Facultad de Ciencias Forestales UNIVERSIDAD NACIONAL DE SANTIAGO DEL ESTERO



CATEDRA DE TELEDETECCIÓN Y CARTOGRAFÍA

PRINCIPIOS DE TELEDETECCIÓN



Ing. Fabián REUTER

Marzo de 2009

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DESARROLLO HISTORICO	2
LA RADIACION ELECTROMAGNETICA	5
RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y SUS PROPIEDADES	6
PARÁMETROS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	6
EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	7
ORIGEN E INTERACCION	
EL CUERPO NEGRO	
INTERACCION de la EEM A NIVEL MACROSCOPICO	
INTERACCION DE LA RADIACION ELECTROMAGNETICA CON LA ATMOSFERA	- 14
CONSTITUYENTES ATMOSFERICOS	
DISPERSION ATMOSFERICA	- 15
ABSORCION ATMOSFERICA	- 16
CORRECCIONES ATMOSFERICAS	- 18
CARACTERISTICAS ESPECTRALES DEL AGUA	- 19
CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LOS SUELOS	
COMPOSICION Y PROPIEDADES FISICAS	
Los minerales del suelo	
Tamaño de partícula	
LA MATERIA ORGANICA	
EL AIRE Y EL AGUA DEL SUELO	
TEXTURA Y ESTRUCTURACOLOR	
INFLUENCIA DE LA CUBIERTA SUPERFICIAL DEL SUELO SOBRE LA REFLECTANCIA	
CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LA VEGETACION	- 26
INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DE LAS CUBIERTAS VEGETALES	- 26
Hojas	
Propiedades reflectantes de las hojas	
Influencia de otras partes de la planta	
REFLECTANCIA DE CUBIERTAS VEGETALES	
INFLUENCIA DE LA ELEVACION SOLAR	
PLATAFORMAS DE SENSORESGLOBOS	
AVIONES	
AVIONES	
Parámetros Orbitales	
Orbita geosincrónica	
Orbita geosincronicaOrbita heliosincrónica	
RESOLUCIÓN DE UN SISTEMA SENSOR	- 36
RESOLUCIÓN ESPACIAL	- 36
RESOLUCIÓN ESPECTRAL	
RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	
RESOLUCIÓN TEMPORAL	
RELACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS TIPOS DE RESOLUCIÓN	
SISTEMAS DE SENSORES	- 39
SISTEMAS GLOBALES DE ADQUISICIÓN	- 39
El ojo humano	- 39
Cámaras fotográficas	
Longitud focal (f):	- 41

Angulo de observación (d)	42
Cámaras de TV	43
SISTEMAS DE ADQUISICIÓN SECUENCIAL	43
Sensores pasivos	43
Sistemas de Escaners	45
El sistema de escáner transversal	46
Sistema longitudinal	46
Sistema lateral	47
Sensores activos	48
Ecosondas y sonares	48
Radares	48
Principio de funcionamiento	49
Tipos de Radares	51
LIDAR (radares de láser)	52
PRINCIPALES SENSORES UTILIZADOS EN TELEDETECCIÓN	55
CÁMARA FOTOGRÁFICA	
Películas fotográficas negativas	59
Sensibilidad de la película	59
Tipos de películas y usos	
Codificación DX	
Películas negativas en blanco y negro	62
Películas negativas color	63
Formatos de películas	
Sensibilidad espectral	
Cámaras de formato medio y grande	65
Especificaciones de las fotografías aéreas	
Modelos de Cámaras Fotográficas a disposición en el LPR	
SLR de Medio Formato	
SLR de Formato Pequeño	
Resolución fotográfica	
Resolución en Cámaras Digitales	
Cámaras rusas MK-4 y KFA-1000	
Características técnicas de las cámara rusas MK-4	73
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Foto histórica mostrando el uso de palomas como "plataforma" para la	
obtención de fotos aéreas	1
Figura 2: Cámara de daguerrotipos	2
Figura 3: Geometria de obtención de inagenes a traves de un sistema radar	3
Figura 4: Así pues, al considerar las ondas electromagnéticas como portadoras de	
información, es necesario que las estudiemos con particular atención.	5
Figura 5: Onda electromagnética y sus componentes.	6
Figura 6: Parámetros de una onda	7
Figura 7: Espectro electromagnético mostrando las bandas empleadas en percepción	
remota.	8
Figura 8: Espectro electromagnetico	9
Figura 9: Gráfica de la radiancia emitida de un cuerpo negro respecto a la longitud d	le
onda, con temperatura como variable	. 10
Figura 10: Radiancia emitida por el sol y la recibida en la superficie terrestre	. 11
Figura 11: Radiancia Reflejada, absorbida, y transmitida	. 12
Figura 12: Reflexión especular (A) y Reflexión difusa (B).	. 12
Figura 13: Reflexión especular y difusa del radar.	. 13
Figura 14 : Superficie lambertiana ideal, y reflector lambertiano real (árbol)	. 14
Figura 15: Tipos de dispersión	
Figura 16: Caso "A" Dispersión míe prevalece, se forma un halo circular en el sol de	
color más claro, Caso "B" prevalece la dispersión Rayleigh, el cielo se torna azul	
Figura 17 : espectros de Absorción de gases atmosféricos y su sumatoria	
Figura 18: Firma espectral de algunos minerales del suelo	
Figura 19: Firma espectral de suelos a incrementos de carbono orgánico	
Figura 20 : firma espectral del suelo a incrementos del contenido volumétrico de agu	
Figura 21 : Firmas Espectrales características	. 24
Figura 22: Factores que modifican la reflectividad característica. (i) altura solar, (ii)	
orientación, (iii) pendiente, (iv) atmósfera, (v) fenología, (vi) sustrato	. 26
Figura 23 : Estructura de la hoja	
Figura 24: Firma espectral de la Hoja.	. 28
Figura 25 : Estructura de hojas, (izq.) Dicotiledónea. (der.). Monocotiledóneas	
Figura 26 : Firma espectral de vegetación sana y enferma en relación al suelo	. 30
Figura 27 :Firma espectral de la hierba húmeda (en rojo) y de un pinar (azul), en	
comparación con la hierba y hojas secas (en marrón).	. 31
Figura 28 : imagen de Julius Neubronner, que ha quedado en la historia por ser el	
primero en utilizar un temporizador montado en una paloma en 1903.	. 32
Figura 29: Utilización de cámaras fotográficas a bordo de globos. Las primeras fotos	
aéreas de la historia fueron tomadas a la ciudad de París en 1859.	
Figura 30 :Tipos de Orbitas en los satélites.	
Figura 31 : Diagrama de caracterización para el IFOV, FOV; y Píxel	
Figura 32 : Estructura del ojo	
Figura 33: Longitud Focal	
Figura 34 : Componentes principales de una cámara estructural de un sólo lente	
Figura 35 : En este esquema podemos ver la relación entre la distancia focal y su áng	
de observación.	
Figura 36 : Componentes de una señal pasiva de microondas.	
Figura 37 : Orientación del LANDSAT MSS.	

E: 20 C + 1 C + 1 1 V; ; / (APOV) / 1 1 1 ; 1	
Figura 38 : Concepto de Campo Angular de Visión (AFOV) o ángulo de barrido y	15
- r	_
Figura 39: Penetración de las bandas (X, C y L) de microondas en la vegetación y en la nubes	ıs 19
Figura 40 : Principio de operación del radar de observación lateral.	
Figura 41 : Propagación de un pulso de radar (indicando la localización de la onda	
frontal en intervalos de tiempo.	i 1
•	51
Figura 43 : Principio de funcionamiento del Sistema de radar de apertura sintética	' 1
(SAR)	; c
Figura 44 : Principio de operación	
Figura 45 : Principio de operación de	
Figura 46 : Cámara oscura de finales del siglo XVIII, Diseñada para reproducciones de	
paisajes, arquitectura, etc	
Figura 47 : Primer Punto de Vista, (fotografía), atribuida a Niépce. Año 1826	
Figura 48 : Cámara Mamut, la cámara fotográfica más grande del mundo	
Figura 49 : Lámpara de Flash	
Figura 50 : Cuadro indicando usos de la fotografía en función del tipo y sensibilidad de	
la película utilizada	
Figura 51 : Características de las películas según su sensibilidad	
Figura 52 : Rollo con su código DX	
Figura 53 : Sección Transversal de una Película Blanco y negro	
Figura 54 : Sección Transversal de una Película Color	
Figura 55 : Numero de exposiciones según formato del negativo.	
Figura 56 : Esquema de Cámara SLR	
Figura 57 : Mamiya 645	
Figura 58 : Cámara SLR Minolta	
Figura 59 : Cámara SLR Digital Canon Eos XSI	
Figura 60 : Esquema del Sensor de las Cámaras Digitales	
Figura 61 : Fotografía del Sensor de la cámara Canon 1D	
Figura 62 : Fotografia de la plataforma RESURS-F1 soporte de la cámara MK4 7	

PRINCIPIOS DE TELEDETECCION

La teledetección es el arte-ciencia que provee la teoría y los instrumentos que nos permiten entender la forma en que los objetos y los fenómenos son detectados, registrados, almacenados y procesados por un sistema-sensor. Por ejemplo, cuando usted lee este libro sus ojos funcionan como un sensor que registra la energía luminosa reflejada por las páginas. Su cerebro, utiliza dicha información para determinar que existen elementos de color negro y un fondo de color blanco. Posteriormente, dado su formación (Ej. educación) usted es capaz de interpretar los espacios negros como letras y a partir de ellos crear palabras, a partir de las palabras frases y partir de las frases oraciones y finalmente formarse un concepto de lo que lee. El objetivo de todo sensor es obtener datos que pueden posteriormente interpretarse para generar información (Ej. áreas, formas y tamaños) del medio en estudio.

El objetivo pretendido por el presente apunte, junto con las clases correspondientes, es proporcionar a los estudiantes unos fundamentos básicos de Teledetección, que le permitan complementar en este aspecto el resto de su formación.

La disciplina que nos ocupa considera a la radiación electromagnética como portadora de información.

La Teledetección que tratamos se refiere, principalmente, a la discriminación y caracterización de las cubiertas terrestres

En la serie didáctica 34 se describen aspectos generales de los sensores a sí como los programas espaciales y sistemas formadores de imágenes de mayor utilidad.

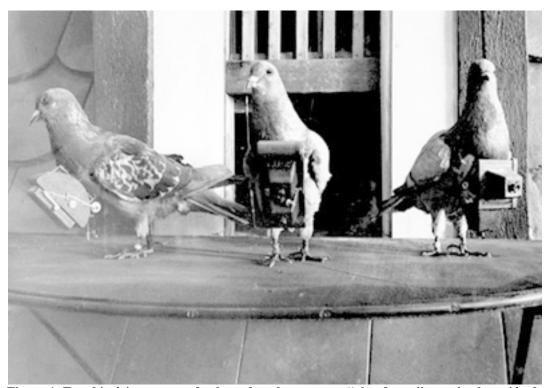


Figura 1: Foto histórica mostrando el uso de palomas como "plataforma" para la obtención de fotos aéreas.

DESARROLLO HISTORICO

La historia de la Teledetección puede dividirse en dos grandes etapas

- 1.- Con anterioridad a 1960, la fotografía aérea era el único sistema utilizado en Teledetección.
- 2.- Con la llegada de los programas espaciales, al principio de los años sesenta, y las primeras fotografías obtenidas por el programa Mercury, los desarrollos tecnológicos relacionados con la Teledetección se dispararon.

El desarrollo de las cámaras fotográficas proviene de experimentos desarrollados hace 2300 años por Aristóteles con la "cámara oscura". Los avances en el campo de la química suministraron el conocimiento de los compuestos químicos fotosensibles, los cuales son esenciales en el proceso fotográfico. Se produjo una experimentación continuada lo cual condujo a importantes mejoras, las cuales incluyeron el uso de espejos y lentes. Todo lo anterior proporcionó el sustrato básico para el desarrollo del proceso fotográfico, en el siglo XIX, por Joseph Nicephoce Niepce en primera instancia, y por Louis Jacques Mande Daguerre cuyo proceso de obtención de imágenes fue conocido inicialmente como "daguerrotipo".

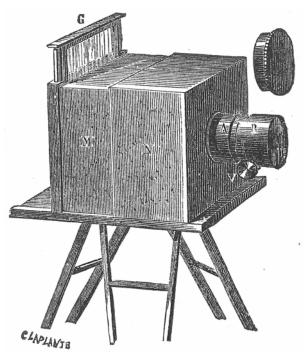


Figura 2: Cámara de daguerrotipos

Con posterioridad, se realizaron trabajos adicionales que condujeron al desarrollo de nuevas lentes y sistemas ópticos que fueron incorporados a las cámaras, de manera que a finales del siglo XIX quedaron establecidas las bases de la moderna fotografía, tal como se conoce en la actualidad.

