

NOCIONES DE FOTOGRAMETRÍA DIGITAL

Introducción.

Según los métodos utilizados, la fotogrametría se puede clasificar en:

Fotogrametría Geométrica

Fotogrametría Analógica

Fotogrametría Analítica

Fotogrametría Digital

La fotogrametría geométrica es la parte de la fotogrametría que trata de los aspectos geométricos de la fotografía, sin considerar los principios de la orientación estereoscópica, para obtener valores aproximados de alturas y formas.

Esta parte hace uso de procedimientos simples, enseñados en los cursos básicos, como son el cálculo de escalas en fotos verticales y oblicuas, determinación de coordenadas fotográficas, triangulación radial, desplazamiento por relieve y cálculo de paralajes.

La fotogrametría analógica surge en la década de los treinta basada en aparatos de restitución y es la responsable de la realización de la mayoría de la cartografía mundial. En ella, un par de fotografías es colocado en un aparato restituidor de tipo óptico o mecánico. El operador realiza en forma manual la orientación interior y exterior para crear el modelo estereoscópico, debidamente escalado y nivelado. El levantamiento de la información planimétrica y altimétrica del modelo se realiza también en forma manual, mediante el seguimiento con la marca flotante posada sobre los detalles de la superficie del modelo. Esta información es ploteada en una cartulina colocada sobre la mesa trazadora, relacionada con el modelo por medios mecánicos o eléctricos.

La fotogrametría analítica aparece como un desarrollo natural de la interrelación entre los aparatos restituidores analógicos y el surgimiento de la computación. En ella, la toma de información es analógica y el modelado geométrico es matemático. Mediante el uso de un monocomparador o de un estereocomparador integrado en el restituidor, se miden las coordenadas x , y de los puntos pertinentes de las fotografías, coordenadas que son procesadas por los programas del computador del sistema. Este realiza el procesamiento de la orientación interior y exterior en forma analítica y procesa el levantamiento de la información del modelo que realiza el operador, para llevarla a su correcta posición ortogonal, y finalmente almacenarla en una base de datos tipo CAD.

La fotogrametría digital, actualmente en auge, surge como consecuencia del gran desarrollo de la computación, que permitió realizar todos los procesos fotogramétricos mediante el uso de computadores. Con la fotogrametría digital crecen las posibilidades de explotación de las imágenes, a la vez que se simplifican las tecnologías, permitiendo con ello la generación automática de modelos de elevación del terreno, ortoimágenes y estereortoimágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales etc. Para llevar a cabo la restitución digital, las imágenes digitales son ingresadas en el computador, y mediante visualización en pantalla de las mismas, el operador ingresa los puntos necesarios para realizar el proceso de orientación en forma matemática. La restitución puede ser un proceso iterativo con el operador o ser realizada en forma automática por

correlación de imágenes. La salida en la fotogrametría digital puede ser en formato raster o formato vectorial.

Tipo de fotogrametría	Entrada	Procesamiento	Salida
Analógica	Película fotográfica	Analógico (óptico-mecánico)	Analógica
Analítica	Película fotográfica	Analítico (Computadora)	Analógica
Digital	Imagen digital	Analítico (Computadora)	Digital

Tabla 1.1

Ventajas de la fotogrametría digital:

Imágenes de gran estabilidad dimensional.

Facilidad de visualización.

Tratamiento por software de las imágenes digitales.

Automatización de los procedimientos.

Generación de productos en formato digital.

Facilidad de distribución de las imágenes y de los productos.

Desventajas de la fotogrametría digital:

Requiere de elevado volumen de almacenamiento.

Técnica reciente y aun en desarrollo.

Interrelación de la fotogrametría digital con otras disciplinas.

Actualmente, la fotogrametría, en su forma de fotogrametría digital, comparte algunos elementos con disciplinas como el tratamiento digital de imágenes y la visión por computadora. Esto resulta en un solapamiento entre estas disciplinas en áreas de aplicación tales como cartografía basada en imágenes y fotogrametría terrestre entre otras.

Como resultado de la adopción de la imagen digital por la fotogrametría, se importó con ella gran parte de las técnicas usadas en tratamiento digital de imágenes, tales como el mejoramiento de contraste, igualación de histogramas, filtros y remuestreo, siendo las primeras operaciones necesarias para optimizar la visualización de la imagen digital y la última para reconstruir visualmente la imagen modificada por los procesos geométricos llevados a cabo sobre ella. Además, al usar la computación para resolver las ecuaciones que forman la imagen digital en 2D, y a partir de estas, el modelo 3D, se adoptaron métodos previamente desarrollados por la visión por computadora. En efecto, los métodos de calibración de cámara digital establecidos en la visión por computadora, se pueden usar en el caso de la fotogrametría digital, permitiendo de esta manera el uso de cámaras no métricas para fines de restitución. Otro punto en común lo constituye la teoría de la coplanaridad, desarrollada por la fotogrametría, y adoptada por la visión por computadora bajo el nombre de teoría epipolar.

Aunque la fotogrametría tiene como propósito la reconstrucción de la realidad en forma de modelos tridimensionales estáticos de gran exactitud, para ser usados con fines cartográficos, y la visión por computadora está dedicada a la construcción de modelos tridimensionales dinámicos. y por lo tanto de menor exactitud, para aplicaciones en robótica y reconocimiento automático de patrones, se pueden observar los siguientes casos comunes entre fotogrametría y visión por computadora:

- Calibración de cámara.
- Visión estereoscópica.
- Reconstrucción 3D a partir de imágenes 2D.

Otras disciplinas que tienen relación con la fotogrametría digital son:

-La teledetección, disciplina abocada principalmente a la identificación, clasificación y análisis de cuerpos y fenómenos que ocurren sobre la superficie terrestre, mediante el uso de imágenes digitales, generalmente tomadas desde satélites de observación de la Tierra.

Este solape de actividades contribuye a enriquecer el desarrollo de ambas disciplinas, ya que pueden disponer de métodos alternos para la resolución de los problemas inherentes a su respectivo campo de aplicación.

-Los sistemas de información geográfica, ya que estos sistemas son los principales receptores y procesadores de la información producida por la fotogrametría digital.

