a baja resolución en muy poco tiempo facilitándonos la accesibilidad a ésta para su tratamiento rápidamente.

Se puede apreciar en la siguiente imagen los distintos componentes de este escáner.

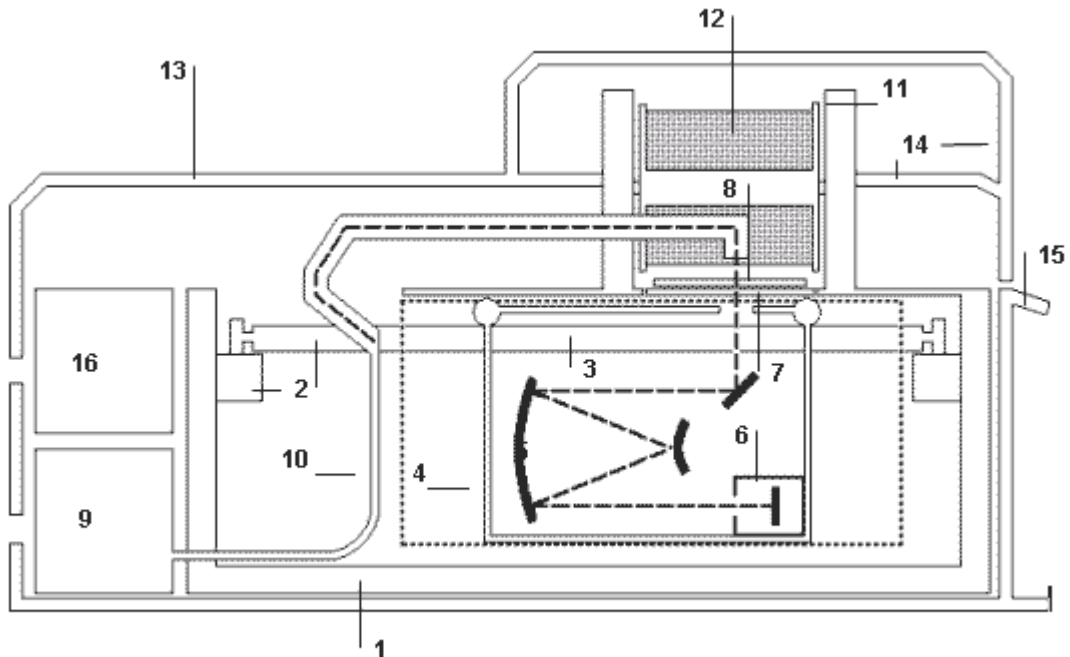


Ilustración -3.6-2

Tabla 3.6.1

1	Carcasa de hierro	9	Recinto de la lámpara
2	Carro y eje primario	10	Cable de fibra óptica
3	Codificador	11	Alimentador automático
4	Carro secundario	12	Rollo de la película
5	Lente de espejo	13	Recinto del equipo
6	Módulo CCD	14	Recinto del equipo
7	Plato que soporta la foto	15	Panel de control
8	Plato que cubre la foto	16	Modulo electrónico

El alimentador automático de rollo (11) permanece unido (conectado) con el recinto de hierro del equipo. La película se coloca sobre el cristal que funciona a modo de plato que soporta la foto (7), y la posición se fija mediante el otro cristal que funciona como elemento de fijación (8). La manipulación de este último cristal puede ser por parte de un operario para la inserción o el retiro de copias de exploración individuales, o bien mediante el levantado y bajado por medio del motor si lo que se está utilizando es directamente el rollo de película continua.

El formato de foto máximo que puede ser explorado es 275 mm x 250 mm. Un brazo de iluminación con la lente y el módulo CCD forman el carro secundario (4), que explorará con varios pasos de brazos la foto en un movimiento exacto. Todos los movimientos generados exigen una precisión muy alta y nos ayudaremos de elementos tales como motores de servo corriente continua, tacómetros, codificadores rotatorios, y un codificador lineal, que nos asegurarán la excepcional exactitud geométrica del instrumento.

La fuente luminosa es un módulo de lámpara halógena de tusteno, donde además se alojará el filtro IR, la lente de condensador primaria, la rueda del filtro y el extremo primario del cable de fibra óptica. La luz es conducida por encima del plato que funciona como tapadera de cristal por medio de una guía flexible ligera de fibra óptica conectada al carro secundario. El convertidor de corte transversal diverge la luz antes de que esto alcance el plato de tapadera de cristal, así produciendo la iluminación difusa. Un prisma entonces desvía el camino de rayo a la lente de espejo. La iluminación difusa asegura que cualquier rasguño leve o contaminación sobre la superficie que sostiene la foto va a ser reproducido en muy menor grado sobre la imagen digital.

El escáner fotogramétrico PhotoScan TD esta instalado en una sala completamente aislada, la cuál tiene un sistema de refrigeración propio. Es necesario este aislamiento tanto para preservar el escáner de la entrada de polvo como para poder conservar la instancia a temperatura constante de 22.5° sin sufrir variaciones superiores a 1°, y con una humedad relativa en un 50%, cumpliendo así las condiciones necesarias para conseguir:

- Precisión geométrica de 2 micras
- Resolución geométrica de 14 micras

En este punto es fundamental hacer referencia a los estudios realizados en este campo por Emmanuel P. Baltsavias (Instituto de Geodesia y Fotogrametría, ETH-Hoenggerberg, Zurich) y por Christoph Kaeser (Oficina Federal de Topografía de Suiza, Wabern) y presentado en las jornadas celebradas por la OEEPE en París del 22 al 24 de Junio de 1999. Este estudio realiza un conjunto de controles de calidad tanto geométricos como radiométricos a diferentes escáneres fotogramétricos. La máquina utilizada obtiene en estos tests una fiabilidad y estabilidad por encima al resto de los escáneres que se encontraban en ese momento en el mercado.

El escáner fotogramétrico PhotoScan TD posee un elevado prestigio y su precisión, fiabilidad, repetibilidad y estabilidad están altamente contrastadas. El escáner, ha sido calibrado y certificado su buen uso por el fabricante, como así consta en el certificado de calibración del mismo.



## 1.7. Metodología de trabajo

Una vez determinadas las características que debe cumplir el escáner que va a digitalizar la película y elegido al más adecuado para esta tarea se pasará a examinar las diferentes tareas que serán necesarias para la obtención de una imagen digital correcta tanto geométrica como radiométricamente para los posteriores procesos en los que va a ser utilizada.

El primer paso a realizar en la digitalización será el proceso de reconocimiento de los datos de entrada al escáner, examinar la película, para poder configurar al escáner de la manera más correcta posible y que se optimicen los rendimientos de trabajo.

En el estudio de los datos de entrada se deberá tener en cuenta:

- Si la película es positiva o negativa
- Determinar la dirección del eje de vuelo, ya que siempre se intentará que las fotos estén orientadas al Norte
- Elegir las fotos necesarias tanto para la digitalización en B/N para restitución como para la digitalización en COLOR para la creación de ortofotoplanos
- Examinar la película, para determinar el modo de leer la emulsión

Este último punto es de necesaria importancia para determinar el modo de carga de la película sobre el escáner. La manera de cargar la película va a depender de la manera de leer la emulsión y de cómo se quiera orientar la foto en el archivo de imagen.

Leer la emulsión se plantea como un requisito imprescindible a determinar desde el momento en que el programa propio de digitalización del escáner lo necesita para poder obtener la imagen correctamente orientada y sin estar volteada. Se explica el concepto de leer la emulsión como la manera de interpretar la imagen cuando colocas el lado de la emulsión mirando hacia el operador. La película será Wrong-reading (Lectura incorrecta) si lo que vemos es una imagen especular de la realidad. La película será Right-Reading (lectura correcta) si la imagen aparece como en el mundo real. Si no se tomara en cuenta esta característica se llegaría a perder mucho tiempo en adivinar o averiguar cual es el modo de colocación de la película para obtener una imagen directa con los paneles informativos en una posición determinada.

