

REPUBLICA DEL ECUADOR  
INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS  
NACIONALES



TRABAJO DE INVESTIGACION INDIVIDUAL

DIPLOMADO SUPERIOR EN ALTA GERENCIA

**" ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y ANALISIS DE MERCADO  
PARA LA TOMA DE FOTOGRAFIA AEREA DIGITAL"**

ING. DENNYS MOSQUERA L.

B

III CURSO

2007

**REPÚBLICA DEL ECUADOR  
INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS  
NACIONALES**

**III DIPLOMADO SUPERIOR  
EN ALTA GERENCIA**



**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y ANÁLISIS DE  
MERCADO PARA LA TOMA DE FOTOGRAFÍA  
AÉREA DIGITAL”**

**AUTOR:  
ING. DENNYS MOSQUERA L.**

**TUTOR:  
MASTER. HECTOR REINOSO T.**

**2006- 2007**

*“... con **imágenes digitales** y proceso digital de imágenes, la fotogrametría deberá competir en un entorno completamente diferente al conocido, caracterizado por equipos, métodos, técnicas y necesidades de formación diferentes, y también por una forma de pensar diferente”*  
[ACKERMANN, 1991]

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En este trabajo se presenta el análisis de factibilidad y estudio de mercado de un Sistema de Cámara Aérea Digital (SCAD), que sin duda marcará el mercado cartográfico en un futuro cercano. Se detalla las características fotogramétricas comerciales, combinando las ventajas de las cámaras fotogramétricas en cuanto a su precisión geométrica y las de los sensores instalados en satélites en cuanto a la posibilidad de la adquisición de imágenes multiespectrales. El sensor CCD tri-lineal pancromático incorporado junto con sensores espectrales permitirán alcanzar precisiones del orden de 0.7 veces el tamaño de pixel sobre el terreno (definido éste en función de la altura de vuelo). Este sensor completará el diagrama de flujo del trabajo fotogramétrico en un entorno totalmente digital, alcanzando cotas de automatización insospechadas hasta la actualidad. Significa un aporte para que el Instituto Geográfico Militar incursione en la toma de fotografía aérea digital.

**DEDICATORIA:** *A la luz de mi vida: mi esposa FERNANDA, quien con su paciencia y generosidad me impulsó y apoyó para concluir este Diplomado...*

# ÍNDICE

## TEMA DEL PROYECTO

### ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y ANÁLISIS DE MERCADO PARA LA TOMA DE FOTOGRAFÍA AÉREA DIGITAL.

#### CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1	Antecedentes	1
1.1.2	Formulación del problema	1
1.1.3	Delimitación del problema	2
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	Objetivo General	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	JUSTIFICACIÓN	3
1.4	BREVE DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	3

#### CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1	INTRODUCCIÓN	4
2.2	SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE CAPTURA DE IMÁGENES	5
2.3	SENSORES CCD: FUNCIONAMIENTO Y PROPIEDADES	7
		8
2.3.1	Principios básicos	11
2.3.1.1	Matriz lineal con lectura bilineal	11
2.3.1.2	Transferidor matricial	12
2.3.1.3	Transferidor interlineal	13
2.4	TRANSFERIDOR DE ACUMULACIÓN RETARDADA (TDI)	14
2.5	PRINCIPALES PROPIEDADES	14
		14
2.5.1	Ruido	15
2.5.2	Respuesta espectral	17
2.5.3	Rango dinámico y linealidad	

## **CAPITULO III: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD**

3.1 ANÁLISIS TÉCNICO	20
3.2 ANÁLISIS ECONÓMICO	23
3.3 ANÁLISIS OPERATIVO	25

## **CAPITULO IV: ANÁLISIS DE MERCADO**

4.1	EL PRODUCTO	30
	4.1.1 Producto principal	31
	4.1.2 Subproductos	32
	4.1.3 Productos sustitutos	33
	4.1.4 Productos complementarios	35
4.2	DEMANDA DEL PRODUCTO	35
	4.2.1 Situación actual de la demanda	35
	4.2.2 Factores de la demanda	38
	4.2.3 Situación futura	38
4.3	OFERTA DEL PRODUCTO	39
	4.3.1 Mercado potencial	40
	4.3.2 Comercialización	42

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	CONCLUSIONES	44
5.2	RECOMENDACIONES	45
5.2	BIBLIOGRAFÍA	46

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b>	Esquema funcional general de los sistemas electrónicos de captura o adquisición de imágenes	5
<b>Figura 2.</b>	Evolución de las matrices CCD a lo largo de un período de 25 años.	7
<b>Figura 3.</b>	Diagrama esquemático de un detector o sensor CCD.	8
<b>Figura 4.</b>	Principio de la transferencia de carga.	10
<b>Figura 5.</b>	Principio de la matriz lineal con lectura bilineal.	11
<b>Figura 6.</b>	Principio de la matriz lineal con lectura bilineal	12
<b>Figura 7.</b>	Sistema de transferidor de imagen retardada.	14
<b>Figura 8.</b>	Respuesta espectral de los sensores CCD	16
<b>Figura 9.</b>	Relación entre la irradiancia y la carga acumulada en un píxel.	17
<b>Figura 10.</b>	Flujo de producción de las cámaras fotogramétricas analógicas.	22
<b>Figura 11.</b>	Flujo de producción de las cámaras fotogramétricas digitales	22
<b>Figura 12.</b>	Flujo de trabajo con película RC30 vs. Flujo de trabajo ADS40.	24
<b>Figura 13.</b>	Cámaras fotogramétricas aerotransportadas.	25
<b>Figura 14.</b>	Componentes del Sistema de cámara aérea digital (ADS40)	26
<b>Figura 15.</b>	Esquema operativo de un Sistema de cámara aérea digital (ADS40)	26
<b>Figura 16.</b>	Imágen digital obtenida con sensor ADS40. Color, pancromático e infrarojo.	31
<b>Figura 17.</b>	Imágen digital pancromática.	32
<b>Figura 18.</b>	Aplicaciones y diferentes segmentos cubiertos por los sensores remotos.	34

<b>Figura 19.</b>	Segmentos cubiertos por los sensores remotos, según su resolución espacial y espectral.	35
<b>Figura 20.</b>	Fotoíndice de la Isla Santa María, Provincia de Galápagos.	43

### ÍNDICE DE CUADROS.

<b>Cuadro A.</b>	Comparación entre cámaras fotogramétricas analógicas (película) y digitales (CCD)	20
<b>Cuadro B.</b>	Productos obtenidos con cámaras fotogramétricas analógicas (película) y digitales (CCD)	31
<b>Cuadro C.</b>	Resolución espacial y espectral de los sensores satelitales.	34
<b>Cuadro D.</b>	Demanda de fotografía aérea convencional.	36

### ÍNDICE DE DIAGRAMAS.

<b>Diagrama I.</b>	Demanda de fotografía aérea b/n y color.	37
<b>Diagrama II.</b>	Demanda de fotografía aérea digital (escaneada)	37

## **CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Ninguna época en la fotogrametría ha sido tan revolucionaria como la de los últimos 10 a 15 años, especialmente en lo que se refiere a la fotogrametría digital. Es por esto necesario entrar planificadamente en la toma de fotografía aérea digital ya que en este campo, como en muchos otros, los que no van con el tiempo se van con el tiempo.

#### **1.1.1 Antecedentes.**

El Instituto Geográfico Militar, organismo técnico, de las Fuerzas Armadas Ecuatorianas, en su afán de superación ha hecho que enfrente con responsabilidad los desafíos impuestos por el avance tecnológico con el fin de proporcionar documentos cartográficos de alta precisión, porque estos son la base para la planificación de obras y trabajos vitales para el desarrollo y progreso de la colectividad ecuatoriana. Estos documentos como producto de un proceso cartográfico, durante los últimos 79 años, se han venido generando a través de su principal materia prima la fotografía aérea analógica o tradicional. Sin embargo en los últimos años, cada uno de los subprocesos se han venido modernizando y automatizando, faltando muy poco tiempo antes de que la adquisición o captura de datos sea totalmente digital.

#### **1.1.2 Formulación del problema**

En la actualidad es previsible que en 5 a 10 años la disposición de material fotográfico tanto de película, papel y químicos vaya a desaparecer o pasar a empresas artesanales con precios de aficionados,

por lo que se hace necesario optar por otra forma de generar fotografía, como es a través de la fotografía digital.

### **1.1.3 Delimitación del problema**

Es necesario determinar las ventajas y desventajas de la fotografía obtenida a través de medios electrónicos ("digitales") con respecto a la fotografía tradicional obtenida a través de procesos físicos y químicos.

## **1.2Objetivos:**

### **1.2.1 Objetivo General:**

Realizar un estudio de factibilidad y análisis de mercado para la toma de fotografía aérea digital.

### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

- Comparar la tecnología ofertante con respecto a la utilizada actualmente en el IGM (tradicional con película), presentando sus ventajas y desventajas.
- Demostrar la reducción de costos mediante la optimización de procesos o eliminación de recursos.
- Presentar el mejoramiento de los servicios a clientes y usuarios a través de la reducción en el tiempo de procesamiento, ejecución de tareas y automatización de procedimientos manuales.

- Comprobar que existe un número suficiente de consumidores, empresas y otras instituciones que en determinadas condiciones, presentan una demanda que justifica la inversión en un sistema de cámara aérea digital (SCAD).

### **1.3 Justificación**

Con el fin de mejorar los procesos fotogramétricos actuales y aquellos otros que se puedan beneficiar de la utilización de imágenes digitales aéreas, como cartografía temática y teledetección, mejorando desde la adquisición de imágenes hasta los productos finales, tales como: Imágenes estereoscópicas para restitución fotogramétrica, modelos de elevaciones, ortofotos, etc. y convencido de que las instituciones se fomentan y se fortalecen a través de su recurso humano y tecnológico, se hace necesario un estudio de factibilidad y mercado para la toma de fotografía aérea digital, que a más de conseguir un ahorro y optimización de los recursos; sino también, nos prepare ante la inminente desaparición de los proveedores de insumos (película, papel y químicos) del proceso fotográfico tradicional.

### **1.4 Breve descripción metodológica**

La presente monografía realizará un estudio de factibilidad y de mercado para la toma de fotografía digital, a través de un análisis técnico, económico y operativo, comparando dicha tecnología con la utilizada actualmente, mostrando de manera clara sus ventajas y desventajas. Se recopilará datos relevantes sobre los procesos digitales y en base a ello tomar la mejor decisión, si procede su estudio, desarrollo o implementación.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 INTRODUCCIÓN.