PRIMERA PARTE LA IMAGEN DIGITAL

1.1 Generalidades.

El inicio de la era espacial, que permitió colocar en órbita satélites de observación de La Tierra, impulsó el desarrollo de tecnologías conducentes a reemplazar la imagen fotográfica por imágenes de carácter digital. La necesidad de crear (desde el punto de vista operacional) un nuevo tipo de imagen, diferente al producido por la película fotográfica, provino de la necesidad de transmitir la imagen captada en el espacio, a las estaciones de control de los satélites. No era conveniente traer la película expuesta en el espacio a La tierra, como fue el caso de los primeros satélites espías (por ejemplo, el Agena). Para lograr la transmisión de los datos era necesario enviarlos colocados digitalmente sobre una onda portadora, generada por el satélite. Por ello, se desarrolló esta nueva tecnología, que se fue perfeccionando aceleradamente, hasta que por el aumento de su resolución y el abaratamiento de los dispositivos captadores de imagen se hizo accesible a la fotogrametría.

En las imágenes digitales las diferencias en luminancia del objeto captado se registran por medios físicos, mediante voltajes convertidos en valores digitales, y almacenados en discos magnéticos o en chips de memoria que permiten la recuperación inmediata de la información (la imagen), a diferencia de las imágenes fotográficas, donde las diferentes luminancias provenientes del objeto se registran a través de cambios químicos en una película fotográfica.

Estas diferentes formas de registro pictórico hacen necesaria la diferenciación entre imagen y fotografía. Puesto que el término imagen se refiere a un producto de carácter pictórico, todas las fotografías son imágenes. Sin embargo, no todas las imágenes son fotografías, ya que éstas son producidas mediante un procedimiento específico, inherente a su naturaleza.

1.2 La imagen digital.

La imagen digital es un arreglo de números enteros (denominados comúnmente como píxeles) cuya posición dentro del arreglo está asociada a una posición geométrica del escenario representado, ordenados en forma matricial. El origen de coordenadas (filas y columnas) se encuentra en la parte superior izquierda.

A cada valor del arreglo, es decir, a cada píxel, se le asocia un tono de gris correspondiente al nivel de intensidad promedio reflejada por el escenario original. Este tono está dado por valores binarios, cuya forma es 2^n .

$$\begin{bmatrix} p(1,1) & p(1,2) & p(1,3) & p(1,n) \\ p(2,1) & p(2,2) & p(2,3) & p(2,n) \\ p(3,1) & p(3,2) & p(3,3) & p(3,n) \\ p(m,1) & p(m,2) & p(m,3) & p(m,n) \end{bmatrix}$$

Por ser una imagen numérica, su análisis puede hacerse en forma rigurosa por tratamientos matemáticos mediante el uso de computadoras. (wolf, 2000). Esta característica le otorga una gran ventaja respecto a la imagen fotográfica, ya que puede ser manipulada

radiométricamente y geoméricamente mediante programas, los cuales son mucho más económicos que los dispositivos ópticos y químicos usados en la fotografía.

Como ventajas de la fotografía digital con respecto a la analógica, se puede mencionar su capacidad de ser visualizadas inmediatamente, así como su capacidad de ser editada por programas adecuados. Como desventajas, se tiene su baja resolución geométrica respecto a la fotografía analógica y su exigencia de gran cantidad de memoria para ser almacenadas. Sin embargo, estas desventajas se reducen cada día más, a medida que la tecnología mejora sus capacidades.

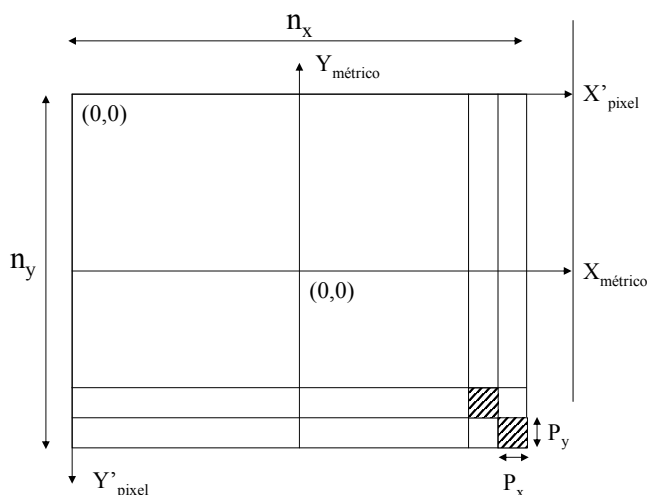


Figura 1.1. Coordenadas de la imagen digital.

El sistema de coordenadas de la imagen digital difiere del sistema cartesiano en que su origen se ubica en el primer píxel del sensor, por lo que se encuentra a la izquierda y en la parte superior. Esta diferencia entre ambos sistemas se debe al propio carácter numérico de la imagen, lo que hace que el primer píxel sea el primer elemento $(p(1, 1))$ de la matriz p .

Las imágenes digitales son producidas mediante muestreo discreto. En este proceso, una pequeña área en el plano focal es tomada para determinar la cantidad de energía electromagnética que es recibida por la correspondiente superficie del objeto.

El muestreo discreto posee dos características fundamentales: la resolución espacial y la resolución radiométrica.

La resolución espacial se refiere al tamaño físico que un píxel de la imagen representa en el terreno; cuanto mayor sea la cantidad de píxeles que cubren un área determinada, mayor resolución geométrica de la imagen, ya que el píxel representará una menor superficie del objeto.

La resolución radiométrica implica la conversión de la amplitud de la energía electromagnética original en un número de niveles discretos. Mayores niveles de cuantización resultan en mejores representaciones de la señal analógica, y por lo tanto mayor resolución radiométrica, por cuanto se discriminan diferencias más pequeñas de la energía que llega al sensor.

La imagen digital es de carácter binario, es decir, está constituida por bites, los cuales sólo pueden tener dos estados: alto o bajo, representados respectivamente como 1 ó 0. El número de bites disponibles para registrar la imagen determina su resolución radiométrica.

De este modo, una imagen de 4 bites dará una resolución de 2^4 es decir, 16 tonos diferentes. Una imagen de 8 bites dará una resolución de 2^8 es decir, 256 tonos diferentes. Estos tonos son desplegados como grises, donde su mínimo valor (0) se representará pictóricamente como negro, y su máximo valor 255 (en el caso de una imagen de 2^8 bites) se representará como blanco.

Como consecuencia de lo anterior, existe una resolución que es otro aspecto de la resolución radiométrica, la cual es la resolución espectral, y es la capacidad del sistema que capta la imagen en resolverla en distintas bandas espectrales.