En el capitulo dedicado al desarrollo y análisis de la Cámara fotográfica se presenta un análisis histórico mas profundo.

No contentos con las imágenes fotográficas que se obtenían a nivel del suelo, los fotógrafos, pronto utilizaron globos aerostáticos.

Las experiencias de adquisición de fotografías desde globos continuaron hasta el final del siglo, la llegada de los primeros aeroplanos estimuló enormemente la utilización de la fotografía aérea debido a que proporcionaban plataformas más fiables y más controlables que los globos.

La Primera Guerra Mundial indujo un salto cuantitativo en el uso de la fotografía aérea. En el periodo entre guerras, sin embargo, no se produjeron grandes avances en las aplicaciones militares de las fotografías aéreas, si bien aumentaron enormemente las aplicaciones civiles en geología, montes, agricultura y cartografía. La fiabilidad y estabilidad de las plataformas también mejoraron considerablemente.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los Estados Unidos, Gran Bretaña y Alemania desarrollaron dispositivos de registro en la región del infrarrojo, pero la aplicación práctica de los mismos a la formación de imágenes no se produjo hasta bastante después de concluida la guerra, sin embargo, esos dispositivos iniciales permitieron el desarrollo de los modernos scanners óptico-mecánicos, radiómetros y espectrómetros.

El primer sistema efectivo de formación de imágenes radar, se desarrolló en Gran Bretaña como una ayuda para el bombardeo nocturno. Aunque las investigaciones y desarrollos iniciales del radar tuvieron lugar en Alemania, Estados Unidos e Inglaterra, fueron éstos últimos los que previeron sus aplicaciones militares, y así, desde el comienzo de la guerra disponían de sistemas operacionales para la detección de barcos y aviones.

Durante la década de los 50, los sistemas de teledetección continuaron evolucionando a partir de los métodos desarrollados por el esfuerzo de guerra. La fotografía en infrarrojo color, originalmente desarrollada como una herramienta de reconocimiento militar, demostró ser muy útil para los estudios de cultivos y vegetación también para el reconocimiento y clasificación de cubiertas vegetales así como a la detección de plagas y enfermedades mediante fotografías aéreas.

Hacia el final de la década de los cincuenta y como consecuencia de una serie de mejoras técnicas, quedó perfectamente operacional el sistema SAR (radar de apertura sintética) que supuso una considerable mejora con respecto al sistema tradicional (SLAR) en lo que respecta a la resolución de las imágenes.

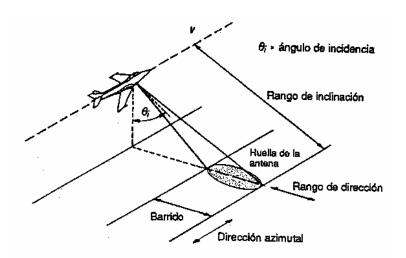


Figura 3: Geometria de obtención de inagenes a traves de un sistema radar

La ubicación de sensores remotos en el espacio por la NASA, con la finalidad de realizar observaciones terrestres, comenzó al principio de los años sesenta y llegó como una consecuencia de la decisión de situar un hombre en la Luna. En su momento,

los sensores remotos se situaron sobre satélites en órbita lunar para asegurar que el vehiculo lunar tripulado pudiera alunizar con seguridad. Los instrumentos de detección se probaron en lugares terrestres procurando establecer correlaciones entre las condiciones físicas de los citados lugares y la respuesta de los sensores. Desde el principio, fueron evidentes las posibles aplicaciones para estudios geológicos, forestales, geografía, recursos terrestres, cartografía, etc. El reconocimiento del valor de la Teledetección como medio de recoger datos para el estudio de la Tierra condujo al establecimiento del Programa de Reconocimiento de Recursos Terrestres de la NASA.

El citado programa realizó no sólo la recolección de información fotográfica a altitudes intermedias y elevadas, sino también de imágenes en infrarrojo (IR) térmico y radar cubriendo grandes áreas de los Estados Unidos. Los datos adquiridos proporcionaron entrenamiento y experiencia para el proceso e interpretación de imágenes, diseño de instrumentos, almacenamiento de datos y otros aspectos de crucial importancia en las técnicas de Teledetección.

Las observaciones sistemáticas desde satélites en órbitas terrestres por parte de los Estados Unidos comenzaron en 1960 con el lanzamiento del satélite meteorológico TIROS el cual llevaba sensores de baja resolución, y que ha mantenido su continuidad hasta los actuales TIROS-NOAA, cuyo sensor más característico es el VHRR con seis bandas espectrales y una resolución espacial de 1.1 x 1.1 Km.

La primera fotografía de la Tierra tomada desde el espacio fue tomada por el Explorer-6 en Agosto de 1959 y las primeras fotografías orbitales en 1960 por el satélite no tripulado Mercury-Atlas que demostró la utilidad de las mismas.

Las misiones anteriores animaron a los EE UU a establecer un plan de observaciones sistemáticas de la superficie terrestre para el estudio de recursos terrestres (Earth Resources Observation Satellite Program) y el cual constituyó la base para el desarrollo y puesta en órbita por la NASA del ERTS-1, actualmente conocido como Landsat-1., fue lanzado el 23 de Junio de 1972. Los tres primeros de la serie (después conocida como serie LANDSAT) eran una versión modificada de los meteorológicos NIMBUS y seguían una órbita casi polar a una altitud variable entre 897 y 918 Km., como sensor más característico llevaban el MSS que registra cuatro bandas espectrales.

El Landsat-1 dejó de estar en servicio el 6 de enero de 1978 y los Landsat 2 y 3 en el año 1983. El 16 de julio de 1982 se puso en órbita el Landsat-4 y el 1 de marzo de 1984 el Landsat-5, éste último continúa activo. Los dos últimos satélites llevan el sensor Thematic Mapper con siete bandas espectrales y una resolución geométrica de 30 m. en seis de las bandas. Muchas misiones, desde entonces, han obtenido imágenes para el estudio de recursos terrestres, pero ninguna como Landsat ha estimulado el vertiginoso desarrollo de la Teledetección hasta los niveles actuales.

En 1986 se puso en órbita el satélite francés Spot-1, también para el estudio de recursos terrestres el cual llevaba el sensor HRV que puede trabajar en modo multibanda (4 bandas) y en modo multiespectral, de ésta última forma con una resolución espacial de 10 m.

En lo que respecta a cartografía, la resolución espectral de Landsat posibilita la realización de mapas temáticos de diversos tipos en tanto que Spot proporciona una buena resolución geométrica para el establecimiento de mapas base topográficos (hasta una cierta escala).

En lo que respecta al tratamiento de las imágenes, las mejoras en métodos de proceso para la transmisión de imágenes digitales continuaron hasta el desarrollo de las computadoras lo que produjo el impulso definitivo a los conceptos de tratamiento digital de imágenes.

El término "Remote Sensing" (Teledetección) se utilizó por primera vez en el año 1960, estando referido entonces a la observación y medida de un objeto sin estar en contacto con él. Actualmente se la considera como la adquisición de información en torno a un objeto sin estar en contacto físico con él. La información se adquiere detectando y midiendo cambios que el objeto induce en su entorno, los citados cambios pueden referirse a radiación electromagnético emitida o reflejada, ondas acústicas reflejadas o alteradas debido a la presencia del objeto.

Un Sistema de Teledetección de la superficie terrestre, basado en las ondas electromagnéticas, se caracteriza por la concurrencia de los siguientes elementos:

- Fuente o fuentes de la radiación electromagnética.
- Interacción de las ondas electromagnéticas con la superficie terrestre.
- Interacción de las ondas electromagnéticas con la atmósfera.
- sensor de las ondas electromagnéticas.

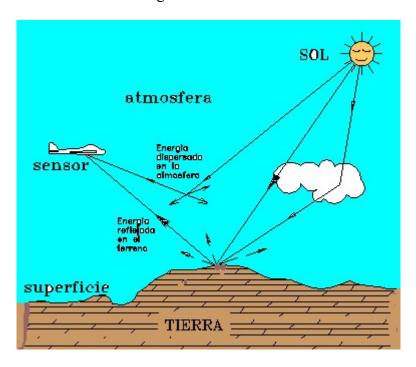


Figura 4: Así pues, al considerar las ondas electromagnéticas como portadoras de información, es necesario que las estudiemos con particular atención.

LA RADIACION ELECTROMAGNETICA

Para entender como opera la percepción remota, es necesario entender algunos de los principios físicos que la hacen posible. Esto requiere conocimientos de, la radiación electromagnética (EMR) y sus interacciones con varios componentes del medio ambiente. Los elementos involucrados para obtener una señal remotamente percibida son: la fuente de energía, la atmósfera, el objetivo y el sensor.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y SUS PROPIEDADES

La radiación electromagnética (EMR) es una forma de energía que puede ser únicamente observada por su interacción con la materia. La EMR está hecha de componentes eléctricos y magnéticos y es afectada por las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia con la cual entra en contacto. Dos hipótesis son generalmente utilizadas para describir el comportamiento de la EMR: el modelo de onda y el modelo de partículas. Ambos modelos son válidos y ambos son importantes para percepción remota: para especialistas en aplicaciones, sin embargo, el modelo de onda es generalmente favorecido.

La Figura 5 ilustra una serie de ondas electromagnéticas viajando a través del espacio. Los componentes eléctricos y magnéticos están en fase siempre perpendiculares a sí mismos al igual que perpendiculares a la dirección del viaje. Por esta razón, es más simple pensar en la onda como una entidad simple sin distinguir entre los dos componentes. La orientación de la onda (esto es, el plano a lo largo del cual viaja) es referido como la polarización. La EMR producida naturalmente contiene ondas que son aleatoriamente polarizadas; filtros polarizantes pueden ser utilizados para seleccionar dichas ondas que tienen su orientación particular. Fuentes de EMR construidas por el hombre tales como los sistemas de radar, algunas veces producen ondas con una polarización simple usualmente vertical u horizontal con respecto a la superficie.

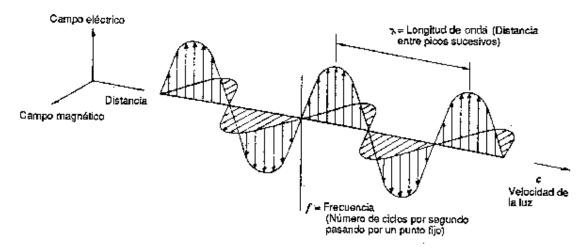


Figura 5: Onda electromagnética y sus componentes.

Los distintos tipos de radiación electromagnética dependen directamente de las características de la onda, que son: frecuencia, longitud de onda y amplitud o intensidad. En realidad, como veremos a continuación, la frecuencia y la longitud de onda están directamente relacionadas, por lo que para describir completamente una onda, (la radiación electromagnética en nuestro caso) basta con dar información acerca de su amplitud y frecuencia (o longitud de onda).

Las ondas electromagnéticas transportan energía siempre a la misma velocidad en el vacío: 299792 kilómetros por segundo, lo que se conoce como velocidad de la luz (c).

PARÁMETROS DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Como ya hemos visto, la radiación electromagnética puede ser descrita como una onda. Los parámetros que la definen son su frecuencia, longitud de onda y amplitud

La longitud de onda (λ) es la distancia entre dos máximos consecutivos de la onda. Se mide en unidades de distancia: por ejemplo, metros (m) o cualquiera de sus submúltiplos, como el ángstrom (1 Å = 10^{-10} m).

La frecuencia (v) se define como el número de máximos que pasan por un punto en un tiempo determinado. Sus unidades son los hercios (Hz), de forma que 1 Hz equivale a un ciclo por segundo.

La amplitud (A) es la distancia que hay entre el punto de inflexión de la onda y el máximo.

Debido a que la velocidad de la luz es constante e igual a c, existe una relación directa entre la frecuencia y la longitud de onda, ya que dada una longitud de onda determinada, si sabemos que la onda se desplaza a velocidad c, para saber el número de veces que pasa un máximo por un punto, sólo hace falta dividir la velocidad de la luz entre la longitud de onda. Tenemos, por tanto, que $v = c/\lambda$

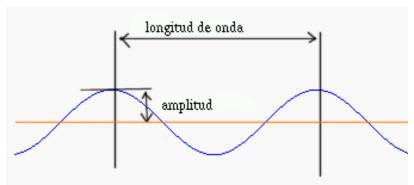


Figura 6: Parámetros de una onda

Otra característica importante de las ondas es que transportan energía. La energía de una onda electromagnética está directamente relacionada con su frecuencia, de forma que $E = h \, v$, y, utilizando la relación entre la frecuencia y la longitud de onda, podemos tener también que $E = h.c/\lambda$, donde h es la constante de Planck. De esta forma, tendremos que las ondas con una frecuencia alta serán muy energéticas, mientras que aquellas cuyas frecuencias sean bajas (y, por tanto, su longitud de onda grande) transportarán menos energía.

EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

Con la excepción de algunos sistemas de radar, la longitud de onda más que la frecuencia, es la más comúnmente utilizada para describir la EMR. Las Figuras 7 y 8 ilustra cómo diferentes porciones del espectro electromagnético son designados en términos de bandas de longitud de onda. Las bandas de interés para percepción remota son las siguientes:

- la ultravioleta fotográfica, con longitudes de onda entre 0.3 y 0.4 micrómetros (μm) (300–400 nanómetros): la radiación ultravioleta de longitud de onda más corta es absorbida por el ozono en la parte alta de la atmósfera.
- la visible, con longitudes de onda entre 0.4 y 0.7 μm; esta región contiene todos los colores de la luz que pueden ser percibidos por el ojo humano.

- la infrarroja cercana con longitudes de onda entre 0.7 y 3 μm; aunque no es visible, esta radiación puede ser detectada por películas con emulsiones sensitivas infrarrojas en el rango de 0.7 a 1.3 μm.
- la infrarroja media, con longitudes de onda entre 3 μm y 8 μm; como en las longitudes de onda más corta, la energía en esta región es primariamente de la energía del sol reflejada y no contiene información de las propiedades térmicas de los materiales.
- la infrarroja lejana (térmica), con longitudes de onda desde 8 hasta 1000 μm; esta región incluye la radiación terrestre relacionada a la emisión térmica.
- la microonda, con longitudes de onda entre 1 milímetro y 100 centímetros; esta región puede ser utilizada para medir la emisión terrestre pero es también importante para sensores activos tales como sistemas de radar.

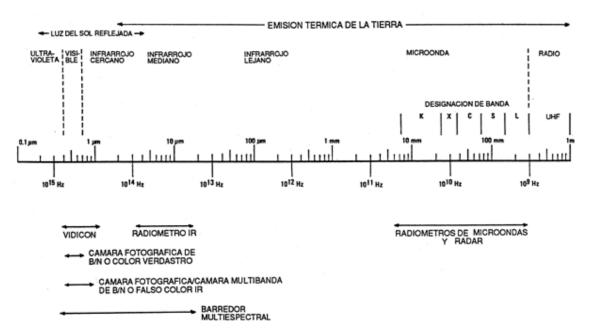


Figura 7: Espectro electromagnético mostrando las bandas empleadas en percepción remota.

Debe ser entendido que estas divisiones son arbitrarias y que el espectro electromagnético, por definición, es un continuo de energías que va desde kilómetros hasta nanómetros de longitud de onda. Las ondas viajan a 3×10^8 metros por segundo y son capaces de propagarse a través de un vacío tal como el espacio exterior. Las categorías generales que se mencionaron anteriormente pueden subdividirse aún más. Dentro de la banda visible, por ejemplo, longitudes de onda entre 0.4 y 0.5 μ m corresponden aproximadamente a la luz azul, aquellas entre 0.5 y 0.6 μ m a la luz verde, y entre 0.6 y 0.7 μ m a la luz roja. Una discriminación mucho más fina es también posible dependiendo de la resolución espectral del sensor específico en uso.

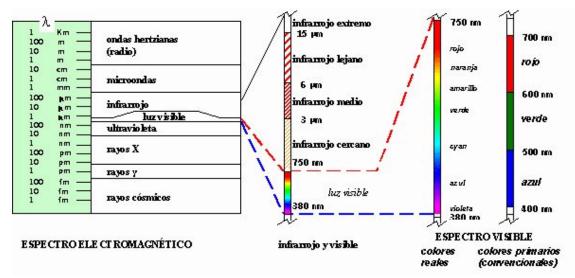


Figura 8: Espectro electromagnetico

```
1 milimetro (mm.) = 10^{-3} m.

1 micra (\mum.) = 10^{-6} m.

1 manómetro (nm.) = 10^{-9} m.

1 Angstrom (A) = 10^{-10} m.
```

Los rayos X (de 300 a 0,3 Angstroms) y los rayos gamma (menos de 0,3 Angstroms) se han utilizado en menor medida debido a la opacidad atmosférica. Su utilización se ha limitado a plataformas de vuelo a baja altura o al estudio de superficies sin atmósfera (p. Ej. la Luna.).

En la región del ultravioleta (0,4 micras a 300 Angstroms), al igual que en el visible, la energía de los niveles electrónicos se encuentra en la explicación de las interacciones onda-materia. Los sensores de ultravioletas se han utilizado, principalmente, para el estudio de atmósferas planetarias o para estudiar superficies sin atmósfera debido a la opacidad de los gases en estas pequeñas longitudes de onda.

En la región vecina al infrarrojo, la del visible (0,4 - 0,7 micras), juega un papel determinante la energía de los niveles electrónicos, de manera que el salto de uno a otro nivel por parte de los electrones produce (o absorbe) este tipo de radiación.

Las bandas del infrarrojo cubren la región espectral desde longitudes de onda del orden de 1 mm. hasta 0,7 micras. Esta región se divide en subregiones llamadas submilimétrica, IR lejano, IR medio e IR próximo. En esta región se produce gran parte de la radiación electromagnética debida a las rotaciones y vibraciones moleculares, se utilizan, para teledetección, espectrómetros, radiómetros, polarímetros y lasers.

Las bandas de microondas cubren la región, siguiente a la citada, hasta una longitud de onda de 1 mm. En esta región, la mayor parte de las interacciones están regidas por rotaciones moleculares, particularmente en las longitudes de onda mas cortas. Esta región es la más utilizada por radiómetros/espectrómetros de microondas y sistemas de radar.

Las bandas de radio ocupan la región de longitudes de onda superiores a 10 cm. Esta región se utiliza por sensores activos, tales como radares, altímetros, sondas y en menor medida por radiómetros pasivos.

ORIGEN E INTERACCION

La energía transportada por las ondas electromagnéticas se llama energía radiante, y el proceso físico generador de energía radiante se llama radiación.

La radiación electromagnética se genera por la transformación de energía, inicialmente en otras formas, tales como cinética, química, térmica, eléctrica, magnética o nuclear.

Existe una cierta variedad de mecanismos de transformación que producen ondas electromagnéticas en diferentes regiones del espectro.

CUERPO NEGRO

La apreciación de que los cuerpos, cuando se calientan, emiten radiación puede hacerse observando cómo, a medida que su temperatura va creciendo, se hace patente, primero la sensación de calor y, posteriormente, adquieren un color mate que se hace, progresivamente, mas brillante conforme va incrementándose la temperatura.

Se llama cuerpo negro a un radiador ideal que emite la máxima potencia de radiación que puede emitir un cuerpo por unidad de área, para todas las longitudes de onda, en cada temperatura. Un cuerpo negro absorbe, igualmente, toda la energía radiante que incide sobre él, sin reflejar nada.

El cambio de longitudes de onda con la temperatura, puede ser observado cuando una pieza de metal es calentada: cuando está fría, emite luz no visible, pero en la medida que se va calentando, comienza a emitir una brillantez roja obscura, luego naranja, luego amarilla y finalmente blanca a temperaturas altas.

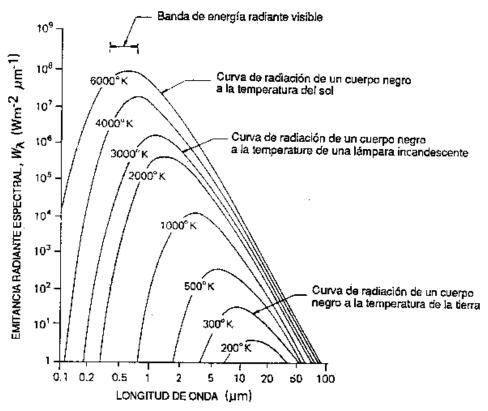


Figura 9: Gráfica de la radiancia emitida de un cuerpo negro respecto a la longitud de onda, con temperatura como variable.

A pesar de que los cuerpos negros son hipotéticos, los materiales reales generalmente exhiben un patrón similar de emisión, cuando menos dentro de ciertos rangos de longitud de onda.

Los líquidos y los sólidos emiten radiación visible cuando su temperatura excede de 500 a 550 grados centígrados; sin embargo, a temperaturas mas bajas, emiten en longitudes de onda mayores que las del visible (no percibidas por el ojo humano).

Para el Sol, con una temperatura media en superficie de 6000 grados, posee un pico de emitancia en las 0,48 micras (Longitud de onda). En el caso de la Tierra, considerando una temperatura media superficial de 27 Centígrados, correspondiente a un día caluroso, la longitud de onda para la cual la excitancia espectral radiante es máxima, es de 9,66 micras.

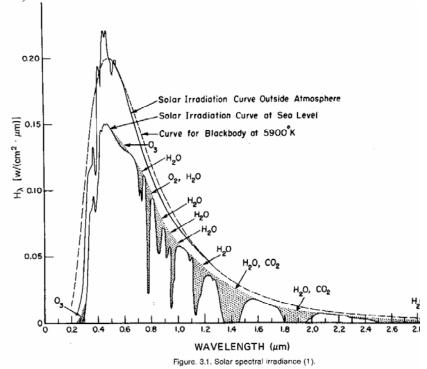


Figura 10: Radiancia emitida por el sol y la recibida en la superficie terrestre

La figura muestra el espectro de la energía electromagnética emitida por el Sol y el espectro solar que se recibe en condiciones normales a nivel del mar. Así mismo se le ha superpuesto la curva de emisividad correspondiente a un cuerpo negro a unos 6000 °K, que es la temperatura aproximada de la superficie del Sol.

En lo que respecta al total de energía radiada por es Sol, aproximadamente el 40% de la misma se encuentra en el visible, el 50% en el infrarrojo y el resto en el ultravioleta

INTERACCION DE LA EEM A NIVEL MACROSCOPICO

Si un objeto recibe un flujo de energía incidente Φ i, éste resultará, en parte reflejada por el objeto Φ r, parte absorbida Φ a y, finalmente, otra parte será transmitida Φ t.

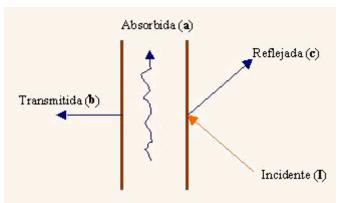


Figura 11: Radiancia Reflejada, absorbida, y transmitida

Podemos, por tanto escribir:

$$\Phi i = \Phi r + \Phi a + \Phi t$$

$$1 = \Phi r/\Phi i + \Phi a/\Phi i + \Phi t/\Phi i$$

$$1 = \rho + \alpha + \tau$$

Los términos ρ , α y τ reciben los nombres respectivos de reflectancia, absorbancia y transmitancia. Para un cuerpo opaco o suficientemente grueso, la transmitancia será nula.

Otra variable que mide la reflexión de radiación por parte de los cuerpos es el albedo, el cual, para una superficie dada, es la relación entre la totalidad de la luz reflejada por la superficie y la totalidad de luz incidente sobre la superficie, para medir esta variable, es necesario considerar la luz incidente y emergente en todo el rango espectral y en todas las direcciones.

La reflexión de energía desde una superficie, es generalmente descrita como especular o difusa. La reflexión especular ocurre cuando la energía que es reflejada por la superficie, continúa viajando en una dirección y el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Este es el tipo de reflexión que es observada en espejos o desde superficies tranquilas del mar, en longitudes de onda visibles. En la reflexión difusa, la energía reflejada, en contraste, es rota o esparcida en todas direcciones. En realidad, la mayoría de las superficies no son reflectores ni perfectamente especulares ni perfectamente difusos sino que caen en algún punto entre estos dos extremos.

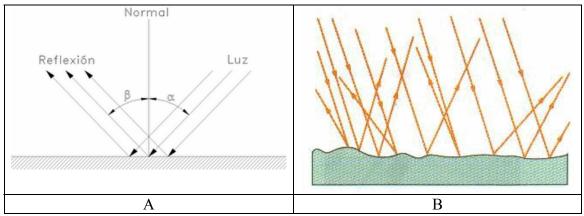


Figura 12: Reflexión especular (A) y Reflexión difusa (B).