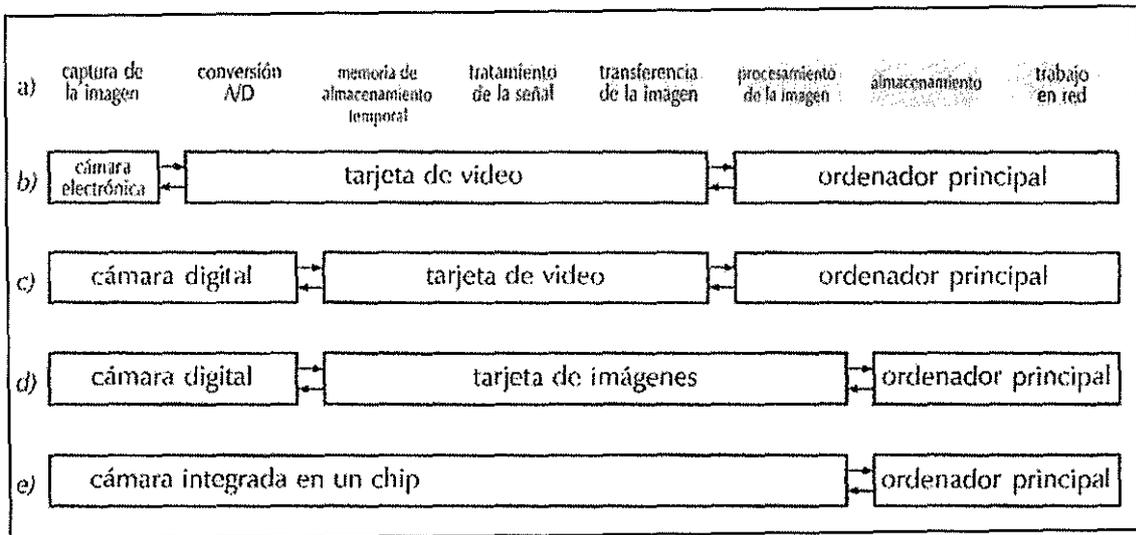
Las cámaras electrónicas o digitales se han usado desde el comienzo de los setenta para aplicaciones fotogramétricas especiales. Sin embargo las cámaras disponibles en ese momento, no eran muy precisas debido a la inestabilidad que presentaba la imagen dada la tecnología de la época. La aparición de las cámaras de estado sólido a comienzos de los ochenta eliminó la citada deficiencia. Los sensores de transferencia de carga (Coupled Charge Device –CCD-) son los que mejor se adaptan a las aplicaciones fotogramétricas digitales, puesto que proporcionan estabilidad y uniformidad.

Las clásicas cámaras de película utilizadas en fotogrametría, como la cámara RC-30 de *Leica*, se dividen a menudo en cámaras aéreas y terrestres (de objeto próximo). El mismo principio puede aplicarse a las cámaras digitales. Una cámara de este tipo ha de tener del orden de 20000 x 20000 elementos sensibles para ser comparable a una cámara clásica. No existen sensores con este tamaño de imagen, sin embargo es posible generarla a través de la agrupación de chips con sensores más pequeños. Una solución alternativa a las cámaras de serie de formato cuadrado son las denominadas cámaras lineales como es el caso de la cámara digital ADS40 de *Leica*.

La ventaja fundamental de las cámaras digitales sobre las cámaras clásicas analógicas o de película es la inmediata disponibilidad de las imágenes para su posterior análisis y procesamiento. Esto resulta esencial en fotogrametría en tiempo real donde el retardo o diferencia entre la captura de la imagen puede pasar de días a pocos minutos.

Otra ventaja de las cámaras de estado sólido es su creciente flexibilidad espectral. Los mayores inconvenientes radican en su limitada resolución y reducido campo de vista.

## 2.2 Sistemas electrónicos de captura de imágenes.



**FIGURA 1.** Esquema funcional general de los sistemas electrónicos de captura o adquisición de imágenes (a) y diferentes realizaciones en los sistemas reales (b) - (e) empezando por los sistemas de imágenes tradicionales con cámaras electrónicas (b) o digitales (c), la tarjeta de video y el ordenador principal.  
Fuente: Digital Photogrametry de Tony Shenk

La Fig. 1 representa como se ha ido integrando de forma diferente el esquema funcional básico de un sistema electrónico para la formación de imágenes dentro de un sistema real. El esquema funcional se divide en varios módulos en la Fig. 1 (a). La captura de la imagen se refiere al proceso de obtención de una imagen durante el tiempo de exposición. La carga acumulada en cada conductor semiconductor constituye la imagen capturada<sup>1</sup>, en el caso de una cámara con sensor CCD. Puesto que la imagen capturada es intrínsecamente analógica, en algún momento ha de

<sup>1</sup> Es una tentación entablar una analogía entre la carga acumulada por los condensadores y la imagen latente obtenida en las cámaras fotográficas convencionales de emulsión durante el tiempo de exposición.

producirse una conversión analógica – digital (A/D). Como resultado se obtiene una imagen digital original o bruta que se trata mediante un procesamiento de señal de bajo nivel antes de ser enviada a la unidad principal, donde tiene lugar un proceso y un análisis que varía según la aplicación de que se trate. En general el diagrama de bloques conceptual esquematizado en la Fig. 1. (a) sufrirá cada vez ligeros cambios debido a los desarrollos tecnológicos.

Las Figs. 1. (b)-(e) son ejemplos de cuatro implantaciones diferentes del esquema básico. El primer ejemplo describe el sistema tradicional de formación de imágenes, compuesto por una cámara electrónica, una tarjeta de video que aporta a la conversión A/D, el procesamiento, la transferencia y un ordenador principal. Hay una sutil pero importante diferencia entre la primera y la segunda implantación. Como se ve en la Fig. 1. (c) la conversión A/D la realiza ahora la cámara y la salida es una señal digital. Por tanto, este tipo de cámara se la denomina *cámara digital*.

La Fig. 1. (d) es ligeramente diferente a la anterior. Su propósito básico es mostrar otra tendencia tecnológica. La potencia de procesamiento de las tarjetas de video crece gracias a los nuevos microprocesadores de tratamiento de la señal, las memorias rápidas a precios asequibles y la miniaturización de los microprocesadores. Algunos fabricantes se hacen eco de la funcionalidad creciente de la tarjeta de video utilizando un nombre nuevo: *dispositivo o tarjeta de imágenes*. Sin embargo la diferencia entre los dos productos es confusa.

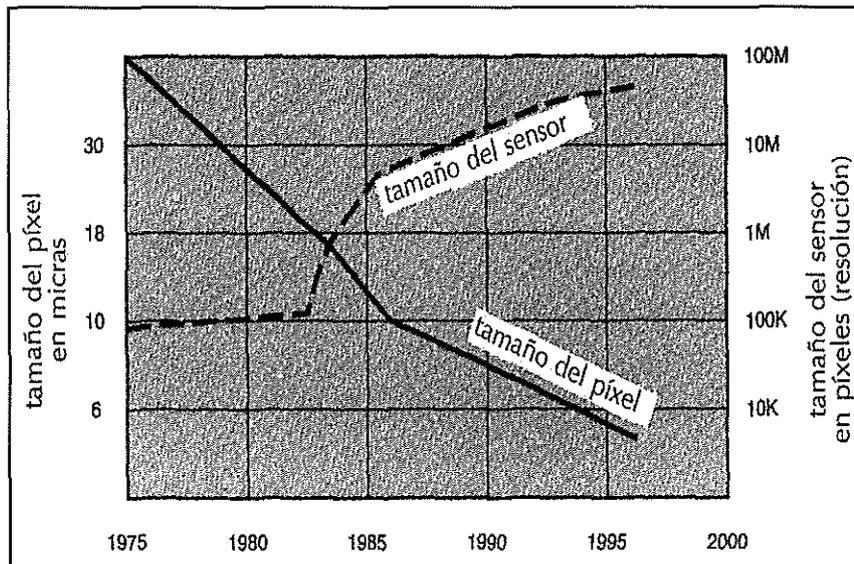
El último ejemplo de tecnología actual, supone el caso extremo de miniaturización: la cámara incluida en un microprocesador (chip). Consiste básicamente en un único chip y una lente complementada con

microprocesadores para el tratamiento de señal que integra unidades de compresión de imagen, interpolación de color y funciones de interfase. Su gran ventaja es el tamaño y un sencillo almacenamiento.

### 2.3 Sensores CCD: Funcionamiento y propiedades.

El dispositivo de transferencia de carga (CCD) se inventó en 1970. El primer sensor CCD de línea tenía 96 píxeles; hoy se dispone comercialmente de chips con más de 50 millones de píxeles. La Fig. 2. ilustra el asombroso desarrollo de los sensores CCD a lo largo de un periodo de 30 años. El tamaño en píxeles del sensor se designa normalmente como *resolución*, lo que generalmente genera confusión ya que este término tiene un significado diferente en fotogrametría<sup>2</sup>.

**FIGURA 2. EVOLUCIÓN DE LAS MATRICES CCD A LO LARGO DE UN PERÍODO DE 25 AÑOS.**

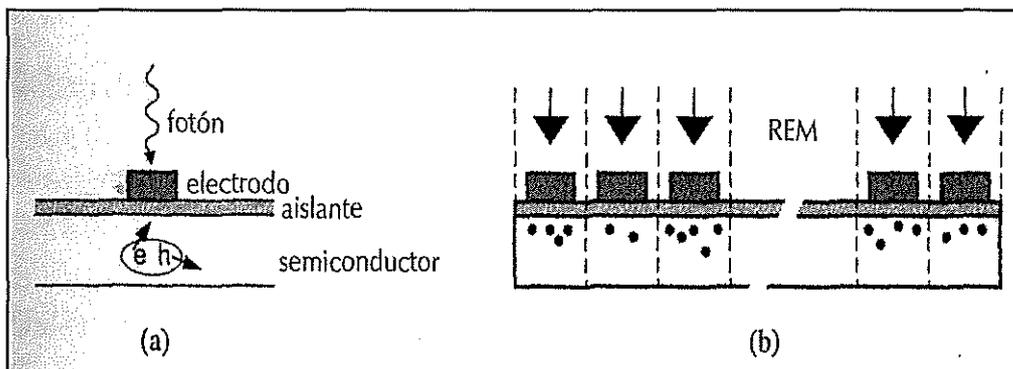


Fuente: Digital Photogrametry de Tony Shenk

<sup>2</sup>Resolución (poder separador) es la mínima distancia entre los elementos muy próximos o el mínimo tamaño de un detalle que es posible distinguir en un sistema fotogramétrico de adquisición o captura de datos. En fotografía, esta distancia se expresa normalmente en pares de línea por milímetro (lp/mm).

### 2.3.1 Principios básicos.

FIGURA 3. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN DETECTOR O SENSOR CCD.