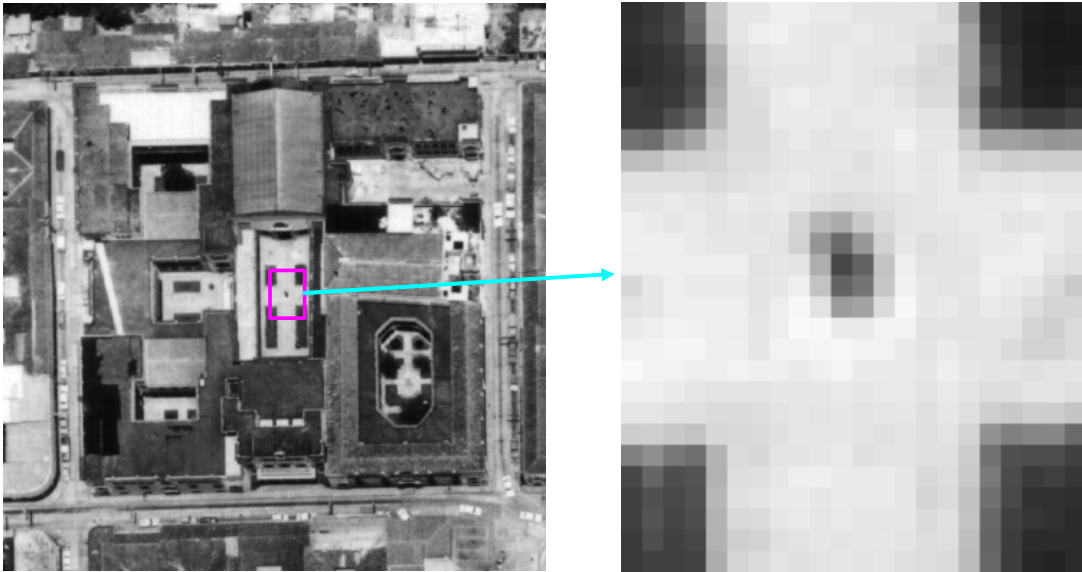


Figura 1.2. Imagen digital del edificio del rectorado ULA, y ampliación mostrando los pixeles.

48	55	68	113	198	232
51	58	70	106	195	231
47	51	59	82	175	225
44	51	55	73	169	220
58	54	59	81	175	220
58	59	81	104	185	220

Tabla 1.1. Valores radiométricos de los seis primeros pixeles horizontales y verticales de la ampliación en la figura 10.1.

Formatos más comunes de imagen digital

BMP (Bit MaP)

Es un formato creado para windows, aunque puede usarse en todos los programas que despliegan y editan imágenes.

JPEG (Joint Photographic Experts Group)

Es un formato que permite alcanzar elevados niveles de compresión, manteniendo una calidad adecuada.

GIF (Graphic Interchange Format)

Las imágenes GIF son de pequeño tamaño, y tienen la posibilidad de transparencia y animación. Los programas que manipulan este formato deben pagar royalties a Unisys, propietaria del algoritmo de compresión LZW.

PNG (Portable Network Graphic)

Es un formato basado en las características del GIF, aunque mejorado y posee el inconveniente de que no es soportado por todos los programas que manipulan imágenes.

TIFF (Tagged Image File Format)

Es un formato creado por Aldus (Actualmente propiedad de Adobe) y Microsoft; el formato TIFF fue creado para adquirir y crear imágenes optimizadas para la impresión.

1.3 El pixel

Es la unidad de los elementos pictóricos que constituyen una imagen digital. Es comparable a la resolución puntual de una película fotográfica. La dimensión física del elemento captor (en la actualidad de 9 a 15 μm) y la longitud focal del sistema óptico empleado, determinan un ángulo sólido, que se prolonga hasta la superficie del terreno. La altitud a la cual se utiliza el dispositivo de captación de la imagen, determina entonces el tamaño del área del terreno que el pixel representa. El ángulo sólido determinado por el transistor y el sistema óptico es mejor conocido con el nombre de IFOV, por sus siglas en inglés (Instantaneous Field Of View, campo de vista instantáneo). En una pantalla de computadora o en un dispositivo de entrada, como un escáner o una cámara digital, un pixel es la mínima e individualizada información visual que puede capturar o mostrar un elemento

1.4 Formación de imagen

La imagen de un objeto es registrada por el sensor mediante la intervención de dos procesos simultáneos:

- El proceso geométrico, el cual determina donde queda sobre la imagen un determinado punto del objeto.
- El proceso radiométrico, el cual determina la iluminación de dicho punto sobre la imagen.

Independientemente de su principio de funcionamiento, toda cámara incorpora un sistema óptico que se diseña para enfocar la imagen de interés sobre algún tipo de elemento sensible a la luz, ya sea una película fotográfica convencional, o un dispositivo optoelectrónico encargado de convertir las variaciones de luz en variaciones de carga o voltaje. Cada elemento del sensor recibe cierta cantidad de fotones, provenientes de la luz que refleja la escena. Estos fotones causan el efecto fotoeléctrico en el detector, haciendo

que en mismo libere electrones, los cuales generan una corriente eléctrica en forma directamente proporcional a la energía recibida de los electrones liberados. Existen actualmente dos tipos de dispositivos optoelectrónicos muy utilizados para captar la luz, que son el CCD (Charge Coupled Device) y el CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Estos sensores de imagen, convierten la luz en voltaje, pero difieren en la forma de leer ese voltaje, lo cual se traduce en diferencias de precio y calidad.

En el caso del CCD, la carga es transportada a lo largo del chip y leída al final del mismo. Para lograr esto, se usan procesos especiales de fabricación para darle al chip la habilidad de transportar la carga a través del chip sin que ocurra distorsión. Estos procesos tienen como consecuencia la creación de sensores de alta calidad en términos de fidelidad y sensibilidad.

En el caso del CMOS, cada píxel es leído en forma instantánea e individual. Sin embargo, debido a que cada fotodiodo posee transistores en su alrededor, algunos de los fotones pueden alcanzar los transistores, dando como resultado una pérdida de sensibilidad a la luz. Las principales diferencias entre ambos sistemas se describen en la tabla siguiente:

Característica	CCD	CMOS
Calidad de imagen	superior	inferior
Consumo de energía	mayor	menor
Costo	mayor	menor

Debido a sus propias características, el sensor CMOS es usado en cámaras digitales donde el costo prime sobre la calidad, mientras que los sensores CCD se utilizan en cámaras de alta gama.