Antes de digitalizar una fotografía que ya esté cargada en el escáner, se configurará éste definiendo las características de la película, el tipo de imagen que se obtendrá como salida y otras propiedades. Algunas de estas propiedades se determinan por las aplicaciones de los programas y otras por los requisitos específicos de cada trabajo. Se realiza un ajuste de los parámetros de configuración para una foto del trabajo para poder extrapolar estos datos para el resto de las fotos de una misma pasada, excepto con fotos en las que cambien mucho las características del terreno.

El programa de digitalización que utiliza el escáner PhotoScan permite configurar los datos de entrada para la obtención de la imagen digital a partir de un conjunto de parámetros de configuración agrupados y asociados por datos geométricos, por datos radiométricos y por configuración de la cámara.

Los primeros parámetros de configuración a determinar corresponden a las propiedades del escaneo. Se pueden considerar a estos datos como los principales ya que en ellos se hace referencia a los archivos que almacenan los demás parámetros de ajuste. Todos los parámetros de configuración de un trabajo deberán de ser guardados para su posterior utilización si ello fuera necesario, permitiéndonos el programa recuperarlos.

La información que hay que adjuntar al primer grupo es:

- La resolución de digitalización
- Modo de digitalización (Escala de grises o Color)
- Región de digitalización
- Formato de salida del archivo (Tiff, JPEG)
- Tamaño de los archivos almacenados
- Vistas
- Tiles
- Archivo de imagen
- Parámetros de configuración

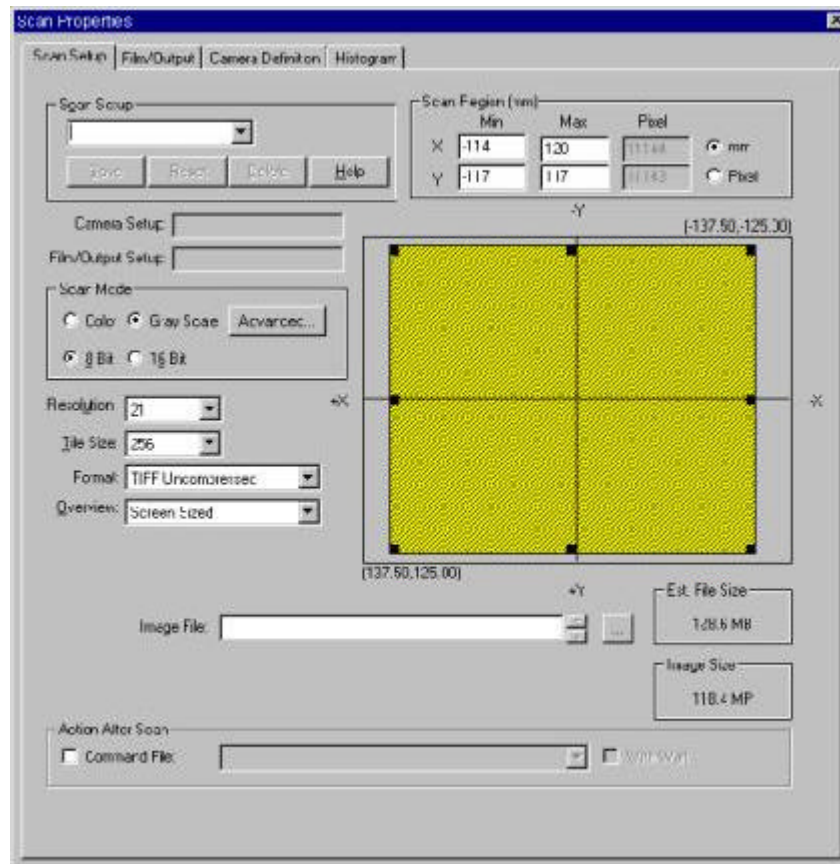


Ilustración 3.71 Menú de propiedades de la digitalización

La escala de la imagen original (escala de la fotografía aérea) y el intervalo de digitalización, son factores fundamentales tanto en la calidad final del producto como en rendimientos de trabajo en generación de ortofotos digitales. Para poder elegir un correcto **intervalo de digitalización** se debe tener en cuenta una serie de criterios expuestos a continuación:

- Habrá que analizar si se debe transferir a la imagen digital toda la información que la película original nos proporciona. Debemos de tomar en cuenta que una película de poder de resolución de 50 líneas pares/milímetro (lp/mm) el intervalo de digitalización para transferir toda la información que la película lleva se corresponde con un tamaño de píxel de 7 micras. Por lo tanto si el poder de resolución de la película utilizada en este trabajo es de 90 líneas pares/milímetro se debería de llegar a un tamaño de píxel muy próximo a las 4 micras
- Una reducción del tamaño del píxel de salida de la imagen digitalizada incrementa los ruidos en la imagen, pero está cantidad de ruido dependerá de una manera muy importante de las características del escáner. Hoy en día en el mercado se pueden conseguir unos valores aceptables de ruido para intervalos de digitalización de 10 micras
- El espacio necesario para el almacenamiento de las imágenes digitalizadas también llega a ser un factor fundamental. Este problema hoy en día tiende a minimizarse debido a que cada vez existen sistemas de almacenamiento de mayor capacidad y más fácil accesibilidad. Aun con todo sigue siendo un problema muy importante cuando el intervalo de digitalización es muy pequeño. A continuación vemos una tabla que asocia intervalos de digitalización con tamaños de los archivos para fotografías aéreas de 23X23 centímetros

Tabla 3.7.1

INTERVALO DE DIGITALIZACIÓN	FOTOGRAFÍA B/N	FOTOGRAFÍA COLOR
5 micras	2018 Mbytes	6054 MBytes
10 micras	504 Mbytes	1513 MBytes
20 micras	126 Mbytes	378 MBytes
50 micras	20 Mbytes	61 MBytes
100 micras	5 Mbytes	15 Mbytes

- Si la ortofoto digital final va a ser reproducida sobre película para observación visual, se podrá realizar un aumento máximo de hasta cuatro veces la ortofoto original. Los aumentos que se puedan llegar a realizar serán dependientes de la película original y del intervalo de digitalización, así cuatro aumentos se consiguen para una resolución de película original de 50 líneas pares/milímetro y un intervalo de digitalización de siete micras
- Si la salida final de la ortofoto es para ser impresa, lo normal es una salida de impresión de 70 líneas / centímetro, lo cuál se equipara a un tamaño de impresión del píxel de 143 micras. Esto permite ampliaciones en la salida de hasta cinco veces con un píxel de resolución de 29 micras
- Finalmente la incertidumbre de definición de objetos topográficos a escalas medias debe de ser tomada en cuenta. Este factor es particularmente importante si la ortofoto va a ser incorporada a Sistemas de Información Geográfica. Las precisiones pueden ir desde 25 centímetros a pocos metros dependiendo del tamaño de la zona a estudio y de la calidad requerida

Todos estos criterios servirán por tanto para determinar el rango de salida necesario para el trabajo que vamos a realizar.

El escáner fotogramétrico PhotoScan TD alcanza resoluciones de 7, 14, 21, 28, 56, 112, 224 micras, las cuales han sido adjuntadas a la máquina (hardware), es decir no son obtenidas mediante ningún método de remuestreo o cálculo.

En el **modo de digitalización** se determinará si la película se digitaliza en modo de Escala de grises o Color. Esta característica dependerá del tipo de trabajo que se tenga que realizar y normalmente por ahorro de costes ya la película del vuelo será para salida color o en escala de grises.

Cuando la película sea de color, ya sea negativo o positivo, se podrá generar una salida en color o en escala de grises. Para la salida en escala de grises se nos permitirá elegir o una de las tres bandas, RGB (Roja, Verde y Azul), que forman el CCD, o una combinación de los tres por igual o con diferentes pesos dependiendo de la respuesta de cada una de las bandas.