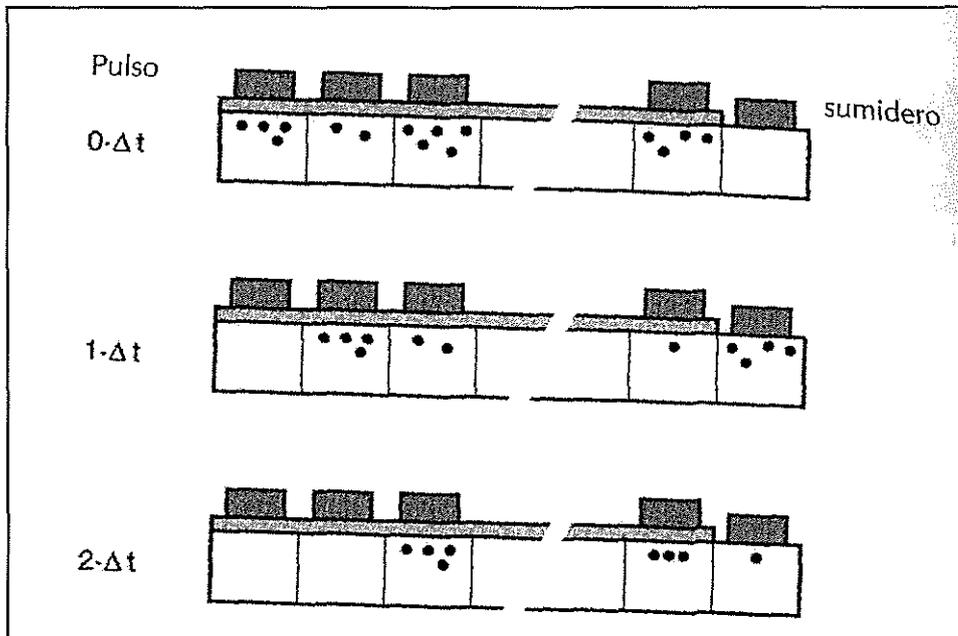


En (a) un fotón con una energía mayor que la banda vacía del semiconductor genera un par electrón-hueco. El voltaje positivo del electrodo atrae al electrón  $e$  mientras que el hueco libre se dirige hacia la masa. Los electrones agrupados con el electrodo constituyen un condensador. La disposición clásica de (a) repetida muchas veces forma una matriz lineal en (b). Fuente: Digital Photogrametry de Tony Shenk

La Fig. 3. (a) es un diagrama esquemático de un condensador semiconductor, el circuito fundamental básico de un CCD. El material semiconductor es normalmente silicio y el aislante es un óxido (condensador MOS). Los electrodos de metal están separados del semiconductor por el aislante. La aplicación de un potencial positivo al electrodo hace que los espacios móviles (huecos) se desplacen hacia la masa. Así se forma una región (región de carga reducida o sin carga) sin cargas positivas por debajo del electrodo opuesto del aislante.

Supóngase que incide energía electromagnética radiante (REM) en el dispositivo. Los fotones con una energía mayor que los de la banda energética vacía del semiconductor pueden ser absorbidos por la región sin carga y crear un par electrón-hueco. El electrón –denominado entonces fotoelectrón– es atraído por la carga positiva del electrodo metálico y permanece en la región sin carga mientras el espacio móvil se dirige hacia la masa. Como resultado la carga se acumula en el lado

FIGURA 4. PRINCIPIO DE LA TRANSFERENCIA DE CARGA.



La fila superior muestra una matriz lineal con paquetes de carga acumulada. Aplicando instantáneamente un voltaje,  $V_1$ , mayor que el del electrodo 1 éste vuelca su carga al segundo electrodo (fila intermedia). Al repetirse la operación de una forma secuencial con el tiempo todos los paquetes se mueven hasta el electrodo final (sumidero), donde se mide la carga.

Fuente: Digital Photogrametry de Tony Shenk

Se han desarrollado distintas e ingeniosas soluciones para la transferencia de carga de forma rápida y exacta. A continuación se describen brevemente algunos de los métodos.

opuesto del aislante con respecto al electrodo. La carga actual es proporcional al número de fotones absorbidos bajo el electrodo.

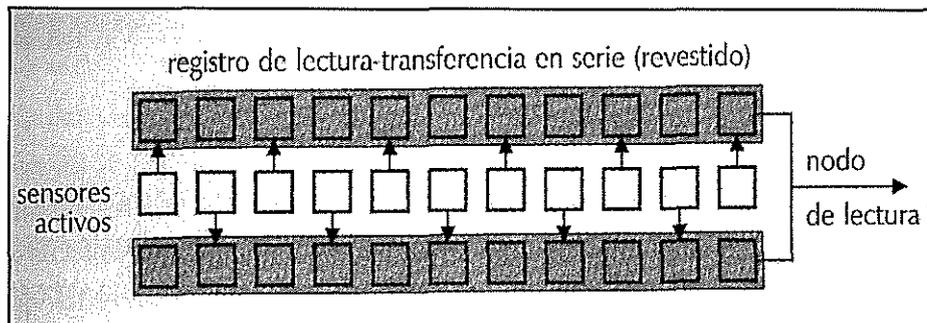
La banda energética vacía del silicio corresponde a la energía de un fotón con una longitud de onda de 1,1  $\mu\text{m}$ . Los fotones de menor energía (pero que no sobrepasan la banda vacía) pueden penetrar en la región de carga reducida y ser absorbidos fuera. En este caso el par electrón-hueco generado puede recombinarse antes de que el electrón llegue a la región sin carga. Por tanto no todo fotón crea un electrón que se acumule en el condensador. Y consecuentemente la eficiencia cuántica es inferior a la unidad. (Véase La Fig. 5.)

Con más frecuencia cada vez una serie de condensadores se disponen formando lo que se llama una *matriz CCD (CCD array)*. La Fig. 3. (b) ilustra el concepto de matriz unidimensional (llamada matriz lineal) que puede tener centenar de condensadores como *detectores o sensores de píxeles* o píxeles de forma abreviada. Los conjuntos bidimensionales de píxeles organizados en filas y columnas se llaman matrices de área completa o matrices bidimensionales.

El siguiente paso es transferir y medir la carga acumulada. El principio se muestra en la Fig. 4. Supóngase que el voltaje del electrodo  $i+1$  se hace momentáneamente mayor que el del electrodo  $i$ . Entonces, la carga negativa del electrodo  $i$  se vuelca a la posición  $i+1$ , debajo del correspondiente electrodo  $i+1$ , que supone un solape con las adyacentes regiones sin carga. Una secuencia de pulsos de voltaje provocará un movimiento secuencial de las cargas a lo largo de los píxeles hasta el último electrodo (sumidero) donde se mide cada bloque de carga. La posición original del píxel cuya carga se mide en el sumidero es función directa del tiempo en el que se aplicó el pulso de voltaje.

### 2.3.1.1 Matriz lineal con lectura bilineal.

**FIGURA 5. PRINCIPIO DE LA MATRIZ LINEAL CON LECTURA BILINEAL.**



La carga acumulada se transfiere durante un pulso de píxel desde los sensores o detectores activos hasta los registros por desplazamientos adyacentes, desde donde se leen y transfieren secuencialmente. Fuente: *Digital Photogrammetry* de Tony Shenk

Como se muestra en la Fig. 5., una matriz lineal (registro CCD por desplazamiento) se coloca a ambos lados de la línea de los sensores. Deben revertirse las dos matrices CCD ya que ambas son sensibles a la luz. Después de la suma de la carga acumulada en los sensores activos se transfiere a los dos registros por desplazamiento en cada impulso del reloj. El registro se realiza en serie. Si el tiempo de registro es igual al tiempo de acumulación, entonces el sensor puede trabajar continuamente sin obturador. Este principio, conocido como *push broom*, se utiliza en las cámaras lineales montadas sobre plataformas móviles para proporcionar recubrimiento estereoscópico continuo en el espacio del objeto.

### 2.3.1.2 Transferidor matricial.

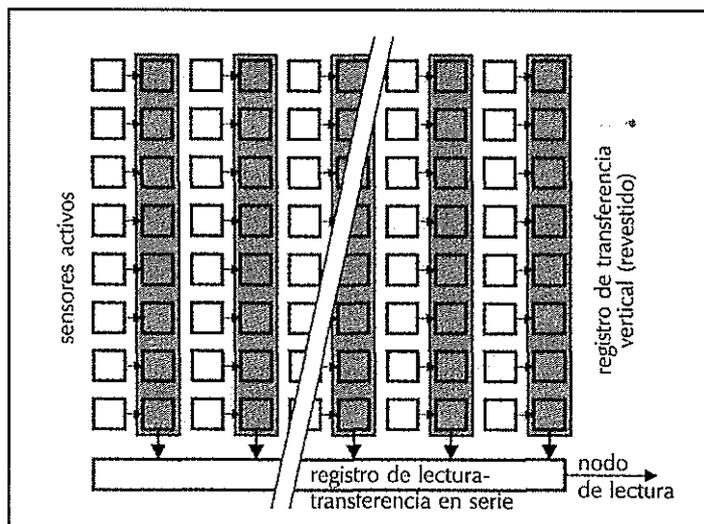
Puede visualizarse un transferidor de imágenes de este tipo como la unión de dos matrices idénticas. La matriz activa acumula la carga durante el tiempo de acumulación. Dicha carga es transferida a la matriz de almacenamiento, que debe estar protegida ya que es sensible a la luz.

Durante la transferencia, la carga sigue acumulándose en la matriz activa, lo que origina una imagen ligeramente difusa.

La matriz de almacenamiento tiene una salida, línea a línea. El tiempo necesario para el registro en la matriz de almacenamiento excede el de acumulación. Por tanto, esta arquitectura necesita de un obturador mecánico que presenta la ventaja de eliminar el efecto difuso o borroso.

### 2.3.1.3 Transferidor interlineal.

FIGURA 6. PRINCIPIO DE LA MATRIZ LINEAL CON LECTURA BILINEAL.



*La carga acumulada se transfiere durante un pulso de píxel desde los sensores o detectores activos hasta los registros por desplazamientos adyacentes, desde donde se leen y transfieren secuencialmente. Fuente: Digital Photogrametry de Tony Shenk*

La Fig. 6. ilustra el concepto de transferidor interlineal. Las columnas de los sensores activos (píxeles) están separadas por registros verticales de transferencia. La carga acumulada en el píxel se transfiere de una sola vez y se lleva hacia la salida serie. No se necesitará obturador siempre que el tiempo de registro no supere el de acumulación. Los sensores o detectores CCD de los registros de transferencia deben revertirse ya que son sensibles a la irradiancia, lo que reduce la

irradiancia efectiva sobre el área del chip. La irradiancia efectiva suele denominarse *factor de carga*. El transferidor interlineal descrito tiene un factor de carga del 50%, por lo que se necesita un largo tiempo de acumulación para capturar la imagen. Puede usarse microlentes para incrementar el citado factor de carga. Delante de cada píxel hay una lente que dirige la luz incidente sobre el área definida por los píxeles activos adyacentes a él.

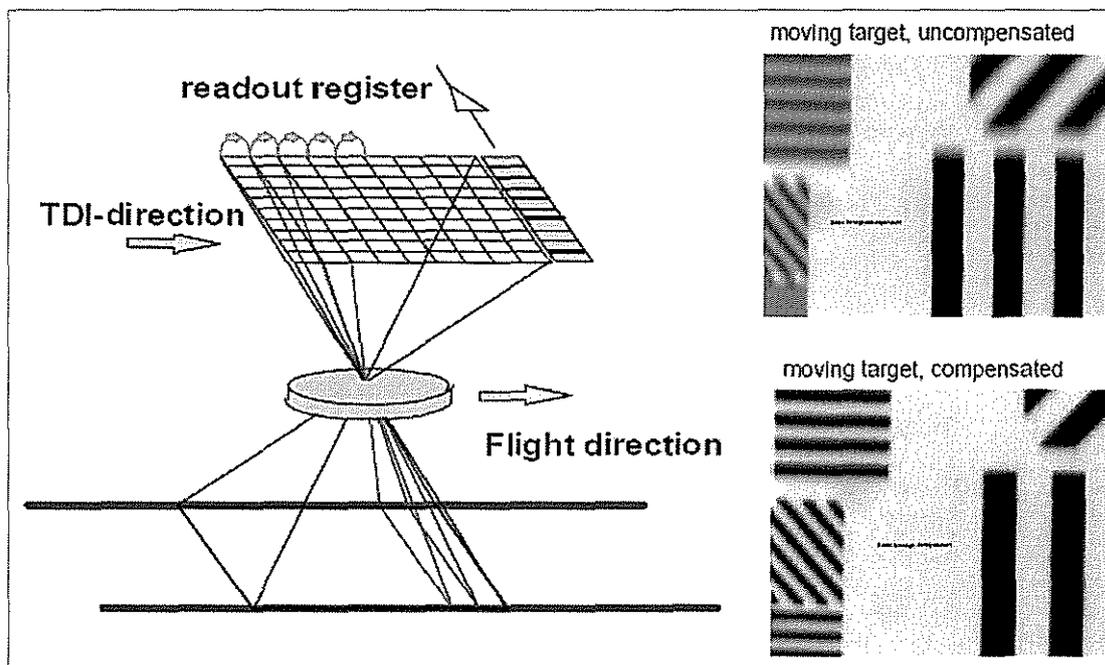
## **2.4 Transferidor de acumulación retardada (TDI)**

El transferidor de acumulación retardada tiene una arquitectura del sensor muy interesante, que recuerda bastante lo que en fotogrametría se conoce como compensación de movimiento de imagen (FMC) para las cámaras aéreas.