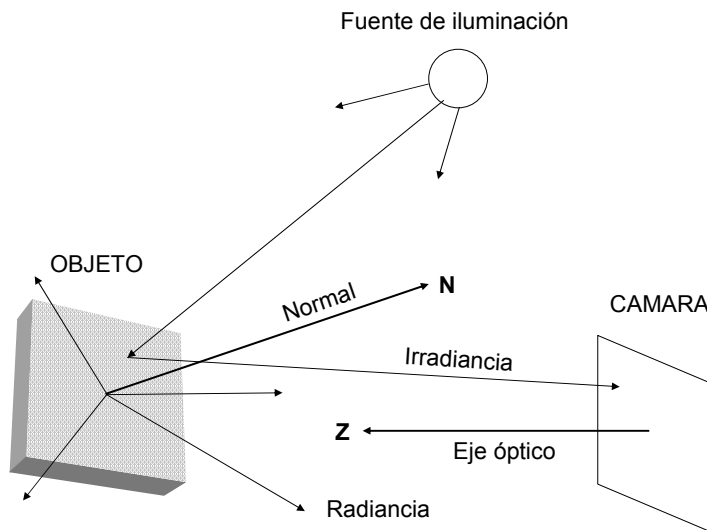


Figura 1.3. Formación de la imagen.

1.5 Captación de la imagen por CCD.

El CCD está constituido por una matriz de transistores que crean corrientes eléctricas proporcionales a la intensidad de luz que reciben. Los transistores forman los píxeles de la imagen. El píxel puede provenir de un único transistor, como en las fotografías en blanco y negro, o de varios transistores para el color. Cuantos más píxeles contenga una imagen, mayor será su resolución.

Puesto que la intensidad lumínica que incide sobre los elementos sensibles del CCD es de tipo análoga, así mismo es la señal que emana de estos fotoelementos, por lo cual se hace necesaria su conversión a digital mediante el uso de un convertidor de análogo a digital, A/D. La imagen digitalizada es ahora enviada a un DSP (digital signal processor o procesador digital de señal), programado para llevar a cabo la tarea de procesar la imagen obtenida a partir de la digitalización del patrón de intensidades proveniente del CCD.

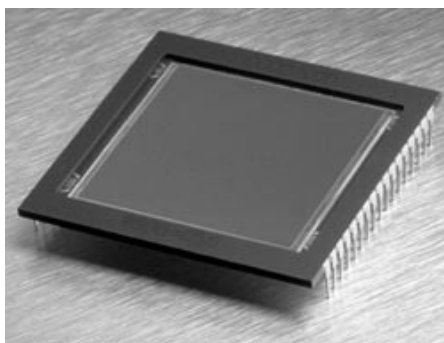


Figura 1.4. Sensor CCD KAF-16801E de 4096×4096 píxeles, tamaño de $36,88 \times 36,88$ mm. (KODAK)

Las tareas llevadas a cabo por el DSP incluyen, entre otras, ajustar el contraste y el detalle de la imagen, comprimir los datos que la conforman para que ocupen menos espacio y posteriormente enviar los datos al dispositivo de almacenamiento. Se puede afirmar que el DSP es el cerebro del sistema fotográfico digital.

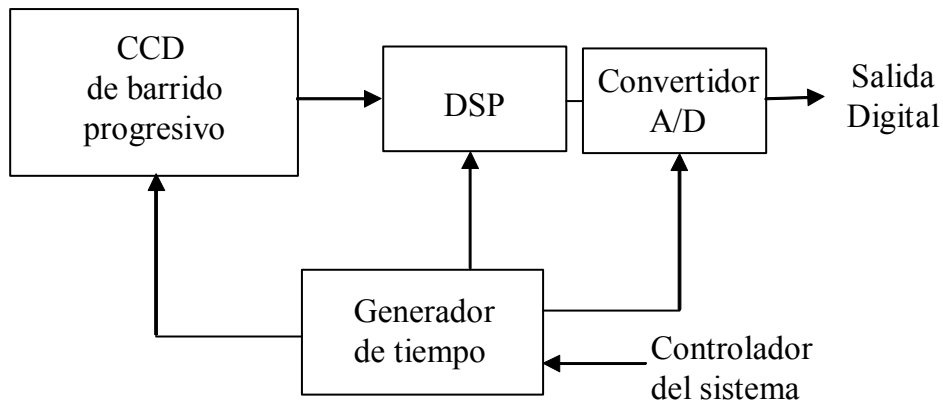


Figura 1.5. Esquema de operación de un dispositivo CCD. (KODAK).

1.6 El dispositivo CCD (Dispositivo acoplado por carga).

La lente de la cámara enfoca la luz en la superficie del conjunto CCD y dependiendo de la intensidad luminosa recibida, aparece en las celdillas fotosensibles un voltaje proporcional a la cantidad de luz recibida.

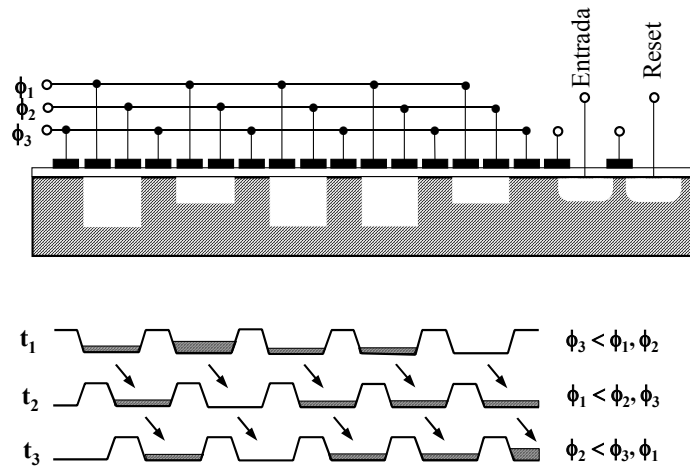


Figura 1.6. Dispositivo CCD. (Tomado de Göpel, W. Et al. 1992).

El segundo paso, la transferencia contigua, consiste en que las celdas fotosensibles transfieren su carga a la celda CCD vecina, mediante la recepción de una serie de pulsos con lo cual todas las columnas CCD quedan cargadas con los valores de las fotoceldas y están listas para iniciar la transferencia de carga.

El tercer paso es el desplazamiento vertical, donde se aplica una serie de pulsos a las columnas, con lo que van vaciando su información

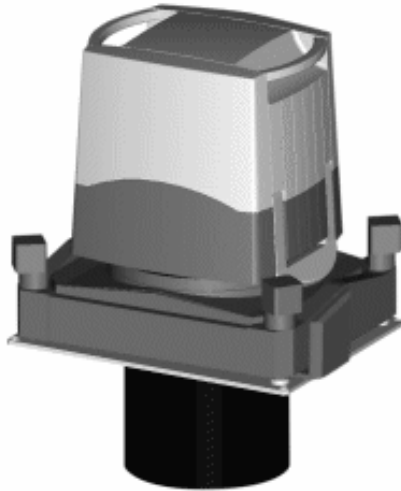


Figura 1.7. Cámara digital fotogramétrica aérea equipada con CCD.
(Tomado de Z/I Imaging (Intergraph-Zeiss)).