Cuando la película a digitalizar sea en escala de grises solo se podrá obtener una salida de este tipo. La digitalización de la película en B/N se podrá igualmente realizar por una de las tres bandas del CCD o por una combinación de las tres con la también posibilidad de asignar diferentes pesos a cada una de las tres bandas dependiendo de la respuesta que de la película. Por defecto el escáner fotogramétrico PhotoScan TD creará la imagen en escala de grises utilizando el CCD verde.

La **región de escaneo** que se define en el cuadro de diálogo nunca podrá ser mayor de 275 mm en el eje de las X por 250 mm en el eje de las Y, limitación insalvable lo cuál me permitirá una región de escaneo mucho mayor que la zona comprendida entre las marcas fiduciales de una película de un vuelo fotogramétrico convencional (Ilustración 3.72 ). El tamaño se podrá determinar mediante la medida de milímetros como mediante la medida de píxeles.

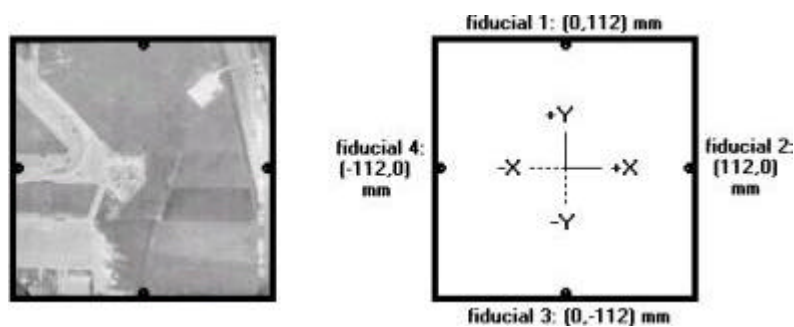


Ilustración 3.72

El escáner permite la selección de dos tipos de **formato de salida** Tiff y JPEG. Lo normal es elegir cómo formato de salida de las imágenes el formato TIFF que no llevan ningún tipo de compresión y por lo tanto no hay ningún tipo de pérdida en la imagen.

Las siglas **TIFF** (Tagged Image File Format), se utilizan para denominar a ficheros de imagen. Los archivos de formato **Tiff** se definieron como un formato estándar del fichero para las aplicaciones de los ordenadores desarrolladas por Microsoft y Aldus. El escáner fotogramétrico PhotoScan TD lo utiliza por ser uno de los formatos más comunes de ficheros de imágenes y con los que suelen trabajar todos los programas de tratamiento y gestión de imágenes. Este formato es de los más utilizados debido a la total compatibilidad entre Mac y PC y su más que excelente relación entre calidad y extensión.

Como características fundamentales deberíamos hacer costar que permite trabajar con canales alfa y compresión sin pérdidas LZW. Se podría decir que es el formato fotográfico por excelencia y se utiliza en casi todas las fotocomposiciones, artes gráficas, diarios, revistas, etc., de todo el mundo. Todo el espacio que ocupa este formato contiene información útil. Todas las imágenes que se graban mediante este rango destacan por su gran calidad. Dado que admite compresión, ésta no resulta destructiva.

Los inconvenientes que se le pueden atribuir a este formato de imagen es que el espacio que ocupa sin perder calidad, como para guardar modificaciones, resulta excesivo para un trabajo cómodo si precisamos ahorrar en recursos.

Las siglas de **JPEG** (Joined Graphics Expert Group) definen a un formato de archivos de imagen nacidos en las reuniones de un grupo de expertos fotográficos. Esta organización de expertos de los procesos fotográficos y de imagen alrededor del mundo derivó un mecanismo estándar, o algoritmo, para comprimir imágenes de tono continuo a un grado alto y flexible con



un mínimo de pérdida de la información. La compresión del JPEG es mínima, es decir, la imagen comprimida no será idéntica a la imagen sin comprimir. El JPEG alcanza relaciones de transformación variables de la compresión, según lo determinado por el factor de Q. Cuanto más alto es el factor de Q, mayor es la compresión de la imagen y mayor son las diferencias entre la imagen comprimida y la imagen original. Para cualquier imagen, la cantidad de compresión considerada en un factor dado de Q dependerá de la textura o de la suavidad de la imagen. Por lo tanto su cualidad más sobresaliente es el poder corregir el rango de compresión según las necesidades que se tenga

Lógicamente hay que estudiar la influencia en la radiometría y geometría del factor de compresión, considerando cómo afecta esta a la precisión de los procesos fotogramétricos. Los resultados publicados hasta hoy indican que las imágenes pueden ser comprimidas con factores de compresión de hasta 10 sin una considerable pérdida de precisión.

Se han realizado diferentes investigaciones sobre la influencia que tiene la compresión de imágenes JPEG en obtención automática de MDE. Las imágenes epipolares con 30 micras de tamaño de píxel se comprimieron con los factores 3,5,8,10 y 15. También las imágenes piramidales de crearon mediante pasos de submuestreo y compresión JPEG con los mismos factores. Los MDE fueron obtenidos por medición automática mediante identificación de imágenes (matching) desde las imágenes comprimidas, usando los mismos parámetros de control para cada par de imágenes. La siguiente tabla muestra las desviaciones típicas (e.m.c.) de las diferencias de alturas obtenidas por correlación a partir de imágenes comprimidas y las obtenidas en campo.

Tabla 3.7.2

Factores de compresión	Desviaciones típicas
0	0.41
3	0.42
5	0.43
8	0.42
10	0.44
15	0.48

Como se observa la precisión prácticamente no se deteriora hasta un factor de 10 inclusive. Mayores factores de compresión hasta 15 implican un deterioro de la misma que puede llegar a ser crítico. De todas formas los resultados no se pueden generalizar. Ya que la compresión de imágenes para su uso en fotogrametría depende de otros parámetros como tipo de terreno y la textura de la imagen.

Varias investigaciones de compresiones (Eide, Mardal, 1993) indican que compresiones de hasta un factor de 5 pueden ser recomendadas sin ninguna pérdida de precisión, ni afectar a la visualización de imagen individual ni estéreo. El límite superior se puede establecer en 10 a partir del cual aunque no haya pérdida de precisión, la calidad de la imagen radiométrica se reduce.

Para que las imágenes digitales en formato comprimido sean óptimas, el software fotogramétrico debe tener la capacidad de trabajar con ellas como formato nativo, sin descomprimirlas, si esto no ocurre se pierde gran parte de las ventajas de la producción, ya que de alguna manera tendremos que diseñar el almacenamiento para imágenes sin compresión, después perder el tiempo en la compresión y cada vez que vayan a ser utilizadas tendremos que volver a descomprimir.

Toda esta información que vamos determinando permitirá al escáner señalar el tamaño del archivo generado tanto en cantidad de píxeles como en MegaBytes.