Supóngase que el objeto o la cámara se mueven a velocidad constante, ello produce una imagen borrosa o movida a lo largo de la trayectoria. La idea del transferidor TDI es subdividir el tiempo de acumulación en  $n$  intervalos y transferir la carga acumulada en cada uno de ellos a la siguiente columna de píxeles donde la carga continua acumulándose durante el siguiente intervalo. Conceptualmente el principio se corresponde con el del movimiento de la película una cantidad proporcional a la distancia que se ha desplazado el objeto durante el tiempo de exposición.

En la figura 7. se puede observar la diferencia entre una imagen obtenida por compensación de movimiento y otra sin compensación de movimiento.

**FIGURA 7. SISTEMA DE TRANSFERIDOR DE IMAGEN RETARDADA.**



Fuente: Leica Geosystems

## 2.5 Principales propiedades.

### 2.5.1 Ruido.

Desgraciadamente no todos los electrones que se miden en el sumidero se generan por el flujo radiante incidente. El sensor, incluyendo los componentes electrónicos, también produce electrones, a los que en conjunto se denomina ruido. Se puede determinar la componente sistemática del ruido, por ejemplo, midiendo la matriz sin exponerla y a continuación eliminando este valor de la señal como un error sistemático. Sin embargo el ruido aleatorio permanece y corrompe la señal.

Este ruido aleatorio proviene de diferentes fuentes. Debido a la naturaleza discreta de la radiación electromagnética, el flujo incidente en el sensor CCD tiene una componente aleatoria (ruido de la radiación). La generación de electrones producida por los fotones (fotoelectrones) en el detector también es un proceso aleatorio. El movimiento térmico de las

partículas cargadas y las fluctuaciones de las corrientes térmicas en el sensor y otros componentes electrónicos del sensor CCD producen la llamada *corriente de oscuridad*. La temperatura afecta enormemente a dicha corriente. De hecho, ésta se duplica por cada incremento de 8° C de temperatura. La corriente de oscuridad varía dentro de una desviación típica igual a su raíz cuadrada. El ruido relacionado con la corriente oscura se expresa en número de electrones.

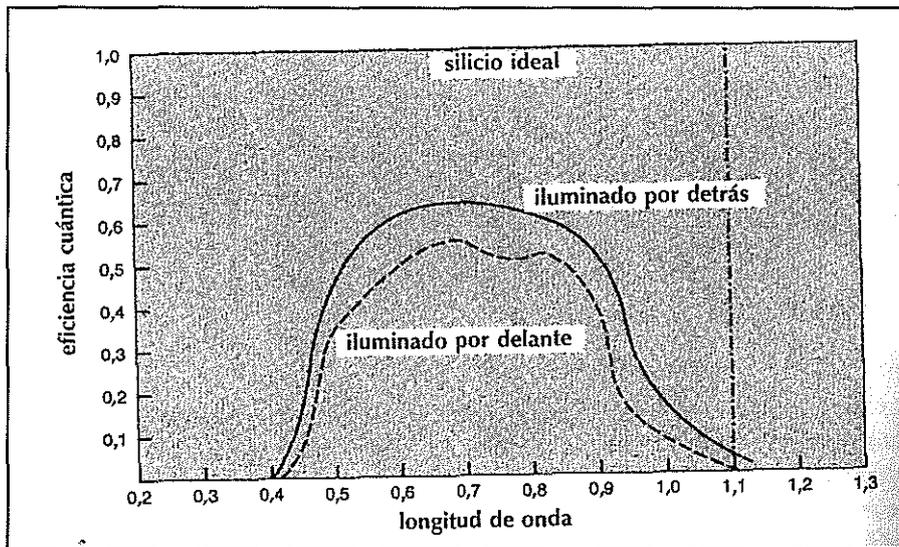
La cantidad total de electrones causados por el ruido depende de varios factores. Por ejemplo, la corriente de oscuridad depende fuertemente de la temperatura y el tiempo de acumulación. Por otro lado la frecuencia del reloj (frecuencia de lectura-registro) afecta al nivel de ruido de la salida electrónica y la minúscula carga transferida al nodo sensible debe ser ampliada fuertemente para que pueda ser medida.

### ***2.5.2 Respuesta espectral.***

El silicio es el material semiconductor que se utiliza de modo más frecuente. En un detector de silicio ideal, cada fotón que supera la banda vacía ( $\lambda < 1,1 \text{ um.}$ ) produce un fotoelectrón que se captura y mide. La eficiencia cuántica es la unidad y la respuesta espectral se representa por una función escalón (diente de sierra), Como se indica en la Fig. 8. la eficiencia cuántica de un sensor CCD real es inferior a la unidad por varias razones. En primer lugar, no todo el flujo incidente interactúa con el detector (por ejemplo, el reflejado por el electrodo que está enfrente de los sensores iluminados). Además pares electrón-hueco se recombinan. Los fotones con longitudes de onda más largas penetran en la región sin carga y generan pares electrón-hueco en el interior del silicio. Aquí la probabilidad de recombinarse es mayor y muy pocos electrones son atraídos por el condensador. La pérdida de respuesta espectral hacia el

azul y el ultravioleta (UV) depende también del material del electrodo que puede volverse opaco para  $\lambda < 0,4 \mu\text{m}$ .

FIGURA 8. RESPUESTA ESPECTRAL DE LOS SENSORES CCD.



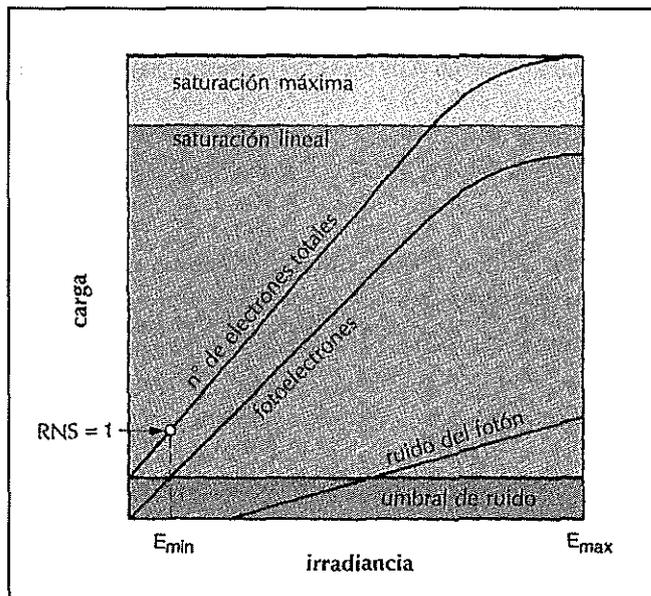
*En un sensor ideal de silicio todos los fotones que sobrepasan la banda energética vacía generan electrones. Los sensores iluminados por delante tienen una eficiencia cuántica menor que los iluminados por detrás, porque parte del flujo incidente puede ser absorbido o reflejado (redireccionado) por los electrodos. Fuente: Digital Photogrametry de Tony Shenk*

Los sensores que se iluminan por detrás evitan los problemas de difracción y de reflexión causados por el electrodo. Por tanto, tienen una eficiencia cuántica mayor que los iluminados por delante. Sin embargo, el detector debe ser más delgado, porque los fotones con alta energía son absorbidos cerca de la superficie -al lado opuesto de la región sin carga- y las oportunidades de recombinación electrón-hueco son inferiores con una longitud de difusión menor.

Para conseguir un detector sensible a otras zonas o bandas del espectro (principalmente infrarrojo) ha de seleccionarse un material detector con la correspondiente banda vacía de energía. Esto lleva a matrices CCD híbridas donde el semiconductor y el mecanismo CCD son de componentes separados.

### 2.5.3 Rango dinámico y linealidad.

FIGURA 9. RELACIÓN ENTRE LA IRRADIANCIA Y LA CARGA ACUMULADA EN UN PÍXEL.



Fuente: Digital Photogrametry de Tony Shenk

La Fig. 9. muestra la relación funcional entre la irradiancia y la carga acumulada en el píxel. El umbral de ruido se refiere al generado aleatoriamente por los electrones, por ejemplo el debido a la corriente de oscuridad. Los fotoelectrones que son generados por el flujo incidente constituyen la señal y lo que se mide realmente es la señal superpuesta al ruido. Cuando la irradiancia aumenta, se generan más fotoelectrones (y también más electrones debido al ruido) hasta que la cantidad total de electrones alcanza el nivel de saturación del sensor. Si la irradiancia está por encima de  $E_{max}$ . (*energía máxima*), los electrones generados se desbordan a los condensadores próximos, produciendo un fenómeno llamado *hiperluminosidad (sobreexposición)*.

La respuesta del sensor es lineal para un gran rango de valores de la irradiancia. Los fabricantes de sensores especifican la linealidad y el valor de máxima saturación en número de electrones. El valor  $E_{min}$ .

(*energía mínima*), de la Fig.9, es la cantidad de irradiancia mínima necesaria para producir señal de la misma magnitud que el ruido (Relación Señal Ruido, RNS = 1). El valor de máxima saturación depende del tamaño efectivo del píxel y de la arquitectura del sensor. Los valores de saturación se sitúan entre los 10 000 y los 500 000 electrones, con un valor representativo de 50 000 para los sensores usados en aplicaciones fotogramétricas.

### **CAPITULO III: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD**

La investigación de factibilidad en un proyecto consiste en descubrir cuales son los objetivos de la organización, luego determinar si el proyecto es útil para que la empresa logre sus objetivos.

La búsqueda de estos objetivos debe contemplar los recursos disponibles o aquellos que la empresa puede proporcionar, nunca deben definirse con recursos que la empresa no es capaz de dar.

En las empresas se cuenta con una serie de objetivos que determinan la posibilidad de factibilidad de un proyecto sin ser limitativos.

Factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados, la factibilidad se apoya en 3 aspectos básicos:

- Operativo.
- Técnico.
- Económico.

El éxito de un proyecto esta determinado por el grado de factibilidad que se presente en cada una de los tres aspectos anteriores.

Sirve para recopilar datos relevantes sobre el desarrollo de un proyecto y en base a ello tomar la mejor decisión, si procede su estudio, desarrollo o implementación.