1.7 Captación del color

Los fotodiodos del CCD son sensibles únicamente a la radiancia emitida por los diversos puntos de la escena fotografiada. La radiancia total emitida por cada punto es a su vez la suma de la radiancia de los colores primarios del espectro visible. Para descomponer esta resultante en sus radiancias en el rojo, el verde y el azul, es necesario colocar antes del sensor un dispositivo capaz de separar en sus componentes el haz de luz que ingresa por el objetivo. Para ello, existen tres formas diferentes:

- Triple CCD: la luz es dividida en sus tres componentes mediante el uso de filtros dicróicos.
- Filtros rotatorios, que contienen filtros azul, verde y rojo, pero tienen el inconveniente de que solo son aptos para tomas estáticas de sujetos estáticos.
- La forma más económica y práctica para registrar el color consiste en colocar un filtro sobre cada fotodiodo. El tipo de filtro más utilizado en este caso es el Filtro de Bayer, el cual alterna columnas de filtros azules y verdes con columnas de rojos y verdes, formando un mosaico donde la cantidad de filtros verdes es igual a la cantidad de filtros rojos y azules. Como resultado de la disposición de este filtro sobre el CCD, se hace necesario aplicar un algoritmo que permita convertir el mosaico de colores captado en un mosaico del mismo tamaño y posición de los píxeles, mediante el promedio de los valores de los píxeles vecinos.

1.8 El escaneado.

Una forma de adquirir la imagen digital de un área determinada es la del escaneado, método que es el más utilizado actualmente en la fotogrametría, debido a que ofrece una mayor accesibilidad para obtener una imagen numérica que la de la toma directa por cámara digital. Dado que con los modelos estereoscópicos obtenidos con fotografías aéreas se obtienen precisiones del orden de 15 μm , la resolución óptica del escáner debe poseer valores similares para que la imagen digital sea competitiva con la fotografía. Existen varios tipos de escáneres según usen fotomultiplicador o CCD, y según sean de tambor o planos. En la tabla 10.2, (ASPRS, Digital Photogrammetry, 1996), se comparan los principales escáneres disponibles para uso fotogramétrico.

Sensor	Tipo de escaner	Compañía fabricante	Sistema de iluminación	Tamaño del pixel
Fotomultiplicador	Tambor	Screen DT-S1030AI	Dirigido	13 μm
	Tambor	Crosfield	Dirigido	14 μm
	Plano	Perkin Elmer 20 \times 20 G	Dirigido	22 μm
CCD lineal	Plano	Du Pont High-Light 1850/1875	Difuso	10 μm
		PhotoScan PS1 (Zeiss)	Dirigido	7.5 μm
		Wehrl RM1	Dirigido	12 μm
		Agfa ACS100	Difuso	10 μm
		Agfa Horizon	Dirigido	21 μm
CCD matricial	Plano	Vexcel VX 3000	Difuso	10 μm
		DSW100 (Helava)	Difuso	13 μm
		Philips CCD DSR15	Difuso o dirigido	8 \times 12 μm

Tabla 1.2 Tipos de Escaneres disponibles en el mercado.



Figura 1.8. Escáner UltraScan 5000 de Vexcel Imaging

1.9 Aspectos de la resolución (Ihrig, E. 1996).

Existen diferentes tipos de resolución, según la etapa de producción en que la imagen se encuentra, aunque todos hacen referencia a la cantidad o densidad de información digital que se maneja. Tenemos entonces:

Resolución de entrada o resolución de escaneado.

Es la cantidad de información que la imagen tendrá al realizarse el escaneado. Está limitada por la capacidad del escaner utilizado y puede ser variada en cada escaneado.

Resolución óptica.

Es la máxima cantidad de información que un escaner o cámara digital puede muestrear. Esta información se expresa como puntos por pulgada (dpi o ppp) en el caso de los escáneres, y como una cantidad fija en el caso de las cámaras digitales.

Resolución interpolada.

Es la máxima resolución obtenida a partir de software, el cual mediante métodos de interpolación entre los píxeles originales de la imagen crea nuevos píxeles. Esta resolución se utiliza principalmente para el proceso de impresión, cuando se considera necesaria para aumentar la calidad visual del producto. Sin embargo, este método no se usa en fotogrametría por alterar la integridad de la información geométrica (y radiométrica) de la imagen.

Resolución del monitor.

Es la cantidad de información que puede desplegarse a la vez en la pantalla. Esta resolución sólo afecta la comodidad de trabajo, no a la calidad de la imagen, que se mantiene inalterable en el despliegue.

Resolución de salida.

Se refiere al número de puntos por pulgada que debe contener el archivo final a ser impreso. El método de reproducción de la impresión y la resolución del dispositivo de salida usado determinan la correcta resolución de salida para la imagen.

Resolución de impresora.

Se refiere al número de puntos por pulgada, horizontales y verticales, que un dispositivo de salida puede generar.

1.10 Digitalización

Es un proceso mediante el cual se transforma una señal analógica (variable continua), en señal digital (variable discreta). Debido a que la señal es digitalizada para ser usada en computadores, los cuales usan el código binario, con n números de bits por byte, la digitalización se hace en potencias de 2. A grandes rasgos, para llevar a cabo la

digitalización, el rango de voltaje de entrada de la señal análoga se divide por el valor 2^n , donde n es el número de bits que posee el conversor. El resultado de esta división es el intervalo dentro del cual la señal analógica tendrá el mismo valor para el digitalizador. De esta manera los valores digitales se irán registrando según el valor de la señal analógica en dichos intervalos. Por ejemplo, si la señal va a ser digitalizada por un conversor 2^3 , la señal analógica será dividida en $2 \times 2 \times 2 = 8$ intervalos. Todo voltaje que esté comprendido dentro de un determinado intervalo será digitalizado entonces según su correspondiente valor digital.