En la siguiente figura se presenta el volumen de almacenamiento frente al tamaño del píxel e imágenes sin comprimir, en B/N y en color. Como se observa en el gráfico hay un rápido incremento del tamaño de los ficheros cuando se baja de una resolución de 25 micras de píxel.

grafico

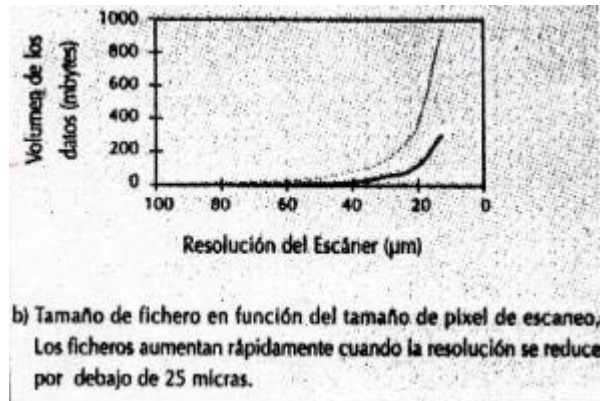


Ilustración 3.73

El programa que utilizamos para digitalizar las imágenes permite almacenar **sobre vistas** escalas menores de la imagen original, lo cuál utilizan muchos programas para poder moverse con mayor rapidez por estos archivos. Estas sobre vistas hacen que el archivo que generamos tenga un mayor tamaño en MegaBytes y que se produzca un aumento en la creación y almacenaje de las sobre vistas. El programa nos permitirá especificar diferentes tipos de vistas a almacenar las cuales pasaremos a describir:

- Ninguna
- Tamaño de Pantalla, una única vista
- 2X, generará una sobre vista a la mitad de tamaño de la generada
- 2X y Tamaño de pantalla, generará la vista de mitad de tamaño y la vista de tamaño de pantalla
- Completa, generará vistas a diferentes escalas empezando por la de tamaño de pantalla, pasando por la 2X y continuando a mayores escalas

Los **tiles** son divisiones más pequeñas o imágenes secundarias del fichero de imagen, las cuales forman la imagen completa y son la manera de almacenar las imágenes. Los ficheros de imagen son demasiado grandes para poder cargarlos en memoria y se dividen en los tiles que se pueden cargar en memoria según lo necesitado. Esta trama de tiles da lugar a un acceso más rápido al disco de datos y a tiempos más rápidos de la carga y de la actualización de la pantalla. Se puede seleccionar dimensiones de los tiles de 128 y 256.

El cuadro **Archivo de imagen** permite especificar el nombre de la imagen digital que se van a ir obteniendo, las cuales normalmente corresponderán al número de rollo, al número de pasada y al número de foto, si no se especifica otra nomenclatura por parte de los encargados de recibir las imágenes. Además, se especifica la dirección donde se almacena en el ordenador las imágenes conseguidas.

Todos estos **parámetros de configuración**, además de otros muchos que pasaremos a mostrar a continuación, una vez determinados sirven para un mismo trabajo casi en toda su totalidad. Cuando se necesite volver a realizar este trabajo se carga un archivo de

configuración con extensión \*.par, que recuperará todos estos datos, evitando todos los trabajos previos que se realizan a la obtención de una imagen digital definitiva.

Los segundos parámetros a determinar son los necesarios para la transformación de la película de entrada en una imagen digital. En este segundo grupo se especificarán los valores radiométricos y la función de escaneo más adecuada dependiendo de la respuesta que dé la película. Los valores finales de ajuste sirven para el mayor número de fotografías dentro de una misma pasada y estos datos se modificarán solamente cuando las condiciones de la imagen varíen de tal manera que generen una respuesta no válida.

El archivo de configuración de los parámetros de entrada salida contiene información acerca de cómo se debe de generar la transformación y adjuntará datos del tipo:

- Polaridad de la película, positiva o negativa
- Polaridad de la imagen digital, positiva o negativa
- Función radiométrica utilizada
- Mínimos y máximos valores de densidad o transmitividad de la transformación
- Fichero de los parámetros de configuración

La **polaridad “positiva” o “negativa”** es una propiedad de la película. Se señalará generalmente la opción positiva si la película a ser digitalizada es una diapositiva. Si la película de entrada es un negativo, lo cual es normal cuando se trabaja con un rollo de fotos, se deberá de marcar la opción negativa.

Esta misma opción tendremos para definir la **polaridad “positiva” o “negativa”** de la imagen digital. Normalmente siempre se marcará la opción de salida de imagen digital positiva y marcar la otra opción será para trabajos digitales muy determinados.

Además de definir la polaridad de los datos de entrada y salida, en este menú se marcará la **función radiométrica** a utilizar, que permite determinar la cantidad de luz que pasa a través de la película en un punto durante una exploración y además asocia una de las intensidades disponibles de la salida para una imagen de 8 bits (0, o la más oscuro, a 255, o el más brillante).

Las funciones son ecuaciones que asocian los valores de la intensidad de luz capturados por el sensor a intensidades de píxel en la imagen de salida. Existen tres funciones disponibles: transmitancia o transmitividad, densidad, y corrección de la función gamma. Existe en las últimas versiones del programa una opción adicional permite que se utilice una función definida por el usuario.

**Transmitancia o transmitividad**, esta función expresa el porcentaje de luz que pasa a través de la película y su rango de valores va desde el 0 (0%, o no luz) a 1 (100%, o completa transparencia). Se seleccionará esta opción cuando se quiera que la gama de intensidades de los datos de entrada correspondan proporcionalmente con la gama de intensidades de la salida.

Por defecto los rangos de transmitancia están entre 0.01 y 0.63. Se debe determinar los valores adecuados de transmitancia para cada uno de los trabajos a través de una prueba sobre uno de las fotografías y usando estos resultados para todo el trabajo.

El gráfico siguiente demuestra la correlación lineal de entrada y los valores de salida:

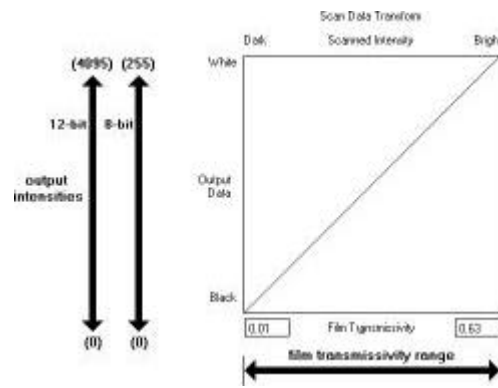


Ilustración 3.74: Respuesta lineal para una entrada y salida positivas

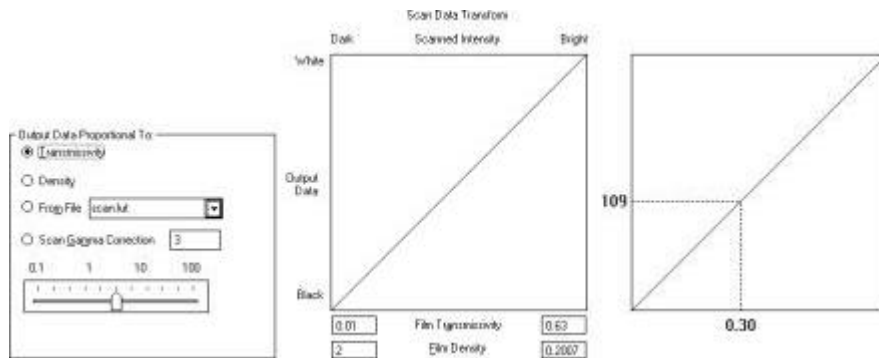


Ilustración 3.75

La función de transmitancia otorga con respecto a las otras funciones un mayor contraste en las imágenes digitales conseguidas.

**Densidad**, otra forma de expresar la cantidad de luz que pasa a través de una película es a través de esta función. La densidad de una película es el grado de opacidad de una emulsión de película y es representada por una escala logarítmica. La densidad se calcula a partir de los valores de transmitancia con la siguiente relación:

$$D = \log \frac{1}{T} \rightarrow \begin{cases} D = \text{densidad} \\ T = \text{transmitancia} \end{cases}$$

Un alto valor de densidad indica una gran opacidad u oscuridad, mientras que una baja densidad indica una alta transparencia. Se seleccionará esta opción si se quiere que la gama de intensidades de salida corresponda con los valores de transmitancia.