El presente análisis, comienza con la comparación entre las cámaras analógicas utilizadas tradicionalmente y las digitales, motivo de este trabajo. Este capítulo pone de manifiesto los parecidos y diferencias en cuanto a esquema funcional, operatividad y prestaciones. Sin embargo, para comparar con igualdad hay que considerar la película y el proceso fotográfico unido a la cámara. Desde dicho punto de vista se podría comparar realmente el proceso completo de adquisición de datos. Para aplicaciones aéreas, han de incluirse además la plataforma (por ej.

vibraciones, desplazamientos) y al atmósfera (por ej. neblina, turbulencias) así como otros factores adicionales que influyen en el rendimiento total.

### 3.1 ANÁLISIS TÉCNICO.

Una hipótesis fundamental en fotogrametría es que la captura o adquisición de datos se lleva a cabo con cámaras cuyas propiedades métricas permanecen constantes dentro de un amplio margen de condiciones operativas (temperatura, presión, humedad). Entre las características métricas hay que enumerar la posición del punto principal (centro de proyección) distancia focal calibrada, distorsión radial y tangencial, posición de las marcas fiduciales, planeidad del plano focal y poder separador de las lentes. Por tanto las cámaras métricas son las que en su posición relativa: del conjunto de lentes, el eje óptico, y el plano focal con las marcas fiduciales – conjuntamente denominado orientación interna o interior- permanece constante durante el periodo comprendido entre dos calibraciones. Así tenemos el cuadro **A** que muestra la comparación entre una cámara fotogramétrica analógica y una digital.

**CUADRO A. COMPARACIÓN ENTRE CÁMARAS FOTOGAMÉTRICAS ANALÓGICAS (PELÍCULA) Y DIGITALES (CCD)**

	<b>Cámara analógica</b>	<b>Cámara digital.</b>	<b>Observaciones</b>
Distancias focales	Conos disponibles: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 88.9 mm.</li> <li>• 152.4 mm.</li> <li>• 209.55 mm.</li> <li>• 304.8 mm.</li> </ul>	Matrices cuadradas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 17.526 mm.</li> <li>• 50 a 80 mm.</li> </ul>	
Formato	23 x 23 cm.	< a 6.4 x 6.4 cm.	
Ángulo de campo	60° a 125°	60° a 125°	
Material fotosensible	Emulsión con haluros de plata	Sensor CCD	
Compensación de movimiento de imagen (FMC)	Mecánico y/o óptico;	CCDs con arquitectura TDI	el efecto de los movimientos angulares se reduce con estabilizadores

			de plataformas
Exposición	Los fotones liberan e <sup>-</sup> que se combinan con Ag <sup>+</sup> para formar granos de plata metálica en el cristal (imagen latente)	Los fotones generan pares electrón/hueco, los e <sup>-</sup> se acumulan en el condensador (lugar del píxel)	
Imagen real	Se obtiene a través de la imagen latente en el proceso fotográfico como negativo y positivo.	Se obtiene mediante la transferencia de carga al modo de lectura donde se mide, amplifica y transmite.	
Resolución espectral	Se añaden filtros ópticos o sustancias químicas para extender la sensibilidad normal UV hasta el IR próximo. Son necesarias diferentes emulsiones para diferentes rangos espectrales.	El silicio es intrínsecamente sensible a todos los fotones cuya $\lambda < 1,1 \mu\text{m}$ .	
Rango dinámico (resolución radiométrica)	6 bits para b/n	10 – 12 bits	
Resolución (poder separador)	Objetivo: AWAR > 100 lp/mm Película: > 100 lp/mm	Objetivo: AWAR > 100 lp/mm CCD: un píxel de tamaño de 15 $\mu\text{m}$ . produce una resolución de entre 30-40 lp/mm.	El desplazamiento de la imagen y la atmósfera limitan los factores del poder separador del sistema (50 a 60 lp/mm.)
Ventajas	Tecnología demostrada y verificada. Gran poder separador para ángulos de campo grandes. La película es un medio de almacenamiento masivo y económico.	Gama amplia o extensa de sensibilidad espectral. Rango dinámico elevado. Disposición inmediata de imágenes digitales. La retroalimentación generada por el procesamiento en tiempo real incrementa la flexibilidad en la adquisición y captura de datos.	
Desventajas	Tiempo de proceso fotográfico alto. Sólo se dispone de la imagen en soporte material o copia impresa (hard copy)	Los sensores de alta resolución son caros y todavía inferiores a la película. Los tiempos de lectura y transferencia son largos para los sensores de alta resolución. Las velocidades de transferencia de datos son altas y se necesita una capacidad de almacenamiento de memoria enorme.	

Fuente: Digital Photogrametry de Tony Shenk  
Elaborado por: Ing. Dennys Mosquera L.

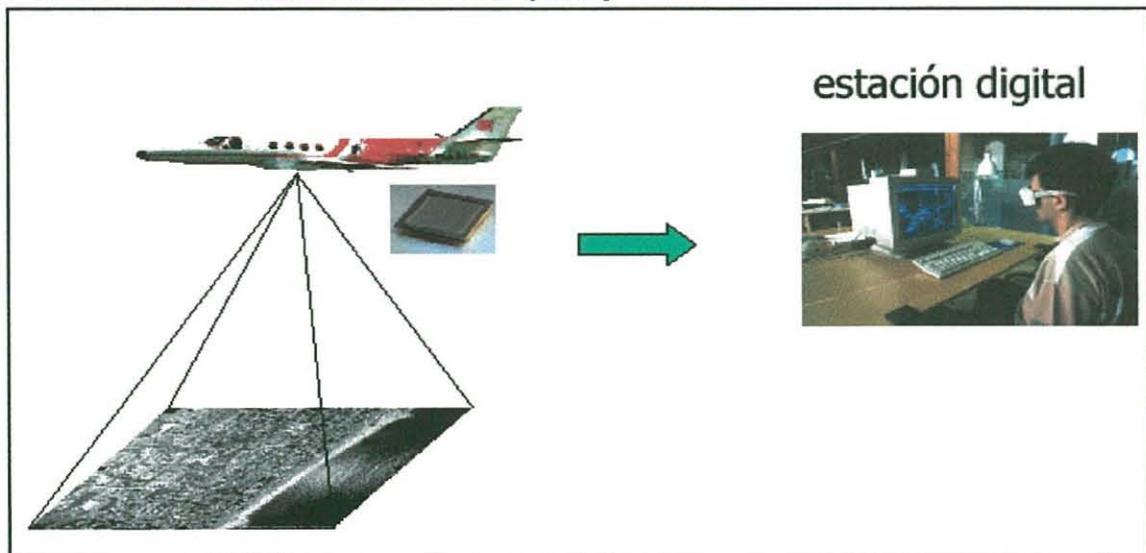
En las figuras 10. y 11., técnicamente se puede demostrar a través de la comparación de los flujos de producción de las cámaras analógicas y digitales, que existe un aumento de la calidad en las fotografías digitales ya que existe una menor manipulación de las mismas. Otra variable que posibilita un aumento de la calidad es la mejor respuesta a la luz incidente de las imágenes digitales, que se conoce como *calidad radiométrica*. La resolución radiométrica alcanza los 10 e incluso hasta 12 bits.

**FIGURA 10. FLUJO DE PRODUCCIÓN DE LAS CÁMARAS FOTOGAMÉTRICAS ANALÓGICAS (PELÍCULA).**



Elaborado por: Ing. Dennys Mosquera L.

**FIGURA 11. FLUJO DE PRODUCCIÓN DE LAS CÁMARAS FOTOGAMÉTRICAS DIGITALES (CCD)**



### 3.2 ANÁLISIS ECONÓMICO.

Dentro del análisis económico, se puede determinar que el principal ahorro se produce al disminuir el flujo de trabajo con película, tanto en campo como en gabinete (laboratorio) y por lo tanto obteniendo más días aprovechables para el vuelo.

En la Fig. 12. se puede visualizar los procesos que desaparecerían en un proceso totalmente digital, entre estos en fotografía aérea tenemos los siguientes:

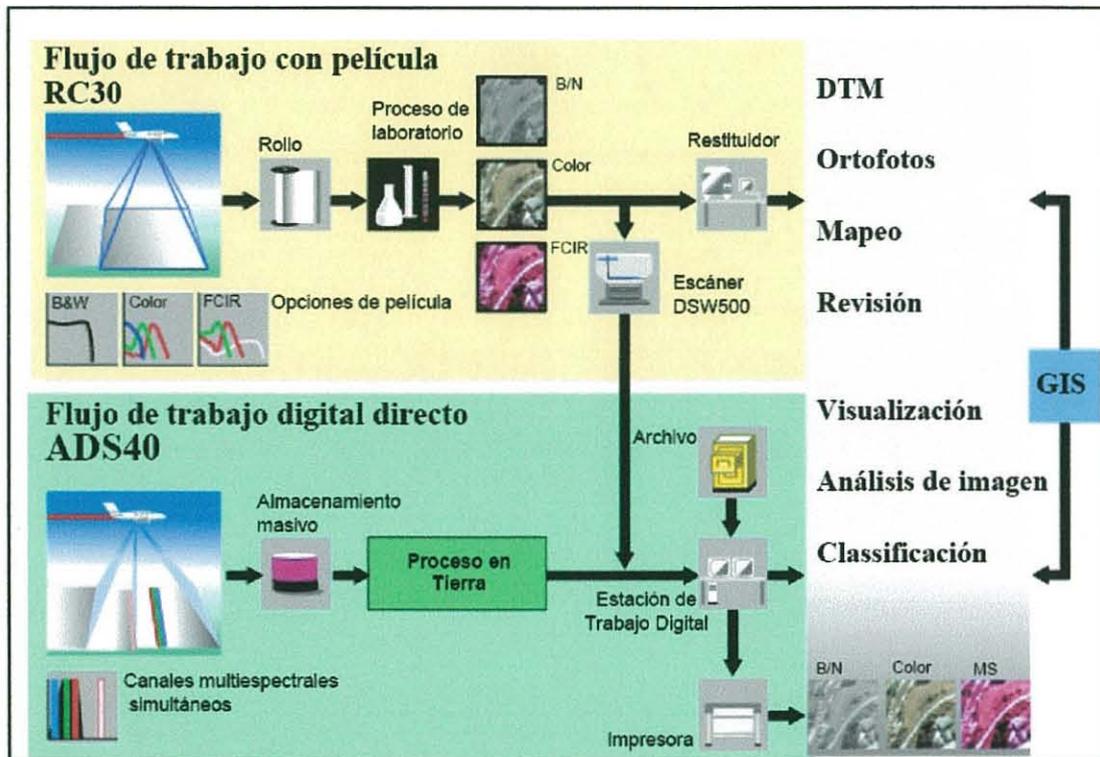
- Proceso de revelado fijado y secado de película en laboratorio
- Proceso de revelado, fijado y secado en la obtención de contactos en laboratorio.
- Proceso escaneo.

Al no existir la necesidad de película, las imágenes blanco y negro, color e infrarrojo pueden utilizarse en los procesos de producción inmediatamente después del vuelo.

El incremento de posibles horas de vuelo permite la finalización de los trabajos en menos días, e incluso el control de calidad de las imágenes se puede realizar durante la fase de vuelo.

Por otro lado, no es fácil realizar un análisis económico, refiriéndose al tema de los precios de las cámaras aéreas digitales fotogramétricas de gran formato.