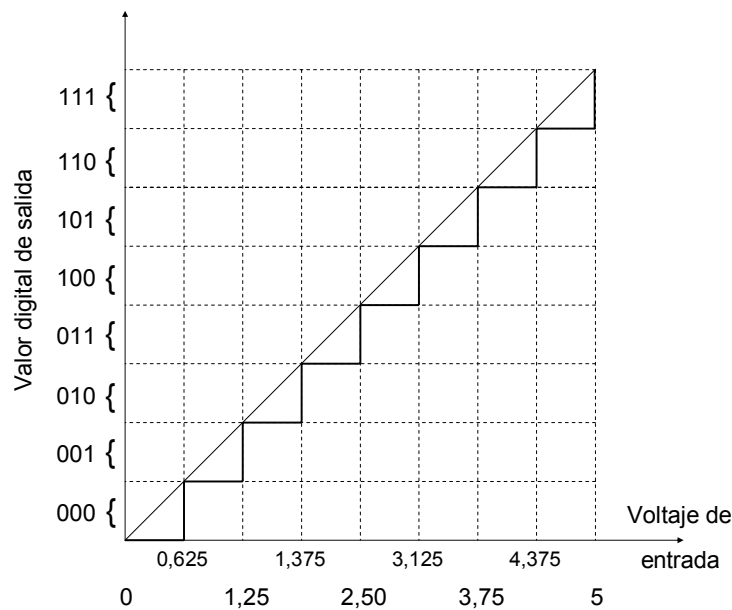


Figura 1.9. Digitalización de 3 bits de un voltaje de 0 a 5 V.

1.11 Tratamientos numéricos de la imagen digital.

En fotogrametría interesa básicamente la rectificación de la imagen, especialmente la rectificación rigurosa, ya que es la que nos permite realizar la ortofoto. Por supuesto, el proceso de rectificación está asociado con el proceso de remuestreo de la imagen, los cuales serán tratados con más detalle en este capítulo.

Sin embargo, existen diversos tratamientos conducentes a variar los valores radiométricos de los píxeles en forma local, bien sea para mejorar contraste de imagen, para igualar los contrastes entre varias imágenes que formarán un mosaico o de un ortofotomapa, o para resaltar características geométricas en la imagen, tales como líneas y direcciones. Los tratamientos más relevantes son: mejoramiento del contraste, igualación de contraste entre dos imágenes, y los filtrados de imagen.

1.11.1 Mejoramiento del contraste.

Cuando se capta una imagen, los diferentes tonos de la misma pueden tener un valor radiométrico similar, si la respuesta en luminancia de los diferentes elementos del terreno captado es similar. La forma de establecer cuantitativa y cualitativamente el contraste de una imagen es mediante la determinación de su histograma, el cual es la representación de la frecuencia de los valores radiométricos de la imagen. El mejoramiento del contraste consiste simplemente en modificar la radiometría de la imagen para obtener un histograma lo más expandido posible (Foin, P, 1987).

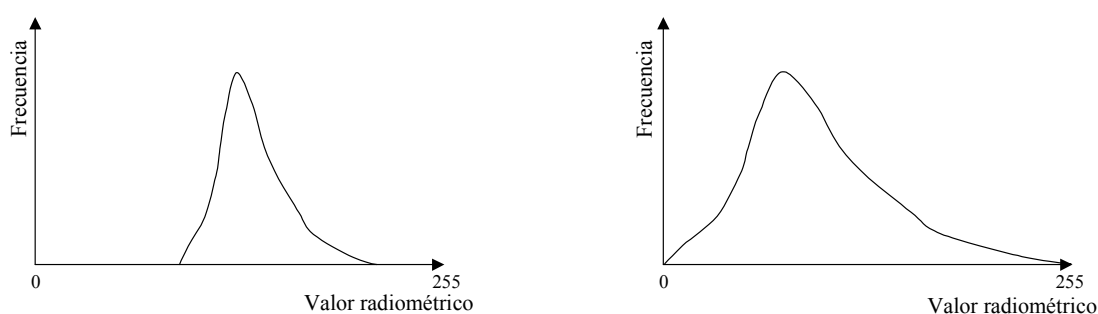


Figura 1.10. Histograma original (izquierda) e histograma expandido (derecha).

Para mejorar el contraste se realiza la siguiente operación para cada pixel:

$$ND_{f,i,j} = \frac{ND_{o,i,j} - ND_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}} \times (\Delta B)$$

Donde:

$ND_{f,i,j}$ es el valor del pixel obtenido de la fórmula.

$ND_{o,i,j}$ es el valor original del pixel.

ND_{\min} es el menor valor.

ND_{\max} es el mayor valor.

ΔB es el rango de brillantez del monitor.

1.11.2 Igualación de contraste.

Esta operación tiene por objeto igualar el contraste de una o varias imágenes con respecto a una inicial, para formar un mosaico o un ortofotomapa. La forma de igualar estos contrastes consiste en elegir una de las imágenes como referencia, para reducir las demás a ella. El método más usado es el de la normalización de las medias. Tomando como L en número de líneas de la imagen y C como el número de columnas, y llamando a los valores de la

imagen de referencia como R y los de la imagen a normalizar como P, tendremos (Joly, G, 1986):

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^C R(i, j) \quad m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^C P(i, j)$$

Donde $n = L \times C$

Tendremos entonces: $\text{Norm.}(P(i,j)) = \frac{M}{m} \times P(i,j)$

1.11.3 Filtros.

Una característica de la imagen digital es el parámetro denominado *frecuencia espacial*, el cual se define como el número de cambios en valores de brillantez por unidad de distancia para cualquier zona de la imagen. Si los valores de brillantez varían mucho en un área determinada de la imagen, se dice que es un área de alta frecuencia espacial; en caso contrario, se trata de un área de baja frecuencia espacial.

Un filtro lineal espacial es aquel que modifica valores de brillantez de la imagen original, en función de un peso promedio creado mediante una combinación lineal.

La frecuencia espacial puede ser manipulada de dos diferentes maneras:

La primera es mediante el filtrado de la convolución espacial, la cual se fundamenta en el uso de máscaras de convolución.

La segunda consiste en el análisis de Fourier, el cual separa la imagen en sus componentes de frecuencia espacial, mediante una transformada de Fourier aplicada a la imagen.