La reflexión difusa es la que generalmente provee la mayor parte de la información (a los fines de la percepción remota), cuando menos con respecto a la composición de los materiales de la superficie. La reflexión especular, sin embargo, puede ser útil en la caracterización de la aspereza de la superficie y de la geometría de diferentes áreas. De hecho, es la característica de aspereza de la superficie relativa a la longitud de onda de la energía incidente la que, junto con el ángulo de incidencia, determina si una superficie es un reflector especular o difuso. El destello brillante de la luz del sol reflejado en aguas calmadas es un ejemplo de reflectancia especular; en la medida que la superficie del agua se hace más áspera, la reflectancia se hace más difusa a menos que el sol esté bajo en el horizonte. Al medir la aspereza relativa del agua, puede ser posible inferir la velocidad del viento. Más aún, superficies que son reflectores difusos en una longitud de onda, pueden ser reflectores especulares en longitudes de onda más larga.

En la mayoría de las aplicaciones, sin embargo, la reflectancia especular, es un impedimento más que una ventaja. Es el patrón de reflectancia espectral, más que la aspereza de la superficie, el que usualmente permite una determinación de los procesos químicos o biológicos que están activos en la superficie. Cuando la EMR alcanza un objeto, algunas de las longitudes de onda son reflejadas mientras que otras son absorbidas o transmitidas. En el espectro visible esta reflectancia selectiva de ciertas longitudes de onda es percibida como color. La cantidad de energía que es reflejada por un objeto en diferentes longitudes de onda (relativa a la energía que recibe) es denominada la reflectancia espectral que es una propiedad intrínseca de cada material. Las características de reflectancia de diferentes materiales pueden ser ilustradas gráficamente en una curva de reflectancia espectral, generando lo que se conoce como Firma Espectral del material considerado.

Cuando la superficie de incidencia es muy lisa en relación con la longitud de onda de la radiación incidente, entonces la energía reflejada lo hace en la dirección especular y el coeficiente de reflexión es función del índice complejo de refracción y del ángulo de incidencia.

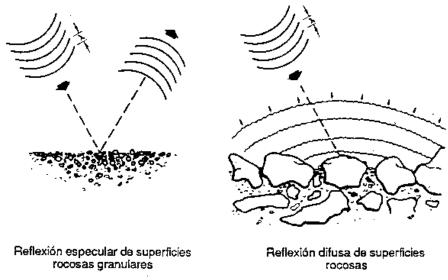


Figura 13: Reflexión especular y difusa del radar.

La reflexión difusa sucede en el caso de superficies perfectamente rugosas (conocidas como superficies difusoras o perfectamente difusas), tal es el caso de la

nieve recién caída. El caso prototipo queda descrito por la ley de Lambert (superficie lambertiana). En este caso, el valor de la radiación reflejada en todas las direcciones, describe una esfera, tangente a la superficie. Ver figura a continuación.

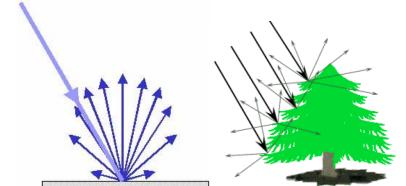


Figura 14 : Superficie lambertiana ideal, y reflector lambertiano real (árbol)

En el caso de cuerpos reales, el modelo de reflexión se encuentra entre las dos situaciones descritas, pero es más, en este caso, parte de la radiación es dispersada hacia el interior de los espacios vacíos del material y termina por emerger tras reflexiones múltiples, pues bien, si el material que se trata tiene ciertas bandas (intervalos de longitudes de onda) en que se produce un máximo de radiación absorbida, entonces, la radiación emergente presenta mínimos en las citadas bandas, estas bandas, denominadas de absorción, son dependientes del tipo de material y pueden permitir realizar una caracterización del mismo. (Ej. Clorofila en las hojas)

En lo que respecta a la capacidad de los cuerpos reales para emitir radiación, se caracterizan por su emisividad espectral $\epsilon(\lambda)$, que expresa la relación entre la capacidad radiante de un cuerpo real y la del cuerpo negro a la misma temperatura.

INTERACCION DE LA RADIACION ELECTROMAGNETICA CON LA ATMOSFERA

La energía que recibe un sensor desde un objetivo de interés debe pasar a través de la atmósfera. Los componentes gaseosos y las partículas de materia dentro de la atmósfera, pueden afectar la intensidad y la distribución espectral de la energía y pueden impedir la observación de características de la superficie. La magnitud de los efectos atmosféricos dependen de factores tales como la longitud de la ruta, la longitud de onda siendo observada y las variaciones diarias de las condiciones atmosféricas.

En el caso de la energía reflejada, la atmósfera interviene entre la fuente de iluminación y el objetivo, así como también entre el objetivo y el sensor. Para longitudes de onda emitidas, la situación es más sencilla dado que el objetivo es la fuente de iluminación.

CONSTITUYENTES ATMOSFERICOS

Los gases atmosféricos y los aerosoles contribuyen a la absorción y a la dispersión de la luz solar directa y de la luz solar reflejada por la superficie terrestre. La absorción reduce la cantidad de energía disponible en una longitud de onda determinada, mientras que la dispersión redistribuye la energía cambiando su dirección. Aunque la dispersión no cambia las propiedades de la radiación distintas a su dirección,

el resultado es una disminución del contraste de los objetos observados, produciéndose una degradación de los contornos.

En general, los efectos de la atmósfera son más patentes en las longitudes de onda del visible y del infrarrojo, siendo prácticamente despreciables los citados efectos en la región de las microondas.

Los constituyentes atmosféricos pueden agruparse en tres categorías:

- 1 Gases
- 2. Aerosoles.
- 3. Nubes.
- 1.- Los principales gases atmosféricos son el nitrógeno (78%) y el oxígeno (21%), existiendo, así mismo, pequeñas cantidades de vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y ozono (O₃). La absorción gaseosa es causada por bandas de absorción específica que dependen de la estructura molecular de cada especie absorbente. Todos los gases atmosféricos contribuyen a la dispersión y su efecto combinado se calcula como una función de la densidad atmosférica y de la presión.
- 2.- Se consideran como aerosoles atmosféricos a la materia sólida y líquida que se encuentra en suspensión en el aire. Para estimar el efecto de los aerosoles en la propagación de la radiación electromagnética deben de conocerse sus características físicas y químicas. Las citadas características dependen de cual sea el origen de los aerosoles, el proceso de su formación, los efectos atmosféricos sobre el aerosol y el proceso de su eliminación. Las principales fuentes de formación de aerosoles atmosféricos son: superficies sólidas, los océanos y los gases (producidos natural o artificialmente).
- 3.- La interacción de la luz solar con las nubes afecta a la teledetección de la superficie terrestre. Las nubes grandes (en relación al tamaño del píxel) producen una alta reflectancia en los intervalos del visible y del IR próximo, así como una baja temperatura estimada en el IR térmico. Las nubes de tamaño inferior al del píxel producen unos efectos más difíciles de estimar.

DISPERSION ATMOSFERICA

Particularmente la dispersión (o scattering) afecta, fundamentalmente a la dirección de la radiación visible, pero puede alterar también la distribución espectral de las longitudes de onda del visible y las próximas a él.

La dispersión de Rayleigh tiene lugar cuando la longitud de onda de la radiación es mucho menor que el tamaño de las partículas dispersantes. Este tipo de dispersión es responsable del color azul del cielo y del rojo de las puestas de sol. Debido a la dispersión de Rayleigh, los datos multiespectrales de la porción azul del espectro, pueden verse deteriorados.

La Dispersión de Mie sucede cuando la longitud de onda de la radiación es análoga al tamaño de las partículas dispersantes. En teledetección, la dispersión de Mie se manifiesta normalmente como un deterioro general de las imágenes multiespectrales en el espectro óptico, bajo condiciones de fuerte neblina.

La Dispersión no selectiva se produce cuando el tamaño de las partículas es mucho mayor que la longitud de onda de la radiación. El efecto global en este caso es suma de las contribuciones de los tres fenómenos de interacción de la radiación con las partículas: Reflexión en la superficie de la partícula sin penetración; transmisión de la radiación a través de la partícula con o sin reflexiones internas; y refracción o difracción en los bordes de la partícula. Se presenta cuando la atmósfera está muy cargada de polvo en suspensión, produciendo una atenuación de la señal recibida.

El término no selectivo significa que todo lo reflejado de las longitudes de onda solar es afectado más o menos igualmente. Las gotas de agua en nubes o los bancos de niebla son difusiones no selectivas; ellas aparentan ser blancas porque todas las longitudes de onda visibles son reflejadas. Debido a sus longitudes de onda larga, los sensores de microondas no son afectados por las reflexiones múltiples atmosféricas y son por lo tanto capaces de "ver" a través de las nubes.



Figura 15: Tipos de dispersión

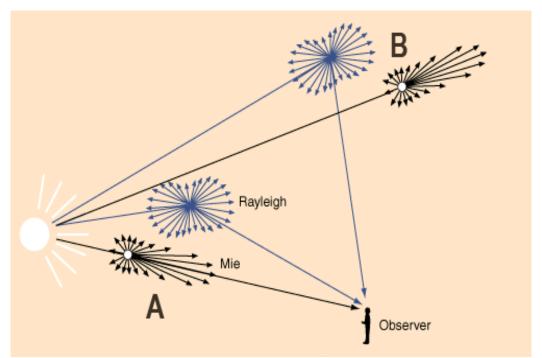


Figura 16: Caso "A" Dispersión míe prevalece, se forma un halo circular en el sol de color más claro, Caso "B" prevalece la dispersión Rayleigh, el cielo se torna azul.

ABSORCION ATMOSFERICA

Al contrario que la dispersión, la absorción afecta a las longitudes de onda que son más cortas o más largas que las de la luz visible.

La absorción se produce cuando un átomo o molécula recibe radiación electromagnética y se excita a un nivel energético superior.

Los absorbentes atmosféricos más importantes son el vapor de agua, el dióxido de carbono CO2, el oxígeno O2 y el ozono O3.

Existen otros absorbentes atmosféricos pero que tienen una menor influencia como monóxido de carbono CO, metano CH4, y compuestos nitrogenados.

En lo que respecta al vapor de agua, es el mayor absorbente de todos los componentes atmosféricos, existiendo diferentes bandas de absorción entre las 0,7 y las 8 micras. La absorción más intensa se produce en torno a las 6 micras donde puede llegar al 100 % si la humedad atmosférica es suficiente.

El dióxido de carbono tiene importancia especial en la baja estratosfera. Se distribuye más uniformemente que los demás gases en las diferentes capas, pero resulta enmascarado en las zonas altas por el O2 y O3 y en las bajas por el vapor de agua. Presenta la mayor banda de absorción alrededor de las 15 micras y otras menores en el infrarrojo medio.

Al nivel del suelo no se observan radiaciones inferiores a 0,3 micras, ello es porque casi toda esta radiación se absorbe en las capas altas y el resto es dispersado hacia el espacio exterior. Las longitudes de onda inferiores a 0,1 micras son absorbidas por el O y el O2 en la ionosfera mientras que las comprendidas entre 0,1 y 0,3 son absorbidas por el O3 en la ozonósfera.

Como consecuencia de los procesos de absorción molecular, sucede que la atmósfera es bastante transparente en la zona visible del espectro. En la zona del infrarrojo alternan zonas de transparencia con bandas de absorción. Esas zonas del espectro, en las cuales la absorción atmosférica es baja, reciben el nombre de ventanas atmosféricas y es a través de esas ventanas por donde tiene lugar la teledetección de la superficie terrestre.

Sin embargo, las ventanas no están totalmente libres de efectos atmosféricos, estos efectos son muy variables en el espacio y en el tiempo.

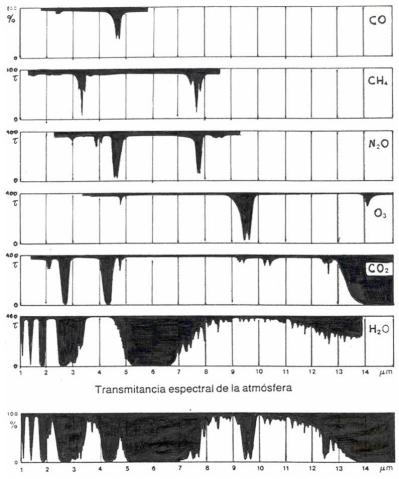


Figura 17 : espectros de Absorción de gases atmosféricos y su sumatoria

CORRECCIONES ATMOSFERICAS

Conforme a las consideraciones de los apartados anteriores, las imágenes de la superficie terrestre, adquiridas en el espectro solar y que son tomadas por satélites de observación, se encuentran contaminadas por la luz solar dispersada hacia el sensor por las moléculas atmosféricas, los aerosoles y las nubes en suspensión. Además, la energía solar que es reflejada desde La Tierra se encuentra atenuada por los efectos atmosféricos. Estos efectos atmosféricos son dependientes de la longitud de onda, siendo variables en tiempo y espacio y dependientes, así mismo de la reflectancia de la superficie y su variación espacial. La corrección de estos efectos atmosféricos puede producir señales de teledetección que se encuentran mejor correlacionadas con las características de la superficie.