**FIGURA 12. FLUJO DE TRABAJO CON PELÍCULA RC30 VS. FLUJO DE TRABAJO ADS40.**



Fuente: Leica Geosystems

Para empezar habría que diferenciar entre el precio del sensor y todos los demás sistemas auxiliares que actualmente son necesarios para tener un sistema completo, incluyendo software y formación. Podríamos diferenciar más adelante en el análisis operativo, entre el sensor y los sistemas auxiliares, sin embargo si nos referimos únicamente al sensor los precios aproximados podrían ser:

- UltraCamD Vexcel: 600.000 - 800.000 USD.
- UltraCam-X Vexcel: 900.000 – 1.000.000 USD.
- DMC Z/I: 900.000 – 1.000.000 USD.
- ADS40 Leica: > 1.200.000 USD.

Todos estos precios son totalmente estimativos y podrían variar bastante dependiendo de la nueva tecnología, la estrategia comercial de cada fabricante, de los pedidos que tengan, etc.

**FIGURA 13. CÁMARAS FOTOGRAMÉTRICAS AEROTRANSPORTADAS.**



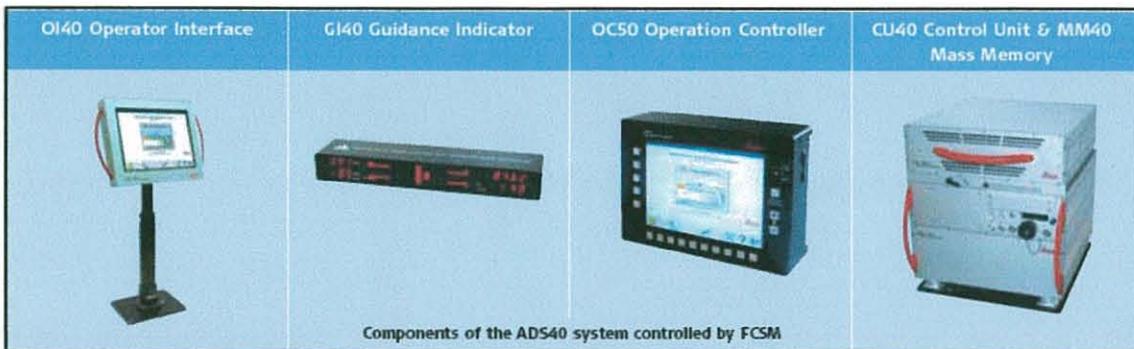
Fuente: Leica Geosystems

Sin duda son la mayor inversión en equipamiento en el campo de la geomática (al margen de los sistemas satelitales), si se tienen en cuenta los sistemas auxiliares, las inversiones pueden llegar al millón y medio de dólares, eso sin tener en cuenta que los equipos van aerotransportados con el coste adicional que ello conlleva.

### 3.3 ANÁLISIS OPERATIVO.

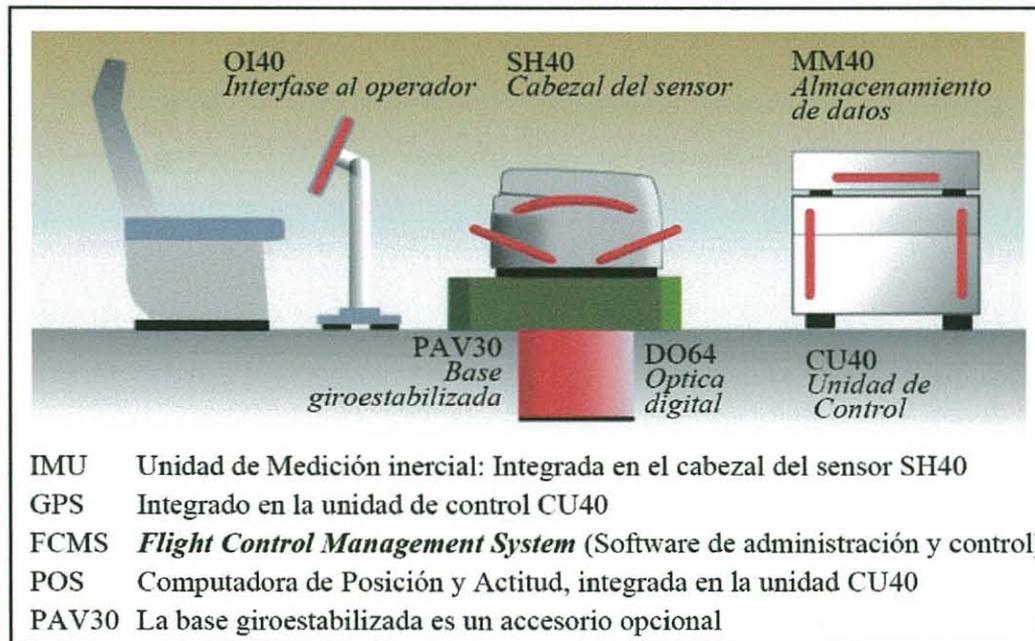
Para la obtención del producto final, es decir una fotografía aérea digital del terreno son necesarios los siguientes elementos que forman el SCAD.

**FIGURA 14. COMPONENTES DEL SISTEMA DE CÁMARA AÉREA DIGITAL (ADS40)**



Fuente: Leica Geosystems

**FIGURA 15. ESQUEMA OPERATIVO DE UN SISTEMA DE CÁMARA AÉREA DIGITAL (ADS40)**



Fuente: Leica Geosystems

**Descripción:**

- **Unidad del Sensor:**

Se denomina así al conjunto de elementos más o menos complejos que conforman el sistema formador de imágenes, el cual incluirá como mínimo los sistemas ópticos que recogen la luz y los sistemas electrónicos Coupled Charge Device (CCD),

Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) que se encargan de transformar los fotones luminosos en señales electrónicas.

- **Unidad de Control:**

Conjunto de componentes físicos y lógicos que permiten el manejo de la Unidad del Sensor, así como la conexión y sincronización con la Unidad de Almacenamiento. Además se deberá integrar con el resto de sistemas que conforman el SCAD.

- **Unidad de Almacenamiento en Vuelo:**

Conjunto de componentes físicos y lógicos que permiten el almacenamiento y gestión de la información capturada.

Adicionalmente se deberán proveer los siguientes sistemas como integrantes del SCAD:

- Una plataforma giro-estabilizadora.<sup>3</sup>
- Un anillo adaptador, si el sistema ofrecido lo requiere.
- Un sistema inercial de navegación. Tanto hardware como software para el manejo y post-proceso
- Un sistema de almacenamiento en tierra para el post-proceso, visualización, archivo, catalogación y gestión de proyectos. Tanto el software como el hardware necesarios.
- Un sistema que impida la condensación que pueda afectar cualquiera de los elementos del SADC.

En la parte operativa un SADC presenta las siguientes características:

---

<sup>3</sup>Actualmente el IGM cuenta con una base giro-estabilizadora PAV30, como componente del sistema RC-30.

- Amplia cobertura de zonas para la generación de Ortofotos y Ortofotos verdaderas (True-Ortho) para color, infrarrojo-color y pancromático.
- Resultados muy fiables de igual resolución para teledetección, imágenes perfectamente corregistradas de 5 bandas mediante el separador de bandas patentado Tetrachoid.
- Visualización de imágenes estereoscópicas pancromáticas y de color y además, visualización de imágenes estereoscópicas en infrarrojo-color.
- Mejor visualización estereoscópica debido a la estereoscopía continua y al ángulo de visión de imágenes de igual resolución.
- Imágenes geométricas, radiométricas y equilibradas a color de alta calidad.
- Color sin distorsión inducido por la colorización pancromática (pan-sharpening).
- Productos a color sin flecos debido al mismo ángulo de visualización.
- Cuatro veces más sensibilidad comparada con los sensores de 1ª generación.
- Georeferenciación directa con los sistemas GPS e IMU integrados de Leica.
- Funciona sin necesidad puntos de control terrestre o estaciones de referencia GPS, dependiendo de las necesidades de precisión de la misión.
- El nuevo software de planificación y evaluación del vuelo tiene en cuenta los modelos digitales de terreno (MDT).
- Sistema de gestión de control de vuelo altamente automatizado.
- Corrección automática de la deriva con el IMU y la plataforma giro-estabilizada PAV30.
- Ajuste automático del tiempo de integración del CCD (tiempo de exposición).

Debido a las diversas marcas de sensores aéreos digitales existentes en el mercado y en base a la situación actual del IGM en lo que se refiere a equipamiento, software y capacitación se considera al sensor ADS40 de Leica como el Sistema de cámara aérea digital compatible con nuestras necesidades.

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE MERCADO.**

El análisis mercado trata de determinar el espacio que ocupa un bien o un servicio en un mercado específico. Por espacio se entiende a la necesidad que tienen los usuarios actuales y potenciales de un producto en un área delimitada. También identifican las empresas productoras y las condiciones en que se está suministrando el bien; igualmente el régimen de formación del precio y de la manera como llega el producto de la empresa productora a los consumidores y usuarios.

El estudio de mercado está compuesto por bloques, buscando identificar y cuantificar, a los participantes y los factores que influyen en su comportamiento.

El estudio de mercado busca probar que existe un número suficiente de usuarios, empresas y otros entes que presentan una demanda que justifican la inversión en una nueva tecnología.

Para fines prácticos están estructurados en bloques que buscan analizar el comportamiento pasado y proyectar el futuro de los agentes participantes en él.

### **4.1 El producto.**

Imagen aérea digital obtenida a través de un sensor aéreo digital  
En el cuadro B. Se presenta las características de las imágenes:

**CUADRO B. PRODUCTOS OBTENIDOS CON CÁMARAS FOTOGRAMÉTRICAS ANALÓGICAS (PELÍCULA) Y DIGITALES (CCD)**

CARACTERÍSTICAS	CÁMARAS ANALÓGICAS		CÁMARAS DIGITALES		
	RC30 LEICA	RMK ZI	UltraCam-D VEXCEL	DMC ZI-Imaging	ADS40 LEICA
Distancia focal (mm)	152.00		101.4	120.00	62.50
Tamaño del píxel (um)	14		9	12	6.5
# de píxeles transversales	13800		11500	13824	12000
# de píxeles longitudinales	13800		7500	7680	12000

Elaborado por: Ing. Dennys Mosquera L.

**4.1.1 Producto principal.**

**FIGURA 16. IMÁGEN DIGITAL OBTENIDA CON SENSOR ADS40. COLOR, PANCROMÁTICO (B/N) E INFRAROJO.**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional de España

Lo que se obtiene a través de un SACD es una imagen cuya captación, procesamiento y resultado se realiza de manera digital y automatizada, lo que la convierte en un producto rápido de obtener, sin errores de interpretación y con un precio de mercado muy competitivo. El resultado final generado es una Ortoimagen verdadera rectificada en todos sus puntos, a partir del Modelo Digital de Superficies, y con resoluciones geométricas que llegan hasta los 15 cm., lo que posibilita un tratamiento cartográfico completo de todos los elementos que la componen.

De esta forma es posible realizar mediciones en edificaciones, masas de árboles u otros elementos posicionados sobre el terreno, cuyas dimensiones no podían ser medidas en la fotografía convencional ya que tan solo era rectificado el terreno propiamente dicho.