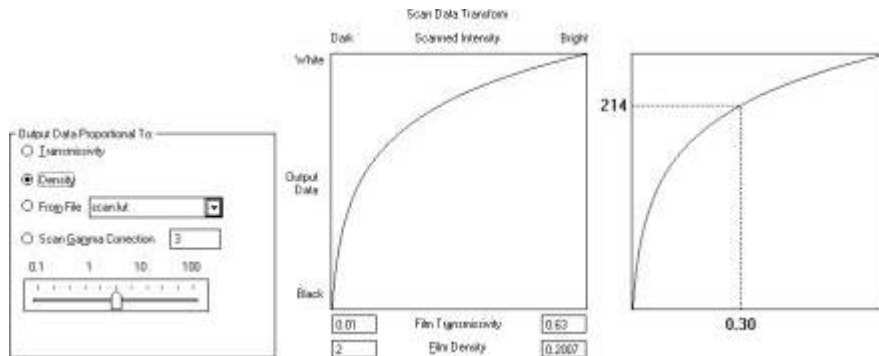


Ilustración 3.76

La **función gamma**, es la última función radiométrica que se puede utilizar con el PhotoScan TD y que es usada por lo general para compensar la gama de película, "o el contraste" de la imagen sobre la película. La función gamma será un elemento de equilibrio entre la función **transmitancia** y la función **densidad**. Generará imágenes con menor contraste que la primera función pero con mayor que la segunda. Se puede determinar un valor aleatorio de esta función entre 0.1, valor que pertenece a una función de transmitancia, y 100, valor que pertenece a una función de densidad.

Cuando se esté trabajando con el PhotoScan TD la digitalización con esta función se realiza en el último momento cuando ya se tienen los valores de densidad ajustados y se quiere comprobar si se puede obtener una salida de la imagen digital con un mejor contraste, siempre la apreciación del operador encargado del escáner.

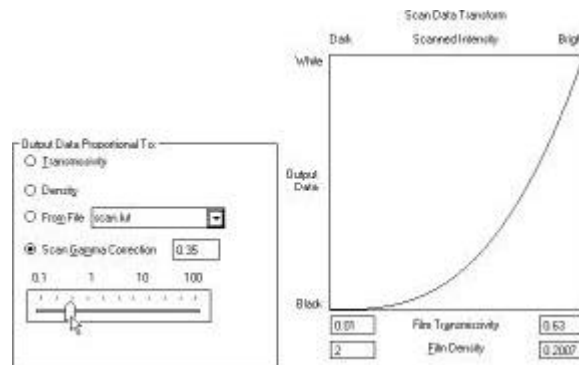


Ilustración 3.77

Los funciones de escaneo fundamentales son la transmitancia y la densidad, que son proporcionales entre sí. La función Gamma será la función que me permita moverme entre ellas dos para poder ajustar mejor fundamentalmente el contraste de la imagen final.

Estas funciones ajustan sus **valores de transmitancia o densidad** para obtener una imagen digital con el menor grado de saturación y con el histograma de valores de los píxeles de esta imagen lo más ajustado para que no halla pérdidas de píxeles sin valor.

El ajuste de estos valores se realiza en uno de los campos debido a que son proporcionales y por lo general se hace con la función de transmitancia ya que tanto el sentido, valor menor primero y el mayor segundo, como los valores máximos y mínimos, mínimo próximos a 0 y máximos próximos a 1, son más lógicos y fáciles de comprender por los operarios del escáner al principio.

Es fundamental que el valor máximo y mínimo de transmitancia estén lo más cerca posible a los valores máximos y mínimos de la fotografía.

La misión principal de realizar diferentes pruebas de escaneo antes de realizar una exploración definitiva es para conseguir los mejores ajustes de transmitancia, Tmin y Tmax.

Los valores máximos y mínimos de transmitancia con los que se digitaliza la película si están más ajustados que lo que corresponde, pueden perder información de la fotografía acumulando esta en los extremos de los histogramas de valores de los píxeles de la imagen digital, lo cual supone que elementos muy claros y muy oscuros pueden llegar a no tener diferencia debido a que su información ha sido llevada al valor máximo o al mínimo.

Si los valores de transmitancia con los que se están digitalizando la película son mayores que los apropiados la imagen obtenida perderá contraste.

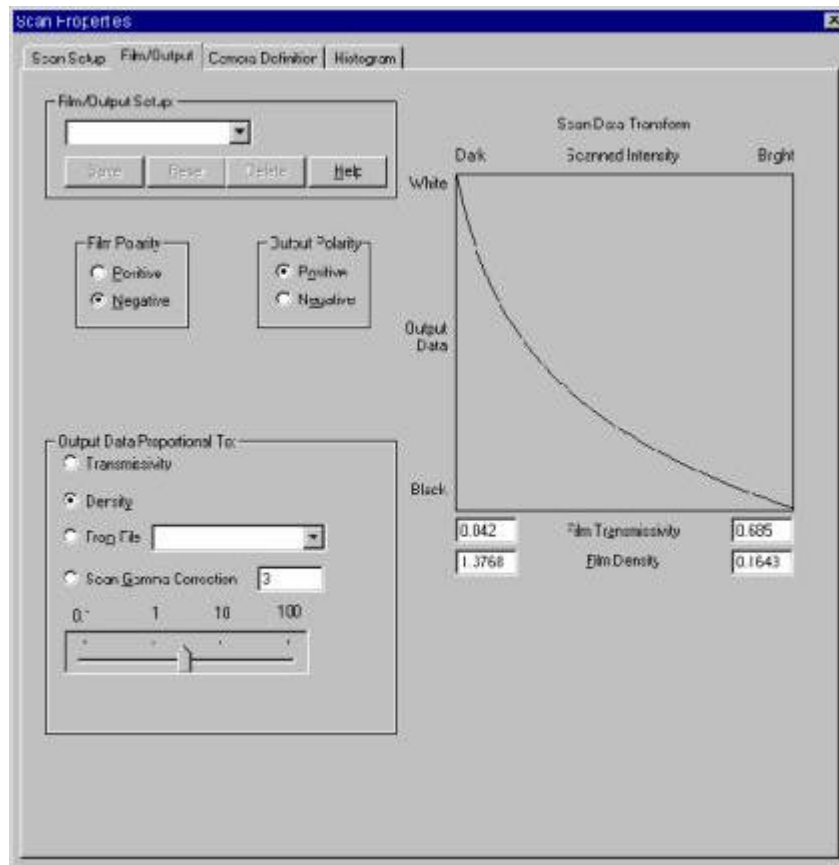


Ilustración 3.78

En todo trabajo de escaneo que se realice, lo que más tiempo lleva es la determinación de la correcta función de escaneo y el ajuste de los valores de transmitancia. Es fundamental, por lo tanto, que los parámetros obtenidos se guarden y así poder evitar estos tiempos si alguna vez se tiene que recuperar el mismo trabajo. Tendremos una opción para poder guardar los **parámetros de configuración** en un archivo de extensión .PAR.

Se completará los parámetros de configuración de los escaneos determinando las características de la cámara. Se generará un archivo que guardará la información necesaria para que la cámara del escáner pueda realizar la exploración de la película. La información a adjuntar en este campo corresponde fundamentalmente a la especificación del tipo de película que corresponde. Aquí indicaremos si la película es de las denominadas de lectura correcta o lectura incorrecta, dato conocido debido a que es una de las características que determinamos al principio cuando se realiza el estudio de la película.