La dispersión de los aerosoles y la absorción por los mismos, son las principales variables en los efectos atmosféricos sobre las imágenes de satélite. La dispersión por los aerosoles es la principal componente variable de los efectos atmosféricos en superficies oscuras, mientras que la absorción por aerosoles es más importante para superficies más brillantes.

Para la realización de correcciones atmosféricas de datos de teledetección, deben de conocerse las características ópticas de la atmósfera. El procedimiento de corrección depende, en cierta medida, del tipo de efecto atmosférico y de la aplicación específica de los datos de teledetección.

En principio, la información, en torno a las características ópticas de la atmósfera, puede obtenerse de tres fuentes diferentes:

- 1. Datos climatológicos. Se trata de información sobre las características atmosféricas y su variación, la cual puede utilizarse para estimar el efecto atmosférico en un lugar determinado.
- 2. Medidas de campo. Mediciones realizadas directamente mediante fotómetros.
- 3. Determinación a partir de las imágenes de satélite. Existe una serie de métodos que utilizan las propias imágenes para estimar el efecto atmosférico, pudiendo utilizarse imágenes multitemporales de una misma zona y analizando la diferencia entre días claros y nubosos para calcular la densidad óptica.

CARACTERISTICAS ESPECTRALES DEL AGUA

Para materiales que no transmiten la EMR, la energía incidente que no es reflejada es absorbida. Al igual que en la atmósfera, la energía absorbida, es subsecuentemente reemitida usualmente como calor, la cantidad de energía que es emitido es una función de la temperatura y de la emisividad del material.

Debe hacerse notar que la energía es únicamente emitida desde la superficie y que las condiciones superficiales pueden ser muy diferentes. Por ejemplo, una película de aceite en la superficie del agua parecerá ser más fría que el agua libre de aceite a la misma temperatura, ya que el aceite tiene una más baja emisividad. Esta característica puede ser utilizada para detectar descargas no autorizadas o en operaciones de limpieza.

La transmisión de la EMR a través del agua es importante cuando se necesita información sobre las condiciones o fenómenos debajo de la superficie. La transmisión, sin embargo, es esencialmente limitada al espectro visible y es mayor en las longitudes de onda azul y verde. Como era esperado, hay mayor transmitancia a través de agua clara que a través de agua turbia.

La transmitancia puede ser alterada por ciertos materiales orgánicos tanto naturales como elaborados por el hombre.

La energía que es detectada por un sensor puede ser reflejada por la superficie del agua o por partículas suspendidas en la superficie del agua o por materiales del fondo. En la medida que el porcentaje de luz que es transmitido decrece, la habilidad de "ver" en el agua es también decrecida ya que la energía es atenuada al acercarse y al retirarse del reflector. Partículas suspendidas producen un efecto de dispersión de volumen que es análogo al causado por aerosoles atmosféricos; si la concentración es relativamente baja, su reflectancia es sobrepuesta a la reflectancia proveniente de materiales del fondo. A altas concentraciones, partículas suspendidas pueden efectivamente bloquear transmisiones hacia o desde bajas profundidades. En la ausencia de reflexiones de fondo, la reflectancia del agua puede ser utilizada para medir la concentración de materiales suspendidos. En la medida que el nivel de clorofila se incrementa, existe un decremento en reflectancia entre 0.4 y 0.5 µm y a mayores concentraciones hay un incremento de reflectancia en el rango de 0.5 a 0.6 µm. Los sedimentos suspendidos descargados por ríos son particularmente grandes reflectores. El mapeo de estas plumas de sedimentos es un medio para estudiar los patrones de mezcla y circulación de aguas. Mediciones en las bandas de 0.6 y 0.7µm muestran un alto grado de correlación con concentraciones de sedimentos suspendidos. Sin embargo, dado que se reflejan fuertemente en un amplio rango de longitudes de onda, altas concentraciones de sedimento pueden interferir o impedir mediciones de clorofila.

CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LOS SUELOS

La observación de la reflectancia del suelo en el visible y en los infrarrojos próximo y medio es importante, al menos por dos razones.

En primer lugar, la extensa presencia del suelo sobre la superficie terrestre. Con la excepción de las superficies cubiertas por hielo, nieve y materiales artificiales, el suelo intercepta gran parte de la radiación electromagnética procedente del sol. Incluso, una parte de la radiación incidente sobre cubiertas vegetales densas penetra hasta el suelo subyacente. Consecuentemente, el suelo influye en la reflectancia de cubiertas vegetales en mayor o menor medida dependiendo de la densidad de la cubierta y el estado vegetativo de la misma.

Una segunda razón para el estudio de las propiedades reflectantes es de tipo edafológico. La edafología es el estudio de los suelos considerados como resultado de procesos de alteración y condicionados por el tipo de roca madre, el clima, la geomorfología, la actividad biológica y el tiempo de evolución. La edafología incluye la descripción, caracterización cuantitativa, clasificación y cartografiado de suelos. Debido a que las características de la radiación reflejada por un material dependen de las propiedades del mismo, la observación de la reflectancia de los suelos, puede proporcionar información de las propiedades y el estado del suelo. La aplicación más familiar del anterior concepto es la observación del color del suelo para describir y ayudar a clasificar suelos.

COMPOSICION Y PROPIEDADES FISICAS

Los principales componentes del suelo son los siguientes: sólidos inorgánicos, materia orgánica, aire y agua. El componente inorgánico o fracción mineral contiene fundamentalmente minerales cristalinos, pero también existe cierta cantidad de sustancias no cristalinas. La materia orgánica consta de raíces, restos vegetales y organismos vivos del suelo. Los espacios vacíos entre los materiales sólidos son ocupados por aire y por agua, en proporción variable, dependiendo de las características del suelo y de su estado. El agua del suelo, en realidad, es una solución que contiene cierta cantidad de sustancias disueltas. Las moléculas de agua pueden, también encontrarse como componentes en ciertas estructuras cristalinas.

Los minerales del suelo

Los minerales del suelo se derivan de la transformación de la roca madre. Los minerales se clasifican en primarios y secundarios, dependiendo del origen. Los minerales primarios son, originariamente, componentes de las rocas ígneas y metamórficas y se forman a presiones y temperaturas muy superiores a las encontradas en la superficie terrestre. Los minerales primarios se incorporan a los suelos cuando las rocas sufren disgregación física y mecánica . Los minerales secundarios se forman como consecuencia de la alteración química de los minerales primarios. Por otra parte, los edafólogos clasifican los minerales del suelo según el tamaño de partícula de la siguiente forma:

Arena gruesa: 2 a 0.2 mm. Arena fina: 0.2 a 0.02 mm. Limo: 0.02 a 0.002 mm. Arcilla: < 0.002 mm. La arena y el limo están constituidos, fundamentalmente por minerales primarios y, en general, principalmente de cuarzo, debido a la gran resistencia de este mineral a la alteración química.

El estudio de las propiedades de reflectancia de los minerales primarios se complica, debido a las impurezas

Los minerales, en la naturaleza, raramente se encuentran puros debido a que restos o trazas de otros minerales son, frecuentemente, atrapados por la estructura cristalina durante el proceso de cristalización. Estas impurezas afectan al color y a las propiedades reflectantes de los minerales.

A partir de los minerales primarios se producen los secundarios bien por alteración química de los mismos o por recristalización de los productos de descomposición. Los productos más abundantes, como consecuencia de las acciones anteriores son minerales de arcilla y óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio, silicio y titanio. En esos procesos también se producen carbonatos, sulfatos y fosfatos.

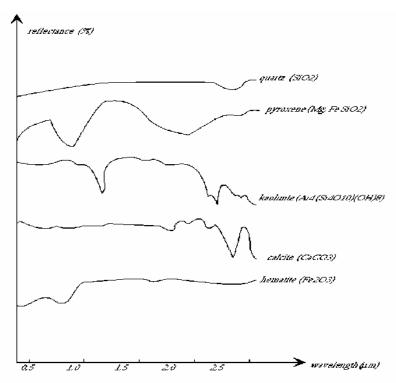


Figura 18: Firma espectral de algunos minerales del suelo

Tamaño de partícula

En general, la reflectancia es inversamente proporcional al diámetro de la partícula. Esto es una característica de los materiales transparentes y la mayor parte de los silicatos se comportan como tales en las longitudes de onda pequeñas (también sucede con los carbonatos). Sin embargo, para los materiales opacos, tales como algunos óxidos y sulfuros la reflectancia disminuye al disminuir el tamaño de partícula.

A pesar de lo anterior, es evidente, que los suelos arcillosos suelen aparecer más oscuros que los suelos arenosos aunque tienen menor diámetro de partícula. Esta aparente contradicción puede explicarse, en parte, por las diferentes mineralogías de la arcilla y la arena, pero también puede ser debida a la tendencia de las partículas de arcilla a formar agregados.

En todo caso, hemos de considerar que en la reflectancia influye además del tamaño de partícula, la forma de la misma, así como el tamaño y la forma de los agregados.

LA MATERIA ORGANICA

La materia orgánica del suelo procede de la descomposición de restos de plantas y animales, de sustancias derivadas de los productos de descomposición, de microorganismos y de pequeños animales que viven en el suelo. Todas estas sustancias se clasifican, bien como humus o como sustancias no húmicas. El humus es un producto final de descomposición formado por una mezcla compleja y resistente de sustancias, amorfas y coloidales, de color marrón y marrón oscuro. El humus constituye aproximadamente entre el 65 y el 75% de la materia orgánica de los suelos minerales.

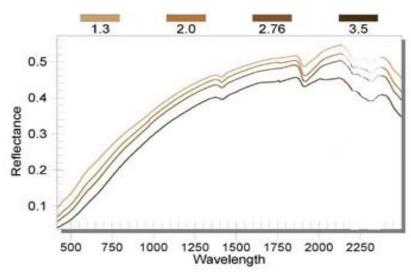


Figura 19: Firma espectral de suelos a incrementos de carbono orgánico

Los suelos minerales, por contraposición a los orgánicos, contienen, por definición, menos del 20% de materia orgánica (MO) y cubren más del 95% de los suelos del mundo. El contenido en MO es variable y dependiente del tipo de suelo, muchos suelos no llegan a superar el 1%. A pesar del bajo contenido en MO, ésta ejerce una gran influencia sobre propiedades del suelo tales como la estructura, fertilidad, capacidad de retención de agua y particularmente sobre la reflectancia.

MATERIA ORGANICA.

Tanto el contenido en MO del suelo como la forma en que ésta se encuentra ejercen una gran influencia sobre la reflectancia. En el intervalo de 0,4-2,5 micras, cuanto mayor es el contenido en MO, menor es la reflectancia del suelo. Cuando el contenido en MO supera el 2%, quedan enmascaradas otras características del suelo y la reflectancia del mismo está prácticamente determinada por la MO, el enmascaramiento de los otros componentes del suelo queda muy atenuado cuando el contenido de MO disminuye por debajo del 2%.

Los constituyentes de la MO influyen sobre la reflectancia de forma diferente, aunque la contribución individual es difícil de cuantificar, como así también el estado de descomposición de la MO.

EL AIRE Y EL AGUA DEL SUELO

Los espacios vacíos que quedan entre las partículas y entre los agregados sólidos del suelo son ocupados por aire y agua en proporciones variables. El agua del suelo es una solución que contiene cierta concentración de sustancias solubles en equilibrio con la fase sólida. El aire del suelo tiene una composición que difiere de la atmosférica fundamentalmente por su mayor concentración de anhídrido carbónico y menor concentración de oxígeno, ello, fundamentalmente como resultado de la actividad biológica de la raíces y de los microorganismos.

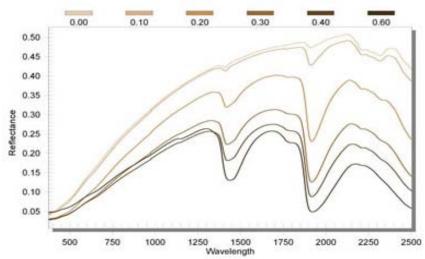


Figura 20 : firma espectral del suelo a incrementos del contenido volumétrico de agua.