**FIGURA 17. IMÁGEN DIGITAL PANCROMÁTICA.**



*Fuente: IGN de España.*

Para obtener la proyección ortogonal sobre toda la imagen es imprescindible disponer de un Modelo Digital del Terreno que represente todos los elementos, naturales y artificiales existentes sobre el terreno. La tecnología presentada resuelve este problema, mediante la generación del denominado Modelo Digital de Superficie (MDS), mostrado en la figura x cuya información, además de posibilitar la obtención de la ortoimagen, es una fuente segura de potenciales análisis.

#### **4.1.2 Subproductos.**

Los subproductos que utilizan a la fotografía aérea como materia prima son los siguientes:

**MDT:** Es una representación digital del relieve del terreno, que describe la geometría de la superficie de la tierra. Como tal consiste en un conjunto de coordenadas y de algún logaritmo de

interpolación. Las coordenadas de los puntos se obtienen mediante el muestreo de la superficie y su medición.

**Ortofoto:** Una foto, ya sea fotografía o imagen digital, con la misma geometría de un mapa.

**Mapa:** Una imagen aceptada por convención que representa rasgos seleccionados de la realidad geográfica.

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica. Un sistema para transformar datos espaciales del mundo real en información geográfica, de tal manera que esta información pueda usarse como insumos para un proceso de toma de decisiones que concierne al desarrollo sostenible.

#### **4.1.3 Productos sustitutos.**

Se puede considerar como productos sustitutos de las imágenes digitales obtenidas a través de una cámara aérea digital, las imágenes que se obtienen por medio de la recepción de sensores remotos satelitales, conocidas comúnmente como imágenes satelitales.

La diferencia con estos productos se ve reflejada en su precio y aplicabilidad al poseer una distinta resolución (espacial, espectral, radiométrica y temporal).

En el cuadro C., se presenta los principales sensores satelitales que actualmente existen en el mercado con sus respectivas resoluciones y en la Fig. 18, se presenta los distintos segmentos de aplicación como son: recursos naturales, forestación, topografía, defensa, catastro, medio ambiente y agricultura.

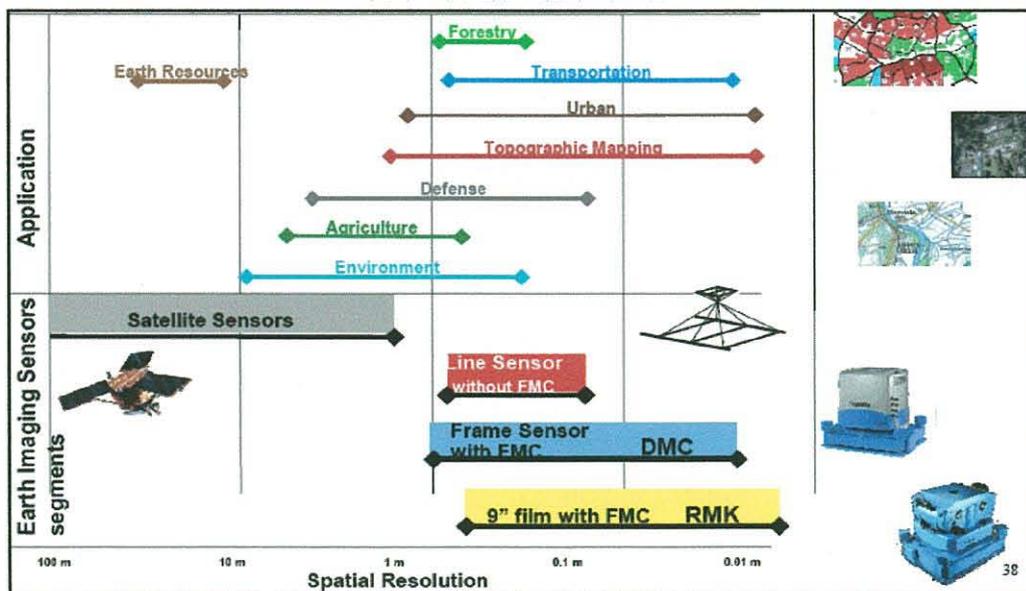
**CUADRO C. RESOLUCIÓN ESPACIAL Y ESPECTRAL DE LOS SENSORES SATELITALES.**

<b>SENSOR</b>	<b>RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)</b>	<b>RESOLUCIÓN ESPECTRAL</b>
Quick-bird	0,7	4 VIS/NIR
SPOT-5	2,5	4 VIS/NIR/MIR
TK-350	8	2 VIS/NIR
Landsat-7	15	7 VIS/NIR/MIR/TIR
RADARSAT	25	-
ENVISAT/MERIS	300	15 VIS/NIR
NOAA	1000	4 VIS/NIR/MIR

Elaborado por: Ing. Dennys Mosquera L.  
Fuente: Instituto Cartográfico de Cataluña

Si los sensores emiten su propia fuente de iluminación se considera como productos suplementarios las imágenes lidar, obtenidas por emisión de láser y las imágenes radar, obtenidas por la emisión de ondas de radio. Estos productos tiene la ventaja de no verse afectados por las condiciones de atmosféricas y de iluminación.

**FIGURA 18. APLICACIONES Y DIFERENTES SEGMENTOS CUBIERTOS POR LOS SENSORES REMOTOS.**

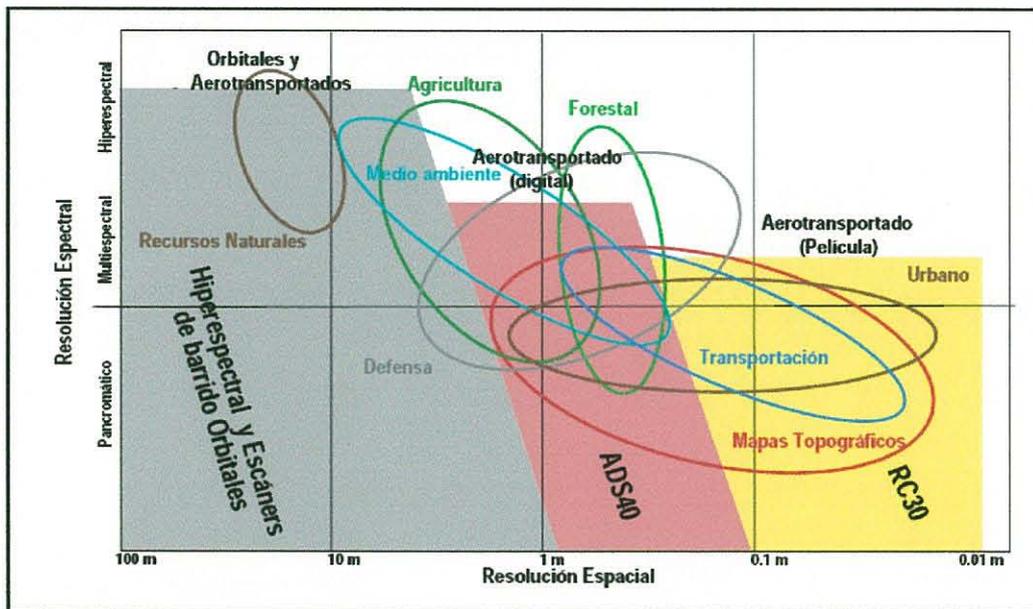


Fuente: Leica Geosystems

#### 4.1.4 Productos complementarios.

El uso o consumo del producto no está condicionado por la disponibilidad de otros bienes y servicios, por lo que la tecnología complementaria y sus relaciones con el producto, no son necesarias incluirlas en el estudio de mercado ya que su aplicación es muy diversa y variada.

**FIGURA 19. SEGMENTOS CUBIERTOS POR LOS SENSORES REMOTOS, SEGÚN SU RESOLUCIÓN ESPACIAL Y ESPECTRAL**



Fuente: Leica Geosystems

## 4.2 Demanda del producto.

### 4.2.1 Situación actual de la demanda.

En la actualidad el IGM, produce un promedio de 700 imágenes digitales mensuales, obtenidas mediante escaneo fotogramétrico a 14  $\mu$ m. De las 700 imágenes obtenidas un 60% son fotografías actuales a color y un 40% fotografía antigua blanco y negro.

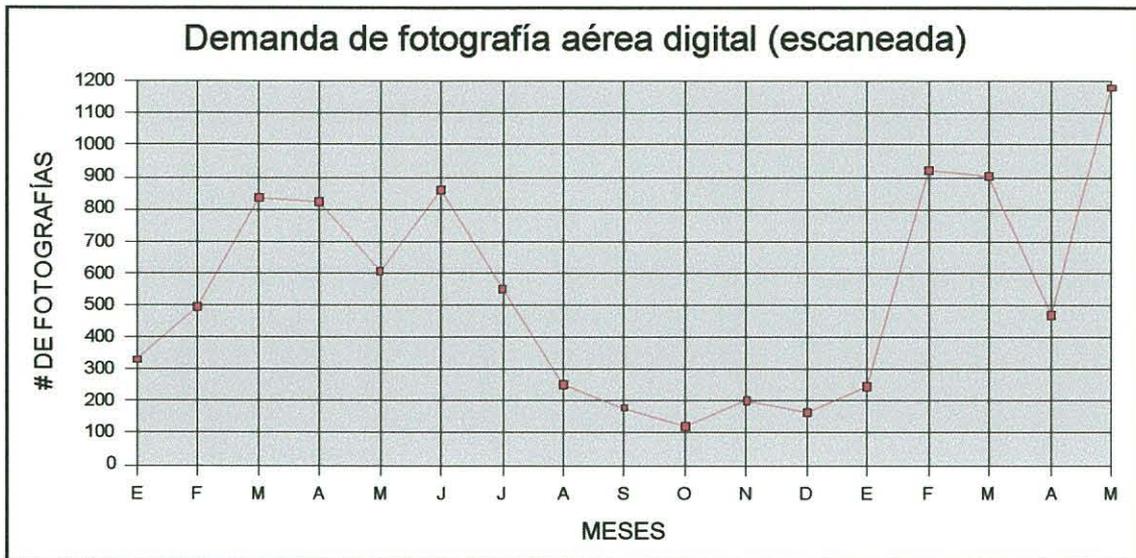
En el cuadro D., se puede observar datos de la demanda de fotografía aérea digital desde el enero del 2006 hasta la fecha (mayo 2006). En el diagrama I indica el crecimiento de la demanda en los tres últimos semestres.

**CUADRO D. DEMANDA DE FOTOGRAFÍA AÉREA CONVENCIONAL.**

<b>AÑO 2006</b>	<b># AEROFOTOS</b>
<b>MESES</b>	<b>5515</b>
ENERO	330
FEBRERO	496
MARZO	833
ABRIL	824
MAYO	606
JUNIO	962
JULIO	550
AGOSTO	250
SEPTIEMBRE	180
OCTUBRE	120
NOVIEMBRE	200
DICIEMBRE	164
<b>AÑO 2007</b>	<b>3721</b>
ENERO	247
FEBRERO	923
MARZO	903
ABRIL	468
MAYO	1180

Fuente: Instituto Geográfico Militar.  
 Elaborado por: Ing. Dennys Mosquera L.