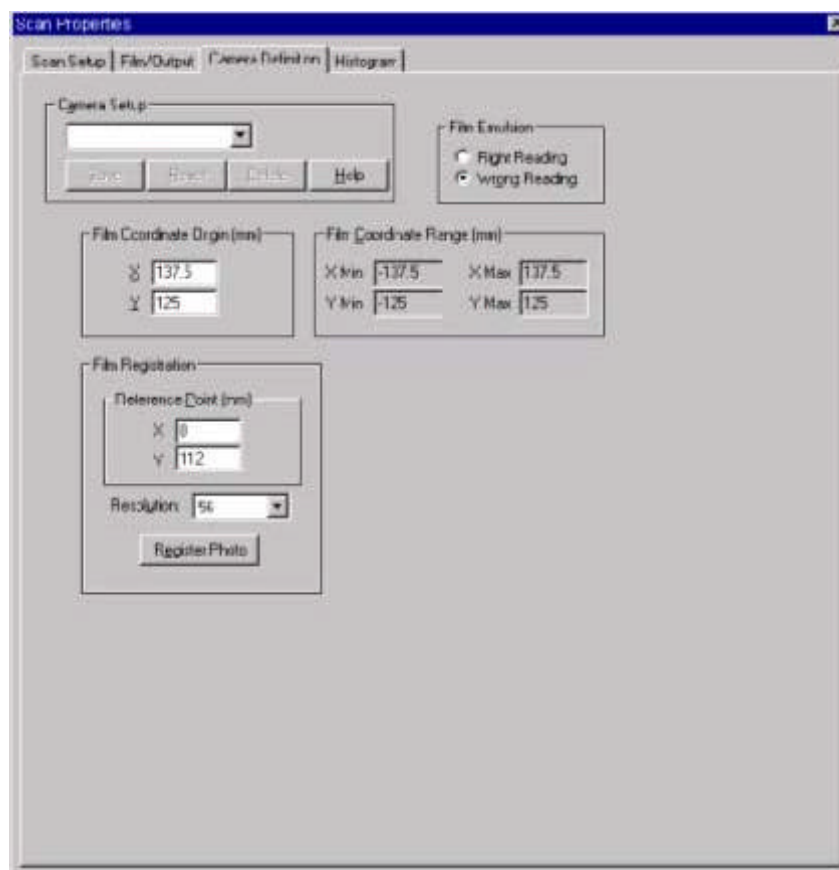


Ilustración 3.79

Determinar todos estos parámetros permite obtener finalmente una imagen digital de una película. Algunos de ellos no necesitan ir variando a lo largo de las diferentes pruebas que se realiza, como por ejemplo el tamaño de la región de escaneo, si la película es de lectura correcta o incorrecta, el tipo de archivo que se va a obtener, que tipo de sobrevistas son las que vamos a elegir, el tipo de película de entrada y el tipo de imagen digital que se obtiene, etc.

Pero hay otros parámetros que deben ser determinados realizando diferentes pruebas y ajustes hasta determinar cuales son los adecuados. Estos parámetros son la función de escaneo y los valores de transmitancia o densidad. Cada trabajo que se realice llevará un proceso de ajuste en el cuál se realizarán diferentes pruebas a diferentes resoluciones y con diferentes funciones y valores de ajuste, que nos llevan a determinar finalmente los parámetros más adecuados para obtener la imagen digital con el mejor contraste posible y los valores que den la menor saturación.

### 1.8. Realización de una exploración

Ya se han visto todos los detalles que hay que determinar para realizar la exploración de una película. Se realiza la determinación de las características de la imagen y se cargan en los cuadros de dialogo de los parámetros de configuración. Además, se elegirá el mayor tamaño de píxel, resolución de 224 micras por píxel, para poder realizar una exploración de la imagen rápida y así determinar de una forma precisa la región a digitalizar siendo ésta un poco mayor que la zona comprendida entre las marcas fiduciales de la imagen aérea.

La función a utilizar de digitalización por lo general es la de densidad debido a que es la que nos proporciona una imagen a la que se la puede influir con otras funciones si el contraste no es el adecuado. Los valores de transmitancia o densidad se abren para dar a los CCDs de la

cámara la opción de tener todos los rangos de intensidad de luz que reciba y a partir de ellas poder modular con la ayuda de los histogramas el ajuste de los valores.

Una vez realizada la primera exploración se elige las coordenadas de la región de escaneo y la resolución final de escaneo, para salvar estos parámetros y así poder recuperarlos cuando tengamos determinados el resto de los parámetros.

Volvemos a modificar la región de digitalización cogiendo ahora una zona representativa de la imagen mayor que un cuarto de ésta y sin que aparezca ninguna zona del marco de la fotografía. Esta zona se digitalizará a una resolución de 56 micras por píxel lo cual permitirá una exploración rápida y ya sin valores altos en los extremos del histograma de la imagen digital que corresponde a valores negros próximos a 0 del marco y valores blancos próximos a 255.

Cuando acaba esta exploración se pasa a realizar el estudio del histograma y con una de las herramientas de la aplicación se puede ajustar los valores máximos y mínimos de transmitancia o densidad. Gráficamente, con la ayuda del ratón se determina el valor más alto y más bajo donde se encuentran datos, lo cuál se reflejará en los valores de las funciones de escaneo.

Esta opción permite determinar unos valores teóricos, los cuales se aumentan en su rango tanto máximo como mínimo debido a que la experiencia demuestra que la digitalización con estos proporciona imágenes con saturación tanto en blancos cómo en negros.

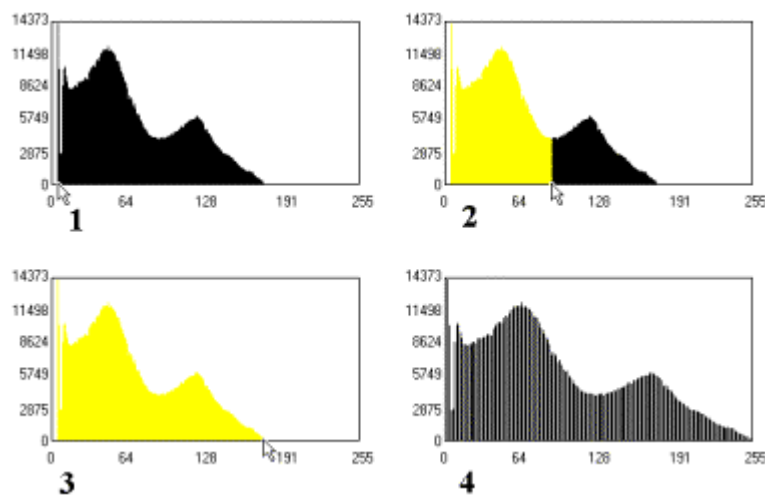


Ilustración 3.81

Se vuelve a realizar una exploración de la misma zona con los nuevos valores determinados y a una resolución mayor. Esta exploración llevará un mayor tiempo y generará una imagen con un reparto mejor de los datos y con una apariencia visual muy próxima a los contactos que tenemos de ella. En este ajuste se determina si es necesario la aplicación de una función de escaneo gamma o de transmitancia si el contraste de la imagen no es bueno. Será el operador del escáner el que deba determinar con la ayuda de los contactos de la imagen y con su experiencia este punto, tomando en cada tipo de trabajo una solución diferente.

En el último ajuste se vuelve a realizar el estudio del histograma y si es necesario se volverá a ajustar este. También se aplicará una función diferente a la de densidad si se considera necesario, siendo una opción poco utilizada.

Se intentará que las imágenes digitales obtenidas a partir de la exploración con un escáner fotogramétrico teóricamente den como resultado un histograma tipo campana de Gauss, donde toda la información se encuentra en la zona media del histograma y las colas de este no almacenan muchos valores. Este concepto de campana de Gauss no deja de ser un



condicionante meramente teórico y a lo que se tiende es a que la media del histograma esté lo más centrada posible, que el sigma tenga un valor alto lo cuál asegura un alto contraste de la imagen y fundamentalmente que las imágenes no estén saturadas es decir que en los lados del histograma no se acumule mucha información y así no se producirán pérdidas de información para diferentes trabajos.