Cuando el suelo se humedece, inicialmente el agua ocupa todos los espacios vacíos, pero progresivamente, por efecto de la gravedad va drenando en profundidad y abandonando los espacios de mayor diámetro, transcurrido cierto tiempo sólo los capilares de cierto diámetro se encuentran ocupados por el agua, este estado de humedad recibe el nombre de capacidad de campo y es una característica fundamental de los suelos desde el punto de vista de su aptitud para retener agua.

Es evidente que la mayor parte de los suelos aparecen más oscuros cuando están húmedos que cuando están secos. Esto es una consecuencia de la disminución de la reflectancia en la región visible del espectro.

Se atribuye el citado descenso a las reflexiones múltiples de la radiación en el interior de la fina película de agua que cubre las partículas, reflejándose sucesivamente en la superficie de la partícula y la superficie de la película.

Se observó, así mismo, que la disminución en reflectancia fue mayor al humedecer suelos de bosque conteniendo poca materia orgánica que al humedecer suelos de pradera con alto contenido en MO.

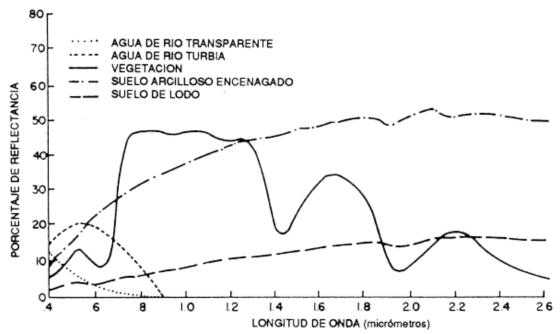


Figura 21 : Firmas Espectrales características

TEXTURA Y ESTRUCTURA

La composición porcentual de los tamaños de las partículas minerales que constituyen el suelo (arena, limo y arcilla) determina la textura del mismo, obteniéndose una clasificación de los suelos como consecuencia de la misma (arenosos, limosos, arcillosos, francos, etc.). El hecho de que las partículas del suelo se unan formando agregados hace que éstos adquieran una estructura, que puede ser de diversos tipos (cúbica, columnar, grumosa, etc.).

La textura de un suelo tiene gran importancia sobre ciertas propiedades del mismo tales como su aptitud para el laboreo, su fertilidad sus características hidráulicas y, particularmente, su reflectancia. Por ejemplo, los suelos arenosos suelen tener colores más claros que los arcillosos.

En lo que se refiere a la estructura, la formación de agregados, generalmente aumenta la porosidad y permite una mayor aireación y capacidad de drenaje del suelo. La estructura del suelo junto con la textura y la composición son las principales propiedades del suelo que determinan el movimiento del agua del suelo, la transferencia de calor, la porosidad, la aireación, la densidad aparente y la reflectancia.

El estado de rugosidad de la superficie del suelo puede afectar de forma importante a la reflectancia del mismo. En general, un aumento de la rugosidad determina una menor reflectancia del suelo, esto es debido, por una parte al aumento de la componente de dispersión de la radiación en detrimento de la radiación reflejada especularmente y por otra por el aumento de la sombra de las propias partículas.

Los suelos con costra superficial presentan una mayor reflectancia en la región 0,43-0,83 micras que los mismos suelos con la costra destruida. Así mismo, en los suelos recién labrados se observa una disminución de reflectancia causada, tanto por el efecto de rugosidad como por el aumento de la humedad superficial que suele producirse.

La reflectancia también depende del ángulo de elevación solar, el cual depende de la hora del día y de la estación del año y determina el ángulo de iluminación, cuanto

mayor la elevación del sol, menor es la reflectancia, este efecto parece debido a una mayor penetración de la radiación incidente en el interior de los espacios vacíos de la capa superficial.

COLOR

El color es uno de los más sencillos y útiles atributos para la determinación de las diferencias entre suelos y para describir las características del perfil. La reflectancia en el intervalo del visible, o color, es una característica tenida en cuenta en los sistemas de clasificación modernos de suelos tanto para las características superficiales como para caracterizar los horizontes de diagnóstico (horizontes cuyas características especificas constituyen un factor determinante en la clasificación de los suelos). Si bien, la determinación de la gran mayoría de las características de los suelos necesitan procedimientos instrumentales más o menos complicados; para la determinación del color, los edafólogos realizan una comparación directa con ciertos patrones de color estandarizados tales como los que constituyen la carta Munsell.

INFLUENCIA DE LA CUBIERTA SUPERFICIAL DEL SUELO SOBRE LA REFLECTANCIA

La composición espectral de la radiación reflejada por los suelos es muy diferente de la reflejada por las plantas. Por ello, la densidad, morfología, y la distribución geométrica de las hojas de la cubierta vegetal son factores que condicionan la respuesta espectral del suelo subyacente.

Cuando la cubierta vegetal de un suelo es inferior al 15 %, el carácter espectral es parecido al de un suelo desnudo, en tanto que si supera el 40%, la respuesta es parecida a la de la vegetación.

A pesar de que una cubierta vegetal densa enmascare la respuesta del suelo, sin embargo, las características vegetativas de la cubierta vegetal se encuentran determinadas por las propiedades del suelo subyacente y el estado del mismo, por ello puede realizarse una estimación indirecta de las citadas propiedades.

Además de vegetación viva, frecuentemente, y sobre todo en suelos cultivados, aparecen restos de cosechas o vegetación muerta que también alteran las propiedades reflectantes de los suelos, en este sentido hay que tener en cuenta las características espectrales propias de los citados restos (hojas senescentes).

CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LA VEGETACION

El estudio de las propiedades ópticas de las cubiertas vegetales presenta un cierto nivel de complejidad debido a que las mismas, no sólo varían con las características propias de los vegetales, sino que dependen también de otros factores tales como la elevación solar, posición del sensor, condiciones atmosféricas, color del suelo, orientación de las líneas de cultivo, geometría de la cubierta, etc. (ver Figura 22).

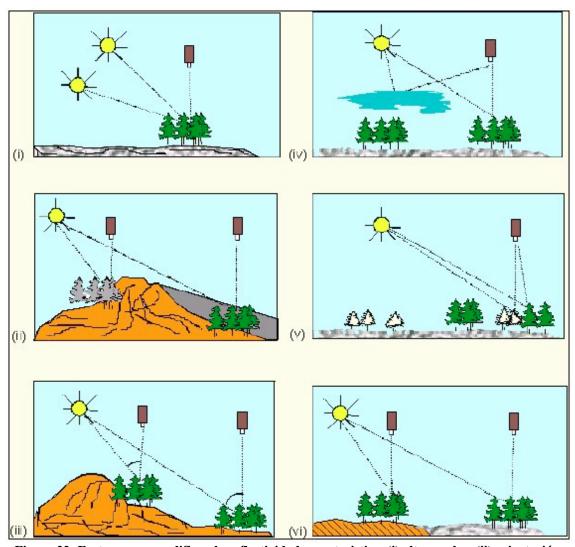


Figura 22: Factores que modifican la reflectividad característica. (i) altura solar, (ii) orientación, (iii) pendiente, (iv) atmósfera, (v) fenología, (vi) sustrato

INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DE LAS CUBIERTAS VEGETALES

Hojas

En la estructura fisiológica de una hoja de dicotiledónea se aprecian una serie de capas con estructura y propiedades particulares y que ordenadas desde la parte superior (haz) hasta la inferior (envés) son las siguientes:

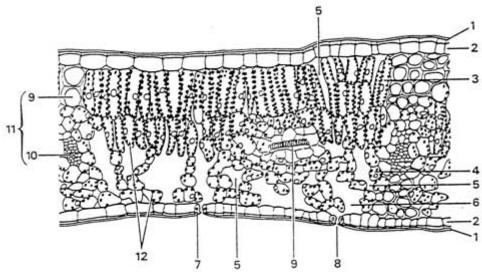


Figura 23 : Estructura de la hoja

- 1.- Cutina. 2.- Epidermis. 3.- Parénquima en empalizada. 4.- Parénquima lagunar. 5.- Espacios intercelulares. 6.- Cámara subestomática. 7.- Células estomáticas con cloroplastos. 8.- Estoma. 9,10 y 11.- Vasos conductores. 12.- Cloroplastos.
 - 1. Cutícula.- es una fina película que recubre el tallo y las hojas de las plantas, asegura una función de protección y juega un papel más o menos importante en la reflectancia, no contiene cloroplastos.
 - 2. Epidermis superior.- conjunto de células estrechamente unidas que no contiene clorofila, su función es de protección, al igual que la anterior. posee, así mismo una cierta cantidad de estomas (aberturas naturales con funciones de respiración y excreción) aunque éstos son más abundantes en la epidermis inferior.
 - 3. Parénquima en empalizada.- células de forma paralepipédica, muy unidas entre sí y orientadas en el mismo sentido. En esta zona se ubica la mayoría de los cloroplastos, así mismo, la presencia de granos de almidón y de diversos cristales aumenta la absorción.
 - 4. Parénquima lagunar.- células desordenadas, más redondeadas que en el caso anterior, con grandes espacios llenos de aire y de líquido, con menos pigmentos que la capa anterior.
 - 5. Epidermis inferior.- análoga a la superior pero con más cantidad de estomas.
 - 6. Cutícula.- similar a la superior.

Ciertas plantas, con hojas verticales, poseen parénquima en empalizada también en la cara inferior.

Las propiedades ópticas de cosechas y cubiertas forestales dependen, principalmente, de las propiedades ópticas de las hojas y del suelo subyacente, pero también pueden verse afectadas por las características de otras partes de las plantas, tales como las cortezas de los árboles, las flores, los frutos, etc. Todas las hojas de los vegetales presentan una curva de reflectancia cuya forma es muy parecida. La citada curva presenta una forma característica en cada una de las tres regiones espectrales del visible, IR próximo e IR medio.

En el intervalo del visible (0,4-0,7 micras) la reflectancia de la hoja es pequeña (menos del 15%) y la transmitancia es también pequeña. La parte principal de la

radiación incidente es absorbida por pigmentos tales como la clorofila, la xantofila, los carotenoides y las antocianinas. De ellos, los que mas absorben son las clorofilas a y b, que constituyen en torno al 65% de los pigmentos de las hojas de las plantas superiores, y que presentan dos bandas de absorción centradas en la región del azul y del rojo, por ello, en esta región, aparece un máximo en las 0,55 micras, que explica el color verde de las hojas.

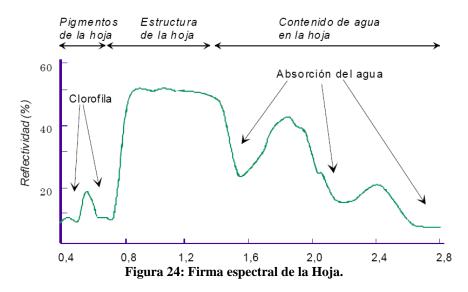
En el intervalo del IR próximo (0,7-1,3 micras) los pigmentos foliares y la celulosa de las paredes celulares se muestran como transparentes, por ello, la absorbancia de la hoja es muy baja (menos del 10%) y la radiación incidente es reflejada o transmitida. La reflectancia alcanza valores muy elevados (del orden del 50%) obteniéndose en el infrarrojo lo que se muestra como una "meseta" en la curva espectral, en esta región, la reflectancia depende de la estructura anatómica de las hojas, aumentando con el número de capas celulares, con el tamaño de las células y dependiendo así mismo de la orientación de las paredes celulares y del contenido celular.

En el intervalo del IR medio (1,3-2,5 micras) las propiedades ópticas de la hoja se encuentran influidas, principalmente, por el contenido en agua, aparecen fuertes bandas de absorción de agua en 1,4; 1,9 y 2,5 micras, produciendo mínimos de reflectancia en estas longitudes de onda. Entre los mínimos citados pueden aparecer mínimos menos patentes, también debidos a la influencia del agua. El nivel de reflectancia de los máximos relativos en esta región también varía en función del contenido en agua.

Propiedades reflectantes de las hojas

Cuando una radiación incide sobre una superficie, más o menos rugosa, la radiación reflejada tiene, principalmente, dos componentes, uno de los cuales es radiación dispersada en gran número de direcciones (difusa) y otra es una componente direccional o especular.

La reflectancia difusa varía con la longitud de onda y depende de la estructura interna de la hoja, de su pigmentación y de su contenido en agua. La reflectancia especular se debe a la cutícula de la hoja.



Si se considera un flujo incidente normal a la superficie foliar, la reflexión especular puede despreciarse, dispersándose la practica totalidad de la radiación reflejada y esto sucede en todas las longitudes de onda. Sin embargo, cuanto mayor es el ángulo de incidencia (con respecto a la normal), mayor es el componente especular en las longitudes de onda del visible, en tanto que en el IR próximo las hojas se comportan como difusores lambertianos (dispersan la radiación reflejada).