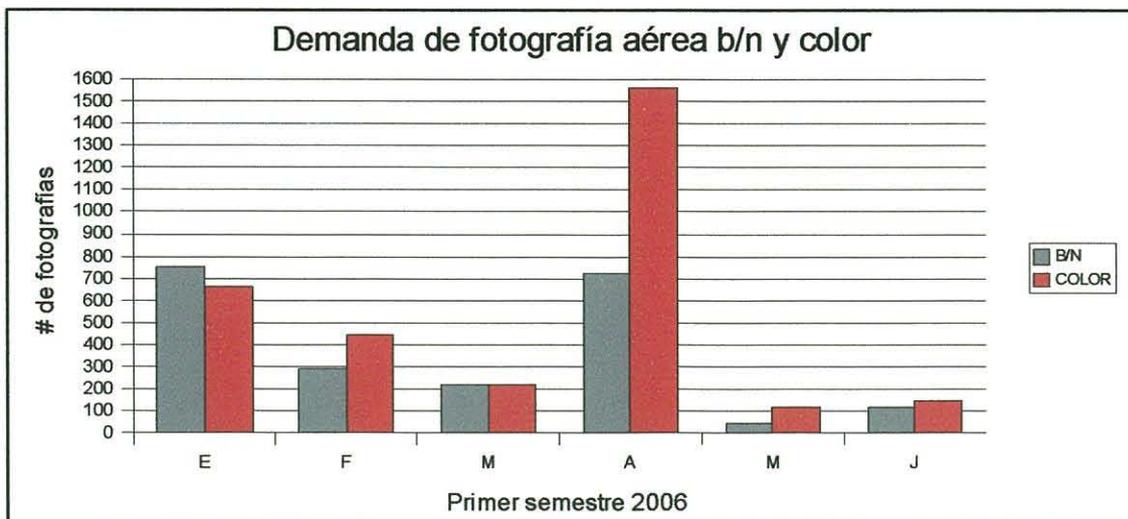
**DIAGRAMA I. DEMANDA DE FOTOGRAFÍA AÉREA DIGITAL (ESCAÑEADA)**



Fuente: Instituto Geográfico Militar.  
Elaborado por: Ing. Dennys Mosquera L.

En cuanto a la fotografía analógica, el Instituto Geográfico Militar produce un aproximado de 10000 aerofotos al año entre fotografías a color y blanco y negro. Ver diagrama II.

**DIAGRAMA II. DEMANDA DE FOTOGRAFÍA AÉREA DIGITAL B/N Y COLOR**



Fuente: Instituto Geográfico Militar.  
Elaborado por: Ing. Dennys Mosquera L.

#### **4.2.2 Factores de la demanda.**

Al ser la fotografía aérea un producto “sui generis”, es necesario aclarar que existen temporadas de alta demanda y temporadas de baja demanda, que generalmente está relacionada con los siguientes factores:

- Disponibilidad de la aeronave.
- Disponibilidad de los pilotos.
- Condiciones atmosféricas y climáticas.
- Proyectos vigentes.

#### **4.2.3 Situación futura.**

Las crecientes innovaciones en la captación de imágenes mediante técnicas digitales, y sus claras aplicaciones en el ámbito cartográfico posibilitan la generación de nuevos productos, o bien el perfeccionamiento de otros ya existentes, así sus aplicaciones futuras son:

- *Integración perfecta entre la imagen y la cartografía vectorial.* Al disponer la aerofoto de una proyección ortogonal en toda la imagen nos aporta ventajas de control de calidad y actualización de la cartografía urbana, permitiéndonos introducir vectores utilizando como referencia la imagen digital.
- *Integración en Sistemas de Información Geográfica.* Las diferentes capas de información se adaptan en su totalidad al de la imagen, obteniendo análisis más fiables de la realidad.
- *Incorporación de tres dimensiones al Catastro.* Mediante la realización del Modelo Digital de Superficies permite, no solo la

definición planimétrica de las parcelas si no la regulación y comprobación de las alturas.

- *Análisis de desarrollo urbanístico.* Control y planificación de las alturas, análisis de nuevas construcciones mediante contraste de alturas y evolución histórica.
- *Análisis de vegetación.* La imagen digital incorpora un canal de infrarrojo que permite obtener información sobre la vegetación existente y su estado fenológico.
- *Análisis de visibilidad mediante el MDS (Modelo Digital de Superficie).* Aplicaciones como situación de antenas de telefonía móvil en entornos urbanos utilizando análisis de visibilidad para determinar coberturas. Realización de mapas solares para la valoración de viviendas.
- *Vuelos Interactivos en Tres Dimensiones.* Es posible realizar un modelo completo en tres dimensiones de la zona representada, mediante la integración de las ortoimágenes y el MDS. A partir de aplicaciones informáticas se genera un vuelo libre, con la posibilidad abierta de insertar datos vectoriales, alfanuméricos y audiovisuales. El resultado es un modelo de la realidad por donde se puede viajar libremente, con aplicaciones para la divulgación turística, callejeros virtuales, realización de simulaciones etc.

#### **4.3 Oferta del producto.**

Al ser el IGM el único oferente y estar amparado en la Ley de la Cartografía Nacional, que en su capítulo primero indica: "...tendrá a su cargo y responsabilidad la planificación, organización, dirección, coordinación, ejecución, aprobación y control de las actividades

encaminadas a la elaboración de la Cartografía Nacional y del Archivo de Datos Geográficos y Cartográficos del país”; está en la obligación de ofertar sus productos y servicios en base a la evaluación de la perspectiva del cliente. La satisfacción del cliente estará supeditada a la propuesta de valor que la organización se plantee con las herramientas tecnológicas necesarias.

En un mercado imperfectamente competitivo como es el de la producción de cartografía, y al ser el IGM el único vendedor y pionero en la toma de fotografía aérea digital de gran formato, lo convertiría en prácticamente en un monopolio por el lado de la oferta lo que a su vez garantizaría su nicho de mercado.

#### **4.3.1 Mercado potencial.**

Lo importante del producto es que todas las ventajas antes descritas posibilitan la ejecución de aplicaciones prácticas, que muestran un nuevo campo en el mundo del análisis cartográfico. A continuación se intenta dar una serie de aplicaciones reales que muestran la potencialidad del producto y confirman que se trata de un medio imprescindible para el estudio y análisis del territorio urbano y rural.

Aplicaciones:

*Cartografía:*

- Generación de cartas topográficas.
- Vistas oblicuas y perspectivas.
- Magnitud y aspecto de la pendiente.
- Clasificación de la pendiente.
- Sombras de relieve.
- Mapas de insolación.

*Fotogrametría:*

- Restitución.
- Producción digital de ortofotos.
- Generación automática de MDT.

*Percepción remota:*

- Rectificación geométrica de imágenes multiespectrales.
- Clasificación de imágenes mejoradas.
- Estudios multitemporales.

*Geodesia:*

- Ajuste de redes gravimétricas.
- Diseño de redes de control geodésico.

*Ingeniería civil:*

- Diseño (construcción, mantenimiento) de caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puertos, canales, presas embalses, etc.
- Diseño de áreas residenciales, áreas industriales, oleoductos, cables de alta tensión.
- Extracción de perfiles longitudinales y secciones transversales.
- Intersección de la superficie natural con la superficie diseñada.

*Ingeniería agrícola:*

- Diseño de redes de riego, modulación del terreno.
- Mapas de topografía natural, diseño, cortes y relleno.

*Ingeniería de comunicaciones:*

- Planificación celular de transmisión de radio y de señales.

*Minería:*

- Planificación y monitoreo de excavación y depósitos.

*Geología:*

- Clasificación y génesis de la geomorfología.
- Estudios de erosión y escurrimiento.
- Análisis de cuencas y drenajes.
- Prevención de inundaciones.
- Monitoreo de la vegetación.

*Administración y manejo de tierras:*

- Catastro urbano y rural.
- Planificación física y control de riesgos.
- Gestión medio ambiental.
- Zonificación y Ordenamiento territorial.

*Objetivos militares:*

- Aviónica de aeronaves.
- Guía de misiles.
- Generación de escenas y visualización de batallas.

#### **4.3.2 Comercialización.**

La comercialización se la realizaría en primera instancia como actualmente se trabaja con la fotografía analógica. Toda la fotografía existente es presentada en álbumes y fotoíndices para que los usuarios, una vez identificada la fotografía, la soliciten en base a los datos como: zona, año, rollo, fecha de toma y número de fotografía. En la Fig. 20. se presenta un fotoíndice a color que muestra toda la información marginal necesaria para ubicar una fotografía aérea.



## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **5.1 Conclusiones**

- La tecnología y precisión desarrollada mediante los sensores los CCD está suficientemente madura como para permitir que la captura primaria de datos se realice de forma totalmente digital.
- La toma de fotografía aérea digital presenta la reducción de errores y mayor precisión en los procesos.
- Reducción de costos mediante la optimización o eliminación de recursos no necesarios.
- Integración de todas las áreas y subsistemas de la empresa.
- Actualización y mejoramiento de los servicios a clientes o usuarios.
- Aceleración en la recopilación de datos.
- Reducción en el tiempo de procesamiento y ejecución de tareas.
- Automatización optima de procedimientos manuales.
- Existe un número suficiente de usuarios entre personas naturales y jurídicas que demandan fotografía aérea digital actualizada.

## 5.2 Recomendaciones

- Las características y resultados ofrecidos por un Sistema de Cámara Aérea Digital, modernizará la actual cadena de producción cartográfica del IGM.
- Las características técnicas y operacionales de un Sistema de Cámara Aérea Digital, así como los resultados obtenidos con el mismo (imágenes digitales) deben ser mejores que las características y resultados finales de imágenes procesadas y escaneadas, adquiridas con una cámara analógica fotogramétrica de gran formato ( 23 x 23 cm.),
- Es importante conocer las mejoras en los procesos de producción que las diferentes geometrías de las cámaras digitales pueden introducir a través de la adquisición de forma planificada de dicho SCAD.
- La adquisición de un Sistema de cámara aérea digital, debe ser realizado de forma planificada para que sus especificaciones cumplan con los requerimientos y actuales normas cartográficas del IGM.
- La utilización de una tecnología de punta impulsará el desarrollo del Instituto Geográfico Militar, incluso para incursionar y poder competir en un mercado internacional.

### 5.3 Bibliografía

- Airborne Digital Sensor, pp.552-559, vol.33 (B2), IAPRS, 2000.
- EZEQUIEL A. Métodos y Técnicas de Investigación. 1998.
- HINZ, A. et al. DMC – The Digital Sensor Technology of Z/I Imaging. En: Photogrammetric Week '01, pp.93-103. Stuttgart, 2001.
- REINOSO H. Investigación Bibliográfica. 2004
- ROTH, R. Demonstration Program: ALS40 Airborne Laser Scanner. LH Systems
- SANDAU, R. et al. Design principles of the LH Systems ADS40 Airbone Digital Sensor, pp. 258-265, vol.33 (B1), IAPRS, 2000.
- SCHENK, TONI F. Digital Photogrametry VOL 1. Geomática. Institut Cartografic of Catalunya. pp. 185 – 219.
- TEMPELMANN, U. et al. Photogrammetric software fot the LH Systems ADS40
- User Group Meeting & Aerial Sensor Workshop, 19-24 agosto 2001.
- INTERNET:
  - [www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)
  - [www.aeroterra.com](http://www.aeroterra.com)
  - [www.cartesia.org](http://www.cartesia.org)

## **AUTORIZACION DE PUBLICACION**

Autorizo al Instituto de Altos Estudios Nacionales la publicación de esta Tesis, de su bibliografía y anexos, como artículo de revista o como Artículo para lectura seleccionada o fuente de investigación.

Quito, junio de 2007

.....  
FIRMA DEL CURSANTE  
Ing. Dennis Mosquera L.