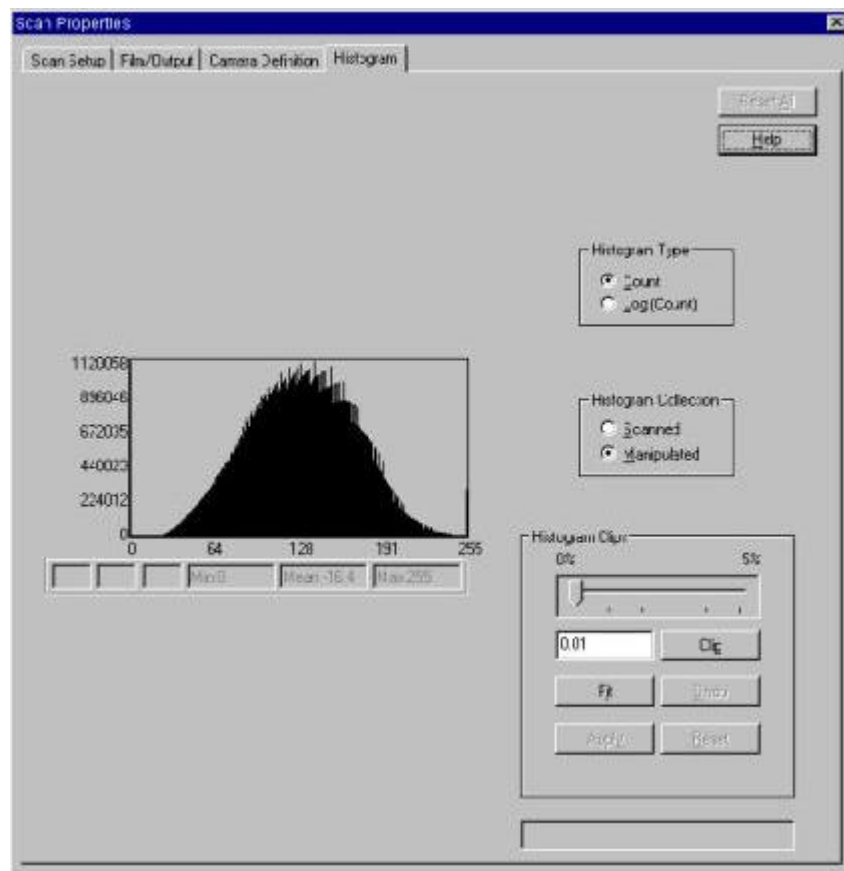


Ilustración 3.82

Considerando que los ajustes realizados han sido para una foto de una pasada de un trabajo determinado y no pudiendo prever que las condiciones del terreno sean iguales en todo el trabajo se debe hacer un ajuste de este tipo en cada una de las pasadas respetando la función de escaneo utilizada.

También es complicado asegurar las mismas condiciones del terreno en una misma pasada y por ello se intenta escoger una fotografía en la que halla la mayor cantidad de paisajes o terrenos diferentes. Con ello aseguramos que las saturaciones producidas en las siguientes imágenes lógicamente siempre irán a menos y tendremos la opción de únicamente ir cerrando los histogramas cuando las condiciones del terreno cambien sustancialmente. Por lo general, la continuidad de los valores de densidad se irán manteniendo durante gran parte del trabajo y los cambios que se hagan sobre ellos suelen ser mínimos y con muy poca influencia a la hora de comparar dos imágenes contiguas y digitalizadas con diferentes valores.

La metodología de trabajo para la obtención de una imagen digital fundamentalmente no varía de una imagen en escala de grises a una imagen a color. La única diferencia radica en la realización de un nuevo ajuste diferente, un ajuste por bandas. Cada una de las bandas tiene una respuesta diferente en la distribución de los valores dentro del histograma de datos y de cuales son los valores máximos y mínimos de distribución. Por ello, el programa que gestiona el PhotoScan TD permite la realización de un ajuste por bandas y así forzar a un reparto de los datos muy parecidos. Las imágenes en color deben cumplir las mismas normas de saturación y distribución teóricas que las imágenes en escala de grises y esto solo se puede lograr con una

correcta aplicación de un ajuste por bandas. En este tipo de imágenes normalmente se realiza un ajuste de la función Gamma por bandas. Los tiempos a la hora de realizar el ajuste de una imagen color son mucho mayores que con una imagen en escala de grises por todas estas operaciones que además se repetirán muchas más veces hasta no obtener una imagen con una apariencia visual correcta.

Las imágenes resultantes cumplirán las siguientes especificaciones técnicas:

- Clara visibilidad de las marcas fiduciales
- Uso efectivo de los 8-bit por píxel, determinando aquellos valores de gris que no estén representados en los píxeles de salida
- Apariencia visual correcta
- Las imágenes se digitalizarán hacia el Norte, salvo en los casos que el vuelo sea oblicuo, en cuyo caso se digitalizarán todas las imágenes en la dirección más próxima al Norte
- El formato de salida de las imágenes será TIFF 5 plano (sin comprimir, sin información en cabecera)
- No se realizará en esta fase ningún proceso de repixelación de forma que la imagen obtenida contenga toda la información

El proceso de escaneo es chequeado frecuentemente, realizando controles de calidad tanto geométrico como radiométrico semanalmente. El certificado de garantía de calidad incluye, además del certificado de calibración del escáner:

- Detalles del control de calidad geométrico. Precisión y residuos de la transformación afín entre las observaciones, sobre la imagen de una placa fotogramétrica calibrada y sus posiciones de referencia
- Detalles del control de calidad radiométrico sobre la imagen de una cuña de densidades. Estimación del nivel de ruido radiométrico en valores de píxel, cobertura del rango dinámico en valores de densidad y linealidad en tonos de dicho rango mediante un gráfico en el que se valora densidad entrada – nivel de salida
- Información sobre los controles de calidad de las imágenes digitalizadas, para el aseguramiento del cumplimiento de las especificaciones técnicas

Las imágenes digitalizadas generadas, y los controles de calidad realizadas a estas se incluyen en el ANEXO 2,

### **1.9. Calibración de un escáner**

Es un proceso que se realiza para disminuir los diferentes errores introducidos por estos aparatos ó instrumentos. Este se lleva a cabo por programas de escaneo y patrones de calibración.

Debido a las precisiones geométricas y radiométricas requeridas, tanto para la producción cartográfica como para fotogrametría es necesario la calibración de un escáner, y es el constructor con su servicio técnico el encargado de comprobar y chequear anualmente este.

En el procedimiento fotogramétrico de calibración de un escáner, se pretende cómo se ha descrito anteriormente, establecer la calidad geométrica y radiométrica. Para ello, existen tres tipos de placas de calibración:

- Placa de precisión:
- 116x116, marcas de 2 mm, error de una micra
- 13x13, marcas de 2 cm, error de 2 micras
- 23x23, marcas de 1 cm, error de una micra
- Placa de resolución geométrica de USAF (patrones en B/N)
- Cuña Kodak de 21 densidades, 0.15 D, valores entre: 0.055-3.205 D

Se realiza con el escáner seis digitalizaciones de cada placa repartidas en dos días ó 48 horas, repartidas en el tiempo: 0h-6h-12h-24h-30h-48h.

Se digitaliza a 12.5 micras y se miden automáticamente (0.02-0.03 píxeles), también se mide manualmente los puntos donde existan errores de correlación.

#### 1.9.1. Realización de los Test

- *Test Geométrico Global:* considerando las 4 u 8 marcas de los extremos para simular los procesos de medida de la orientación interna, además se realizan pruebas de separación entre canales, se realiza el proceso para cada canal y posteriormente se analizan las diferencias.
- *Test de Resolución geométrica:* se determina el nivel máximo de resolución mediante la Función de Transferencia de Modulación (FTM)
- *Test de Calibración Radiométrica:* se puede emplear dos resoluciones 12.5 y 25 micras y dos tablas de consulta LUT, lineal y logarítmica. Los aspectos o características a tener en cuenta son: Ruido, Linealidad de la Respuesta Digital, Rango Dinámico del Escáner (se digitaliza toda la cuña y se intenta detectar los límites de máxima y mínima densidad), Errores Radiométricos a nivel local (pequeñas porciones locales digitalizadas en un instante para detectar ruido de los instrumentos electrónicos)

El resultado será el error de distorsión de la lente, espaciado entre canales, repetibilidad, nivel de ruido, rango dinámico.