La reflectancia en el IR próximo depende, en gran medida, de la estructura anatómica de la hoja. Depende del número de capas celulares, el tamaño de las células y el espesor relativo del parénquima lagunar. Como consecuencia de ello, las hojas de dicotiledóneas presentan una mayor reflectancia que las de monocotiledóneas, aunque tengan el mismo espesor, ya que el parénquima lagunar de las primeras está más desarrollado. Por la misma razón, las hojas de las plantas más adaptadas a la sequía presentan una reflectancia muy alta en el IR próximo.

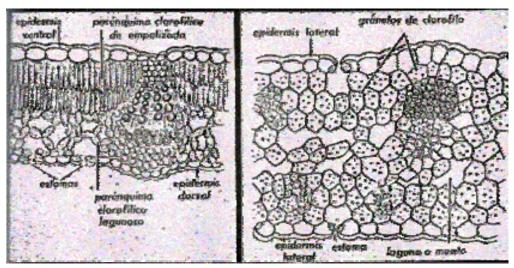


Figura 25 : Estructura de hojas, (izq.) Dicotiledónea. (der.). Monocotiledóneas.

En lo que respecta al proceso de senescencia, la desaparición de la clorofila y su sustitución por pigmentos marrones, produce un aumento de las reflectancias del amarillo-verde y del rojo. En el IR próximo, la reflectancia sólo varía cuando las hojas se secan y cambia su estructura interna. En el IR medio el aumento de reflectancia foliar está relacionado con su secado, a estos efectos, debe considerarse que la disminución del contenido en agua, por el secado, comienza relativamente tarde, cuando la hoja ya está amarilla.

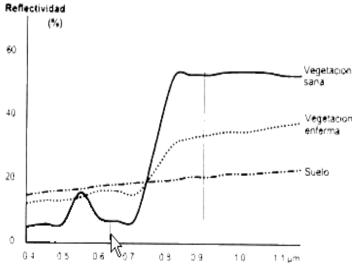


Figura 26: Firma espectral de vegetación sana y enferma en relación al suelo.

Las diferentes especies vegetales pueden presentar distinto contenido en agua como consecuencia de sus características específicas, también puede variar en una misma especie debido al estado fisiológico. El contenido en agua ejerce, no sólo un efecto directo en el IR medio, sino también un efecto indirecto en la reflectancia del visible y del IR próximo debido a su efecto sobre la turgencia celular, por ello una disminución del contenido en agua produce un aumento de la reflectancia en el conjunto de espectro. A pesar de lo dicho, si bien esos efectos se detectan fácilmente en condiciones de laboratorio, en condiciones naturales es necesario tener unas condiciones de sequía extrema para apreciarlos con claridad.

Las hojas de las plantas también pueden presentar carencias en su estado nutritivo, esto puede manifestarse en una disminución de clorofila o en una alteración de su estructura anatómica.

La deficiencia en nitrógeno aumenta la reflectancia en el visible (por la disminución del contenido en clorofila), en tanto que se produce una disminución de la reflectancia en los IR próximo y medio (debido a la disminución del número de capas celulares).

Las enfermedades y plagas pueden afectar, así mismo, a las propiedades espectrales de las hojas de diferentes formas, por ejemplo, cambiando el contenido en pigmentos, induciendo necrosis, produciendo otros pigmentos o bien modificando la transpiración foliar, esto último puede detectarse en el IR próximo.

Influencia de otras partes de la planta

La presencia de flores puede alterar, significativamente, la reflectancia de las plantas, durante un cierto tiempo, esto es particularmente importante en ciertos cultivos anuales con floración muy patente (girasol), aunque también llega a tener cierto efecto en la respuesta espectral de praderas y pastizales durante la primavera.

En el caso de especies forestales, la reflectancia de los árboles depende, no sólo de las hojas, sino también de la corteza y de las piñas (en coníferas).

REFLECTANCIA DE CUBIERTAS VEGETALES

La reflectancia de cubiertas vegetales es una combinación de la reflectancia de las propias plantas y de la del suelo subyacente. Conforme una cubierta vegetal se desarrolla, la contribución del suelo disminuye progresivamente. Por ello, durante el crecimiento de las plantas, las reflectancias del visible y del IR medio disminuyen en tanto que aumenta la del IR próximo. Durante la senescencia se aprecia el efecto inverso.

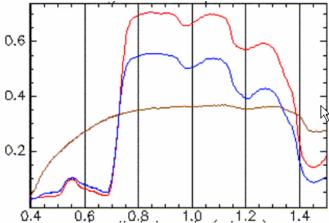


Figura 27 :Firma espectral de la hierba húmeda (en rojo) y de un pinar (azul), en comparación con la hierba y hojas secas (en marrón).

A los efectos que consideramos, es importante medir el nivel de cobertura del suelo por parte de la vegetación, en este sentido hemos de considerar el LAI (leaf area index = Índice de area foliar) el cual expresa el total de superficie de hojas por unidad de superficie de terreno.

Conforme aumenta el desarrollo de una cubierta vegetal, como ya se ha dicho, la influencia del suelo va siendo progresivamente menor.

El espectro de reflectancia de una cubierta forestal depende de la reflectancia de los árboles y también de la del suelo, el cual puede estar, a su vez, cubierto por un estrato herbáceo y un estrato arbustivo. Si la densidad de arbolado es muy pequeña, las características de la reflectancia pueden ser debidas, en mayor medida, al suelo, el estrato herbáceo y al estrato arbustivo que a las características del propio arbolado.

INFLUENCIA DE LA ELEVACION SOLAR

Los rayos de sol penetran, tanto más profundamente en una cubierta vegetal, cuanto mayor es la verticalidad de los mismos, por ello, varía la relación entre superficie iluminada y superficie en sombra con la incidencia correspondiente sobre la reflectancia. Este efecto de la elevación solar se aprecia en dos niveles temporales, uno de ellos como consecuencia de la variación de la elevación solar a lo largo del día y el otro como consecuencia de la variación a lo largo del año.

Cuando las características de una superficie natural no cambian, significativamente, a lo largo del año (bosque de coníferas, suelo desnudo, rocas, etc.) la variación de sus características espectrales a lo largo del año, se debe, principalmente, a las variaciones anuales de la elevación solar, en este caso, la influencia de ésta, puede estimarse con cierta facilidad. Para vegetación de tipo anual, la evolución de la reflectancia bidireccional a lo largo del año depende, además de la elevación solar, de los cambios en la propia cubierta vegetal, siendo difícil separar estos efectos.

PLATAFORMAS DE SENSORES

La percepción remota de un ambiente terrestre puede realizarse desde una variedad de plataformas de observación. Dependiendo de la distancia entre el sensor y el objetivo, se puede identificar categorías de plataformas: globos, aviones y satélites.



Figura 28 : imagen de Julius Neubronner, que ha quedado en la historia por ser el primero en utilizar un temporizador montado en una paloma en 1903.

GLOBOS

Globos flotantes o anclados han sido utilizados de manera limitada para la fotografía aérea.

Los globos son de uso limitado para la percepción remota de grandes superficies debido a su baja velocidad.



Figura 29: Utilización de cámaras fotográficas a bordo de globos. Las primeras fotos aéreas de la historia fueron tomadas a la ciudad de París en 1859.

AVIONES

Los aviones han sido utilizados extensivamente como plataformas de percepción remota para el mapeo de tierras y costas.. Este es uno de los métodos más eficientes de percepción remota de la superficie de la tierra a grandes escalas. Los aviones tienen la ventaja de optimizar la adquisición de datos al proveerle al operador acceso a la instrumentación de percepción remota y al permitir un amplio rango de parámetros de adquisición. Una misión de percepción remota puede realizarse sobre un área particular en un momento específico (permitido por las condiciones del tiempo) y puede ser repetido bajo condiciones controladas. Una altitud adecuada puede ser seleccionada para optimizar la resolución y el área de cobertura. Aviones comerciales disponibles pueden alcanzar una altitud de 15 kilómetros. Los aviones pueden ser equipados con equipo fotográfico blanco y negro, color o color infrarrojo (CIR), barredores multiespectrales o sensores activos tales como el radar.

Las principales desventajas de la percepción remota desde un avión, son la inestabilidad de la plataforma, la cobertura geográfica limitada (debido a la relativamente baja altitud del avión), el alto costo y la dependencia de las condiciones ambientales. Este método, por lo tanto, es utilizado principalmente para misiones críticas en tiempo. Cuando la misión requiere imágenes repetitivas de la misma área, es generalmente preferido el más bajo costo de acceso a los datos de satélite.

SATÉLITES

Con el uso de satélites como plataformas de percepción remota, ha sido posible superar algunas de las dificultades enfrentadas en la percepción remota con aviones. Los satélites pueden monitorear el total de la superficie de la tierra sobre bases periódicas, cubriendo una sección suficientemente grande en cada revolución. Los satélites diseñados para percepción remota sobre bases operacionales son generalmente no tripulados. Sin embargo, algunos satélites tripulados han proporcionado información valiosa a pesar de la corta duración de sus misiones, por ejemplo, SKYLAB, SOYUZ y los trasbordadores espaciales.

Parámetros Orbitales

La órbita teórica de un satélite es una elipse. En el caso de satélites ambientales, sin embargo, esta elipse es generalmente considerada como un círculo teniendo a la tierra como su centro. Las órbitas de los satélites se describen como sigue.

- ecuatorial teniendo una órbita dentro del plano del ecuador;
- polar teniendo una órbita dentro del plano de los ejes de la tierra;
- polar cercano teniendo una órbita oblicua a los ejes de la tierra.

La mayoría de los satélites de comunicación tienen órbitas ecuatoriales, mientras que las series de satélites de observación de la tierra tienen órbitas polares o polares cercanas.

La inclinación orbital "i" puede ser definida como el ángulo formado por el plano orbital y el plano ecuatorial.

Los satélites orbitales polar cercano pueden ser de dos tipos:

1. progrado - los cuales se mueven en la misma dirección de la rotación de la tierra, esto es, "i" es menor que 90°;

2. retrogrado - los cuales se mueven en dirección opuesta a la rotación de la tierra, "i" está entre 90° y 180°.

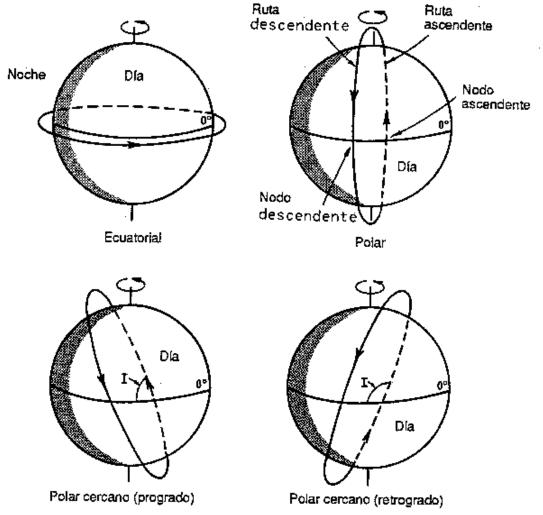


Figura 30 : Tipos de Orbitas en los satélites.

La ruta de un satélite cruza el ecuador en los puntos nodales. El nodo ascendente es el punto nodal en el cual la ruta hacia el norte del satélite cruza el plano ecuatorial, y el nodo descendiente es el punto nodal en el cual la ruta hacia el sur cruza el plano ecuatorial. Dos órbitas particulares son descritas por la casi completa cobertura de la tierra de los satélites ambientales: la órbita geosincrónica y la órbita heliosincrónica.

Orbita geosincrónica

Las órbitas geosincrónicas tienen altitudes de hasta 36000 Km. Los satélites en estas órbitas se mueven en la misma dirección de la rotación de la tierra (progrado) y sus velocidades son ajustadas para mantener la posición de los satélites sobre un punto designado sobre la superfície de la tierra. Cuando el satélite geosincrónico "fluctúa" en el plano ecuatorial (inclinación orbital "i" igual a cero), es llamado un satélite geoestacionario, por ejemplo, la serie GOES/ METEOSAT de satélites meteorológicos. Los satélites geoestacionarios no pueden tomar imágenes de la tierra en latitudes mayores a 80°. Son generalmente capaces de tomar imágenes y leer- toda su área visible (1/3 de la superfície de la tierra) cada 30 minutos. El área visible grande y la

repetitividad de la adquisición de datos, han hecho este tipo de satélites muy populares para estudios meteorológicos y oceanográficos.