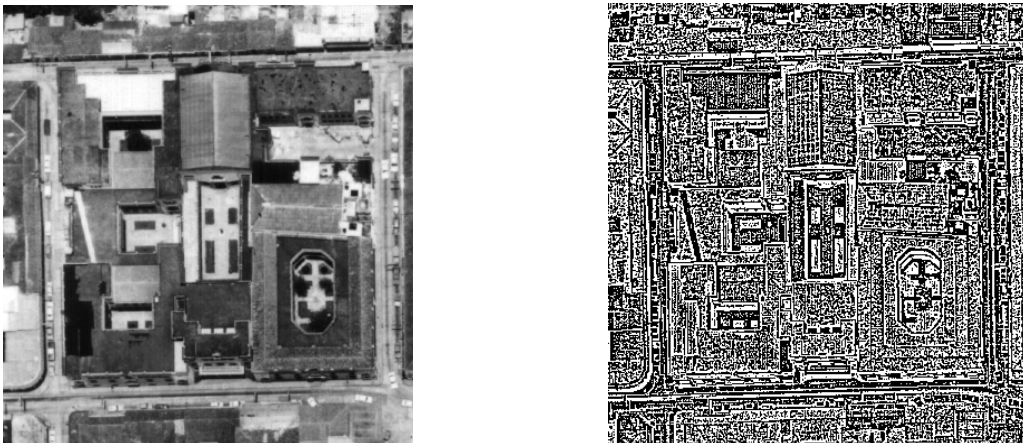


Figura 1.11. Efecto de un filtro paso alto.

La convolución es una de las operaciones más usuales que se realizan en el dominio espacial de las imágenes. En ella, una matriz de números (denominada kernel) es

multiplicada por cada píxel y sus vecinos en una pequeña región, se suman los valores y este resultado se asigna al píxel de la imagen que coincide con el centro del kernel.

Existen diferentes tipos de filtros según la función que realicen, bien sea para destacar algún rasgo o característica de la imagen o para corregir algún defecto. Así pues, tenemos filtros paso bajo, para disminuir contraste, paso alto para aumentarlo, Laplacianos para destacar límites entre distintos valores numéricos de la imagen y Sobel para determinar la orientación en estructuras de la imagen.

El principio de cálculo de estos filtros o kernels consiste en multiplicar los valores de la ventana usado como filtro, por los correspondientes valores de la imagen original, y realizar la suma de todos estos productos para asignar este resultado a una nueva imagen, que estará formada por los los resultados obtenidos al ir desplazando la ventana desde su posición inicial en el esquina superior izquierda de la imagen original, hasta la posición final en la esquina inferior derecha.

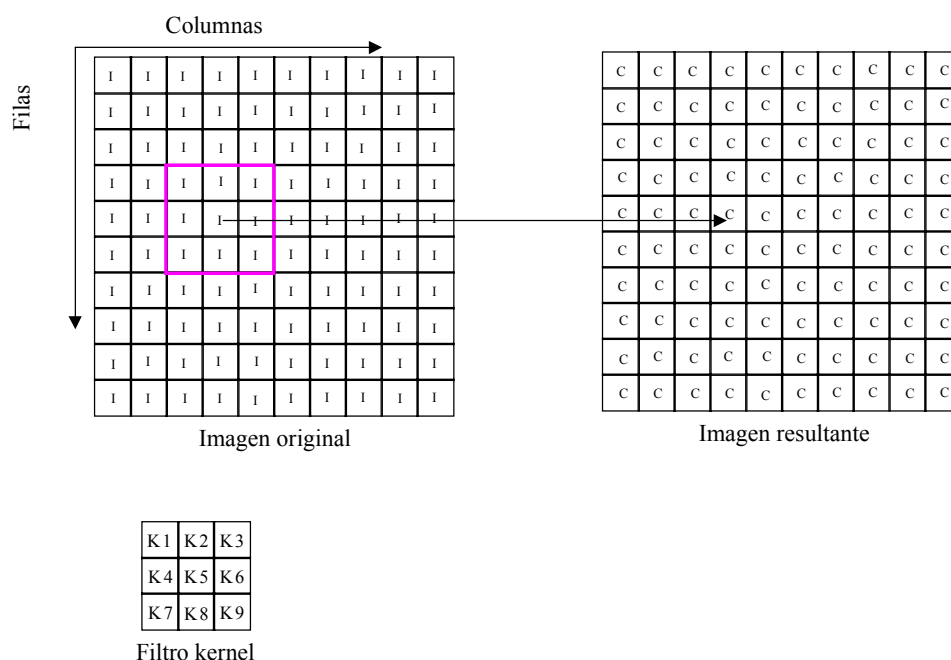


Figura 1.12. Esquema de la aplicación de un filtro (Tomado de Wolf, 2000).

Para la posición que ocupa el filtro en la figura 1.11, el cálculo del píxel correspondiente a la imagen resultante sería de la forma:

$$C_{4,5} = K1 \times I_{3,4} + K2 \times I_{4,4} + K3 \times I_{5,4} + K4 \times I_{3,5} + K5 \times I_{4,5} + K6 \times I_{5,5} + K7 \times I_{3,6} + K8 \times I_{4,6} + K9 \times I_{5,6}$$

Lo que expresado en forma general resulta:

$$C(m,n) = K1 \times I(m-1, n-1) + K2 \times I(m-1, n) + K3 \times I(m-1, n+1) + K4 \times I(m,n-1) + K5 \times I(m,n) + K6 \times I(m, n+1) + K7 \times I(m+1, n-1) + K8 \times I(m+1, n) + K9 \times I(m+1, n+1)$$

Filtros de baja frecuencia.

Son aquellos que minimizan los detalles con alta frecuencia espacial.

1	1	1
1	2	1
1	1	1

Filtros de alta frecuencia.

Son aplicados para remover los componentes de lenta variación y resaltar las variaciones locales de alta frecuencia. De esta forma, se acentúan los ejes existentes en la imagen.

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

Filtros lineales de resaltado de ejes.

Se basan en la aplicación de un algoritmo direccional de primera diferencia que aproxima la primera derivada entre dos pixeles adyacentes.

Máscaras de gradiente de rumbo.

Se usan para realizar la diferenciación discreta de dirección de los ejes, en dos dimensiones.

Máscara de gradiente horizontal

1	1	1
1	-8	1
-1	-1	-1

Norte

Máscara de gradiente horizontal

-1	-1	-1
1	-8	1
1	1	1

Sur

Máscara de gradiente vertical

-1	1	1
-1	-8	1
-1	1	1

Este

Máscara de gradiente vertical

1	1	-1
1	-8	-1
1	1	-1

Oeste

Máscara de gradiente diagonal

1	1	1
-1	-8	1
-1	-1	1

Noreste

Máscara de gradiente diagonal

1	-1	-1
1	-8	-1
1	1	1

Sureste

Filtro de Laplace.

El filtro de Laplace (1) es un filtro kernel que se aproxima a la segunda derivada, siendo insensible a la rotación, por lo que no es capaz de definir ejes, ya que no detecta la dirección donde estas discontinuidades ocurren (puntos, líneas y ejes).