Aparte de las ventajas comentadas anteriormente, se pueden añadir otras cómo:

- Calidad: mejores resultados en la captura, consistencia del color y geometría de las imágenes capturadas empleando equipos que están calibrados
- Costes: Lo que conlleva la calibración es necesario aparte del escáner otros accesorios o elementos adicionales que encarecen el proceso tales cómo elementos para mantener la estabilidad, densitómetros, tarjetas de test (en color y en B/N), y software de calibración. Una vez hecha la calibración, el mantenimiento y la revisión periódica de la calibración del escáner es de muy bajo coste
- Versatilidad: Exige un esfuerzo menor para conseguir mejores resultados, por lo que para usuarios no expertos les resulta más cómodo obtener productos de mayor calidad

#### 1.9.2. Aspectos importantes de la calibración de un escáner

### 1.9.2.1. Resolución Geométrica:

#### a) Calibración de la resolución

En un principio vamos a distinguir entre la resolución nominal y la resolución real, esta primera es la proporcionada por el fabricante y segunda viene dada del proceso de digitalizar un patrón de resolución fotográfica. Este patrón se compone de una serie de líneas paralelas de densidad fotográfica máxima y mínima dispuesta en diferentes orientaciones, y donde la separación entre ellas se va estrechando progresivamente, de forma que cada grupo de barras corresponde a una resolución, este patrón se escanea a diferentes resoluciones nominales, la resolución real viene dada por la última familia de barras que es posible distinguir las barras blancas de las negras.

El resultado de la calibración de la resolución del escáner será la asociación de las resoluciones reales con las nominales.

#### b) Exactitud del escáner

Para caracterizar la exactitud del escáner, se escanearán plantillas con puntos marcados, éstas plantillas han de ser de un material lo más estable posible para evitar las deformaciones por humedad, cambios de temperatura, etc. Lo más adecuado es utilizar placas de vidrio aunque también se utilizan las de acetato, poliéster ó Mylar. El tamaño de las plantillas debe de ser la máxima área de escaneo para poder cuantificar las deformaciones o distorsiones en toda la superficie de escaneo.

Las coordenadas de los puntos de la plantilla tienen que estar medidas con la máxima exactitud posible, y para ello se emplea instrumental fotogramétrico, como comparadores, o también se puede utilizar programas específicos.

El proceso se basa en medir las coordenadas de los puntos sobre la imagen digitalizada obtenida de la plantilla, y aplicar una transformación (polinómica, afín) que incluya las coordenadas medidas sobre la imagen y las coordenadas calibradas. El número de parámetros de la transformación dependerá de las precisiones que queramos conseguir, y del número de puntos a medir que aumentará a medida que aumenten el número de parámetros de la transformación considerados. La transformación de seis parámetros o afín es apta para obtener una buena redundancia del sistema, función de la precisión final que queramos obtener.

El error medio cuadrático final, nos dará la exactitud geométrica del escáner a partir de los residuos obtenidos en la transformación. Este proceso se realiza a diferentes resoluciones nominales del escáner siendo muy útil para seleccionar las resoluciones en función de las precisiones buscadas, ya que este proceso presenta la precisión para cada resolución de escaneo.

Se calculará la exactitud geométrica del escáner en diferentes momentos para caracterizar la repetitividad temporal del escáner, se hacen calibraciones cada dos o tres horas y también se puede hacer en varias semanas así como cada tres o cuatro meses para ver como afectan los factores humedad, temperatura, ruido ambiental así como otros factores exteriores que implican unas distorsiones...

#### c) Separabilidad de líneas por grosores

Para calibrar la separación de líneas por grosor, se realiza un proceso que consiste en digitalizar líneas del mismo color y de diferentes grosores, trazadas con diferentes plumillas. Este proceso se repite para diferentes resoluciones de escaneo y para líneas de diferentes orientaciones respecto del eje x, dirección de barrido, por ejemplo líneas que formen ángulos con la dirección de barrido de 0°, 45° y 90°.

Esto nos permite además de obtener la separabilidad de las líneas, la resolución óptima de barrido en función del ancho de las líneas y su orientación.

#### 1.9.2.2. Resolución Radiométrica

Es fundamental se basa en los niveles digitales de la imagen, por lo que se plantean criterios para comprobar la calidad de un escáner, en lo relativo a la reproducción del tono.

##### a) Caracterización

Consiste en la determinación de las capacidades y limitaciones del escáner en cuanto a la detección del color, dicho de otra forma, dar la respuesta del escáner frente a cada estímulo de color. Debido a las limitaciones físicas, habrá estímulos que excedan del rango de respuesta del escáner.

La fotografía es una imagen de tono continuo con infinitos valores en la escala de grises o de color, en cambio una imagen digital es un conjunto de tonos discreto, en función de un número limitado de valores que asume cada píxel para representar el tono de gris o tipo de color. En el caso de color existen varios modelos para representarlo digitalmente, los más utilizados en una imagen digital son el modelo aditivo (RGB= Red, Green, Blue), y el modelo substractivo (CMYK= Cian, Magenta, Yellow, Black), para los tonos de grises es una combinación de blanco y negro.

##### b) Estabilización

Los escáneres están formados por componentes electrónicos, y estos tienen una alta inestabilidad debido a las variaciones de temperatura, de humedad, a fluctuaciones eléctricas, etc. Los sensores de los escáneres son propensos a presentar desviaciones, interferencias, ruidos (derivas) en la respuesta de color.

La consistencia de las respuestas ante estímulos de color se consigue mediante la eliminación de ruidos o derivas, a esta fase de calibración se le denomina estabilización.

Una imagen digitalizada por un escáner puede presentar los siguientes tipos de ruidos radiométricos:

– **Blooming:** Exceso de carga que se presenta en alguno de los fotosensores de la matriz CCD, que afecta a los sensores circundantes. Los Blemishes, son los píxeles, líneas de píxeles e incluso áreas donde se han perdido en la digitalización, debido a la presencia de defectuosos sensores en la matriz CCD

– **Corrientes de oscuridad:** Las imágenes oscuras que absorben toda la luz de la fuente de iluminación y no dejan llegar estímulo al fotosensor, generan una respuesta en forma de voltaje, las corrientes de oscuridad son el voltaje residual emitido por los sensores que forman una matriz CCD incluso en ausencia de estímulo luminoso

*Baltsavias* en su trabajo la calibración de un escáner fotogramétrico, propone el siguiente proceso para dar una medida de ruido existente en una imagen introducida por el escáner. Emplea como patrón radiométrico una plantilla en película de la marca Kodak, con niveles de gris y un total de 21 densidades, entendiéndose cómo tal el logaritmo neperiano de la opacidad, y el salto de la densidad entre cada nivel de gris de 0.15 unidades de densidad. La estimación del ruido se hizo mediante el cálculo estadístico de la media y la desviación típica de cada densidad de la cuña Kodak escaneada. En estos cálculos sólo se tuvieron en cuenta la región central de cada franja de densidades ya que se observaron heterogeneidades a lo largo de la franja. En un primer cálculo no tuvieron en cuenta los píxeles que fueran de outlayers, que se desviaran más de tres desviaciones típicas de la media, para eliminar los principales ruidos radiométricos cómo se ha dicho con anterioridad (blooming y corriente de oscuridad), por lo que posteriormente se rehizo el cálculo incluyéndolos.

Se supone la linealidad de la respuesta del sensor ante el color introducido en el proceso de Baltsavias.

#### c) Linealización

Para calcular la linealización se hace mediante la realización de una serie de test, hasta que se obtengan los resultados requeridos, es decir, dentro de un proceso de retroalimentación, se realizará una caracterización y una estabilización reiterada hasta que consigamos una linealidad en la respuesta del color del escáner.

**Nota:** Este artículo es un extracto del Proyecto Fin de Carrera de los Ingenieros Técnicos en Topografía Santiago Mora Naranjo y Raúl Gutierrez Castellano por la UPM.