Este filtro (2) resta los valores de brillantez de los píxeles vecinos al píxel central. Como consecuencia de esto, al aplicar este filtro en una región de la imagen que posea brillo o gradiente de brillo uniforme, se obtendrá una imagen con valores de brillantez de cero, salvo cuando exista una discontinuidad en forma de punto, línea o eje, en cuyo caso el valor es diferente de cero, pudiendo ser negativo o positivo. Para que los valores puedan ser desplegados, se les agrega el valor de 128.

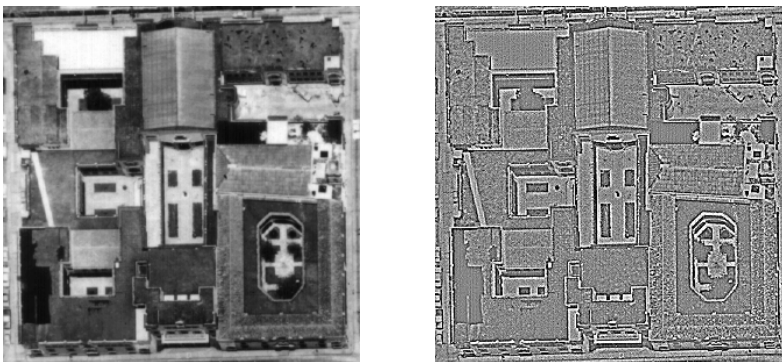


Figura 1.13. Efecto del filtro de Laplace.

Filtro laplaciano de 3×3

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

Filtro laplaciano de 5×5

-1	-2	-3	-2	-1
-2	2	4	2	-2
-3	4	8	4	-3
-2	2	4	2	-2
-1	-2	-3	-2	-1

Filtro de Sobel.

Es un filtro kernel que detecta ejes y su orientación.

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

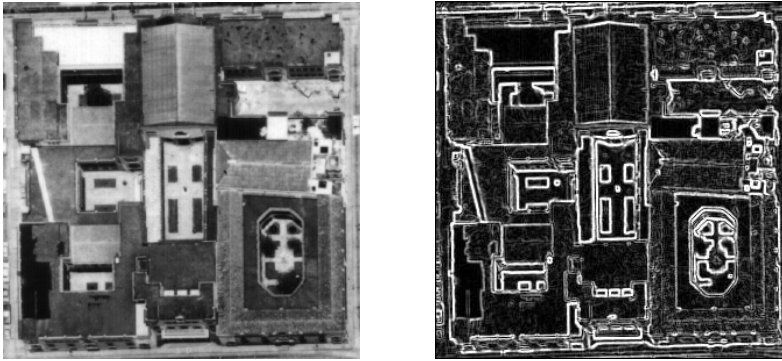


Figura 1.14. Efecto del filtro de Sobel.

Otros filtros similares en su efecto al de Sobel son:

Filtro Prewitt.

$$\begin{matrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{matrix}$$

Filtro Roberts.

$$\begin{matrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 \end{matrix}$$

Existen otros tipos de filtros que eliminan o minimizan el ruido de una imagen, como:

Filtro de promedio:

$$\frac{1}{9} \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix}$$

Filtro Gaussiano:

$$\frac{1}{16} \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix}$$

Ejercicios

Imagen original

70	82	83	47	71	70	82
76	84	79	43	74	76	84
78	81	77	45	75	78	81
44	50	48	39	42	44	50
72	80	77	46	73	72	80
70	82	83	47	71	70	82
76	84	79	43	74	76	84

Resultado de la aplicación del filtro de Laplace:

70	82	83	47	71	70	82
76	46	90	0	87	0	84
78	112	147	0	159	98	81
44	0	0	0	0	0	50
72	114	141	0	153	64	80
70	35	126	0	67	0	82
76	84	79	43	74	76	84

Resultado de la aplicación del filtro de Sobel

70	82	83	47	71	70	82
76	18	0	0	122	37	84
78	5	0	0	104	30	81
44	12	0	0	69	29	50
72	27	0	0	80	33	80
70	34	0	0	105	39	82
76	84	79	43	74	76	84

La transformación de Fourier

Las imágenes digitales existen en la forma del dominio espacial, el cual se refiere al concepto de que las posiciones de los píxeles en la imagen están referidas directamente al espacio bidimensional de la imagen. Mediante el uso de ciertas operaciones matemáticas, las imágenes pueden convertirse de la frecuencia espacial a la frecuencia espectral y viceversa. En una imagen convertida a la frecuencia espectral, la posición de sus píxeles describe la frecuencia, en lugar de la localización espacial. Las imágenes en la frecuencia espectral no poseen ningún carácter reconocible, a diferencia de las imágenes en el dominio espacial, aunque contienen toda la información de la imagen original.

La forma más usada para convertir la imagen digital original en su dominio de frecuencia es la transformación discreta de Fourier, la cual transforma los valores de brillantez en una serie de coeficientes para funciones de seno y de coseno, que varían desde cero hasta hasta la frecuencia de Nyquist.

Suponiendo que se discretiza una función $f(x)$ en una secuencia de N unidades Δx , obteniendo la forma: $\{f(x_0), f(x_0 + \Delta x), f(x_0 + 2\Delta x), \dots, f(x_0 + [N - 1]\Delta x)\}$, podemos generalizar usando x como una variable discreta: $f(x) = f(x_0 + x\Delta x)$.

La transformación discreta de Fourier será entonces:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp[-2\pi i u x /] \quad \text{para } u = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

$$f(x) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{N-1} F(u) \exp[-2\pi i u x /] \quad \text{para } x = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

Otra forma de conversión de la imagen digital al dominio espectral es la transformación rápida de Fourier, la cual es muy utilizada por ser rápida en el proceso de cálculo.

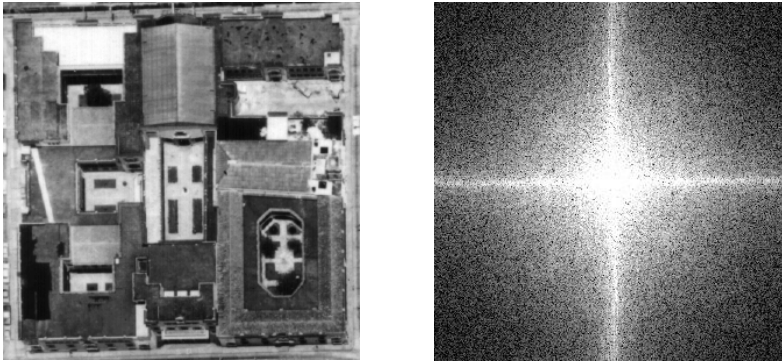


Figura 1.15. Efecto la aplicación de filtro FFT a la imagen del rectorado.