Las principales ventajas del satélite geosincrónico son:

- la más frecuente observación posible de la región iluminada de la tierra desde un sistema orbital;
- la posibilidad de barrer el mismo punto de la tierra repetidamente, generando series de imágenes espacialmente coregistradas;
- la más grande cobertura de área posible desde un sistema orbital;
- el uso efectivo de telecomunicaciones.

Las principales desventajas de un satélite geosincrónico son:

- las dificultades económicas y tecnológicas de poner el sistema en una órbita tan alta y el obtener un adecuado comportamiento de los sensores llevados a bordo (una adecuada resolución espacial);
- la pobre cobertura polar.

Orbita heliosincrónica

Esta es un órbita mucho más baja (alrededor de 900 km) que la órbita geosincrónica. La inclinación de la órbita relativa al ecuador es cercana a los 90° (polar o polar cercano) y los satélites (LANDSAT, NOAA, SPOT, etc.) cruzan el ecuador a la misma hora solar cada día. Esto significa que un punto particular de la tierra es visto regularmente (dependiendo del período del satélite) a la misma hora, lo cual es útil para análisis comparativo de datos multitemporal. Al seleccionar una órbita particular es posible no solamente obtener una cobertura repetida de toda la superficie de la tierra, sino que permite seleccionar los intervalos entre observaciones de un sitio específico. Esto es logrado por satélites de bajo nivel con órbitas heliosincrónicas polares o polares cercanas. Por ejemplo, LANDSAT-4 tenía un ángulo de inclinación de 98.3°. Cruza el ecuador cada 98.5 minutos y durante ese intervalo de tiempo la tierra a rotado "s":

```
R = radio de la tierra = 6400 km
T = período de la tierra = 24 horas = 1440 minutos
El número de rotaciones por día está dado por el cociente:
1440/98.5 = 14.62 Revoluciones por día
```

El satélite sobrevuela un mismo sitio dado cada 233 revoluciones (esto es, 16 días).

Las principales ventajas de los satélites heliosincrónicos son:

- La factibilidad económica y tecnológica de poner un sistema de órbita baja y de obtener rendimiento o comportamiento adecuado de los sensores llevados a bordo (alta resolución espacial en el orden de diez metros);
- La posibilidad de darle servicio al sistema orbital con sistemas espaciales tripulados.

Las principales desventajas de los satélites heliosincrónicos son:

• la baja repetitividad de su cobertura (por ejemplo, en el orden de semanas) este problema sin embargo puede ser superado con una apropiada combinación de parámetros orbitales y de características de las imágenes a obtenerse con los sensores. El mismo sitio puede por lo tanto ser

fotografiado frecuentemente, cada 1 a 3 días, dependiendo de la latitud, a pesar de que son requeridas correcciones para compensar la variabilidad del ángulo de incidencia;

• la pérdida de oportunidades de obtener imágenes debido a la cobertura de nubes, pequeña área de cobertura y baja repetitividad.

RESOLUCIÓN DE UN SISTEMA SENSOR

La teledetección de cualquier fenómeno requiere el concurso de tres factores; a saber, una fuente energética de radiación electromagnética, la interacción de dicha radiación con la superficie del objeto a estudiar y un sistema de detección que reciba la radiación reflejada. En este apartado vamos a estudiar estos elementos denominados sensores, sus características que nos permitirán sacar conclusiones sobre ventajas y desventajas entre cada uno de ellos.

A nuestros fines un sensor es un dispositivo que detecta radiación electromagnética emitida o reflejada y la convierte en un valor físico que puede ser grabado y procesado.

Entre las variadas formas de clasificar los sensores remotos, una de las más habituales es considerar su procedimiento de recibir la energía procedente de las distintas cubiertas. En este sentido, se puede hablar de dos tipos de sensores: pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía.

Antes de describir los distintos tipos de sensores existentes, conviene analizar algunos conceptos previos que les afectan a todos y que nos va a permitir un marco para poder comparar los distintos tipos de satélites.

Podemos definir la resolución de un sistema sensor como su habilidad para registrar, discriminando la información en detalle. El concepto de resolución implica al menos cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

RESOLUCIÓN ESPACIAL

Este concepto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. En un sistema fotográfico, suele medirse como la mínima separación a la cual los objetos aparecen distintos y separados en la fotografía. Se mide en unidades de longitud (mm sobre la foto o metros sobre el terreno), y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie.

Por su parte, en los sensores óptico-electrónicos, se prefieres utilizar el concepto de campo de visión instantáneo (IFOV). El IFOV se define como la sección angular, medida en radianes, observada en un momento determinado. No obstante, se suele utilizar preferentemente la distancia sobre el terreno que corresponde a ese ángulo, teniendo en cuenta la altura del vuelo y la velocidad de exploración del sensor. Simplificando las cosas, esa distancia se corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen (píxel).

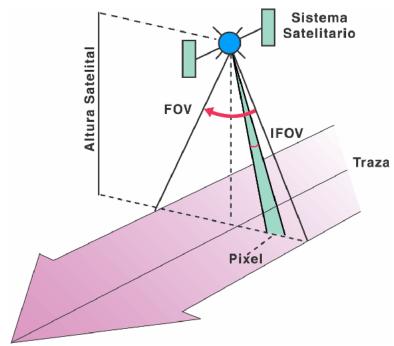


Figura 31 : Diagrama de caracterización para el IFOV, FOV; y Píxel.

La resolución espacial en la superficie varía en función de la distancia del satélite y el ángulo de observación relativo a la vertical. De esta manera, la resolución en los extremos de una imagen puede ser varias veces mayor que la del nadir (punto de la superficie más cercano al satélite y que suele coincidir con el centro de la imagen) del satélite. Más aún, si bajo el satélite el IFOV es cuadrado, irá adquiriendo una forma rectangular hacia los extremos. Estos factores han de ser tenidos en cuenta para una interpretación correcta de los datos.

Cada problema tiene su resolución espacial más apropiada. Una resolución muy alta para el estudio de eventos de escalas pequeña (Escalar grande), sería claramente contraproducente y necesario en ciertos estudios de carácter urbano en donde se precisan de resoluciones menores a 1 metro.

En resumen: Resolución espacial es la minima porción del terreno representada por un dato (o ND ,Numero Digital según Chuvieco).

También se asocia este concepto al tamaño total de la escena captada por el sensor... por Ej. En Landsat es de 185 km x 185 km, en Spot es de 120 x 120.

RESOLUCIÓN ESPECTRAL

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas que proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas. A la vez, conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas con el objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés.

Ej. La banda pancromática del SPOT es de menor resolución que la XS en función del ancho del espectro captado.

Por tanto a menor ancho espectral... mayor resolución. El problema que surge es que también se reduce la relación S/N (Signal / Noise o señal/ruido), por lo que es necesario llegar a una solución de compromiso entre ambas magnitudes.

Dependiendo del propósito del sensor, este factor tendrá más o menos importancia. La elección de un número apropiado de bandas y la correcta selección de su anchura pueden proporcionar ventajas a la hora de realizar clasificaciones entre cubiertas de respuesta espectral semejante. Por ejemplo el índice de vegetación procede de la relación entre las reflectividades en el infrarrojo cercano y en el rojo, y nos da una medida del vigor de la cubierta vegetal. Un ancho de banda inadecuado o la elección incorrecta del número y posición de las bandas conduce a pobres resultados.

RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA

La resolución o sensitividad radiométrica hace referencia al rango dinámico o número de nivel digital usados al digitalizar la información procedente del sensor (bits por píxel). En general, mayor número de niveles mayor detalle de la información.

La resolución radiométrica es variable según la banda espectral bajo análisis. El valor elegido es una decisión de compromiso entre la fidelidad con la que se quiere captar un fenómeno y la cantidad de información que hay que transmitir (no hay que olvidar que todo la información que se genera debe ser tratada y transmitida a tierra). En imágenes de satélite rangos dinámicos de 64, 128 y 256 e incluso 1024 niveles son valores habituales.

Para el caso de fotografías este valor dependerá de la forma en que se obtiene los valores digitales.

En caso de que se haya usado Scanners para la digitalización (o Rasterización), la resolución radiométrica estará dada por el scanner. Según se haya configurado el software del mismo.

RESOLUCIÓN TEMPORAL

Tiene dos posibles acepciones:

- 1. Tiempo de revisita. Es decir el intervalo de tiempo mínimo para que un satélite pase por la misma zona de la cobertura terrestre.
- 2. al intervalo de tiempo entre tomas sucesivas de la misma zona de la cobertura terrestre.

Las diferencias entre ambos conceptos se entienden tomando como referencia al satélite SPOT. En donde el tiempo de revisita (1) es de 16 días y el intervalo entre tomas sucesivas (2) es variable pero llegando como mínimo a 4 días.

El ciclo de cobertura depende de las características de la órbita del satélite, así como del diseño del sensor.

La cadencia temporal de los sistemas espaciales varía de acuerdo a los objetivos fijados para el sensor. Los satélites meteorológicos están obligados a facilitar una información muy frecuente, ya que se dedican a observar un fenómeno de gran dinamismo (30 minutos en el Meteosat). Por el contrario, los satélites de recursos naturales ofrecen una cadencia mucho menor (16 días en el Landsat).

RELACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS TIPOS DE RESOLUCIÓN

Todos los aspectos comentados anteriormente están íntimamente ligados. A mayor resolución espacial, disminuye habitualmente la temporal y es previsible que se reduzca también la espectral y radiométrica. El principal problema se encuentra en la transmisión de las imágenes a la superficie terrestre.

El aumento en cualquiera de los cuatro tipos de resolución, significa también un incremento considerable del volumen de datos que tanto el sensor como la estación receptora han de procesar. Por esta razón, los satélites deben dotarse de un sistema de grabación a bordo que le permitía almacenar imágenes de áreas no cubiertas por la red de antenas receptoras.

En resumen, a la hora de diseñar un sensor remoto habrá que subrayar aquel tipo de resolución más conveniente a sus fines. Si está orientado a la detección de fenómenos efímeros en el tiempo, deberá realzarse su cobertura temporal, aun a costa de perder resolución espacial, como ocurre con los satélites meteorológicos. Si, por el contrario el sensor se orienta a exploración de recursos terrestres, el detalle espacial y espectral resulta más importante reduciéndose en consecuencia su ciclo temporal.

SISTEMAS DE SENSORES

Clasificación de los sensores de acuerdo a la forma en como adquieren imágenes.

Los sistemas de sensores pueden ser divididos en dos categorías principales:

- 1. Sistemas globales de adquisición, por ejemplo, ojo humano, cámaras fotográficas y cámaras de Tv. que registran una escena completa instantáneamente;
- 2. Sistemas de adquisición secuencial, por ejemplo, radiómetros, radares, lidares y sonares, que adquieren información 1íriea por línea de la escena. Esta segunda categoría es generalmente dividida en:
 - sensores pasivos, que graban la EMR reflejada o emitida de fuentes naturales;
 - sensores activos, que iluminan un objeto con su propia fuente de radiación y graban el "eco".

SISTEMAS GLOBALES DE ADQUISICIÓN

La posibilidad de obtener una imagen de forma instantánea por estos sistemas, es consecuencia del gran número de de detectores que poseen por unidad de superficie, los citados detectores son granos de sal de plata en la película fotográfica, moléculas de fósforo en los vidicons y células especiales (conos y bastones) en el ojo humano.

El ojo humano

Puesto que, en definitiva, el manejo de imágenes está encaminado a la interpretación de las mismas por el hombre a través de sus órganos de visión, parece lógico dedicar algunas líneas a este sensor humano de percepción.

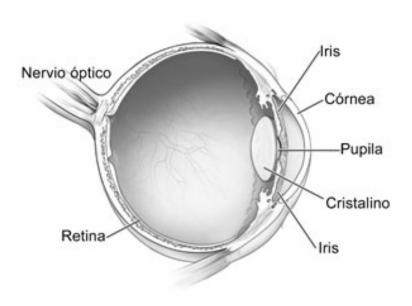


Figura 32: Estructura del ojo

El ojo es sensible a una franja de radiaciones electromagnéticas cuyas longitudes de onda se encuentran, aproximadamente, entre 0.4 y 0.7 micras.

Los sensores del ojo son los bastones, responsables de la sensación de brillo fundamentalmente, y los conos que detectan los colores. La distribución de los bastones en la retina es más o menos uniforme, mientras que los conos están muy concentrados en torno a una zona del ojo que se conoce con el nombre de FOVEA y su densidad disminuye muy rápidamente al alejarnos de este punto. Tanto los conos como los bastones se conectan al nervio óptico y transmiten las señales recibidas al cerebro, donde se interpretan y forman las imágenes.

Existen tres tipos básicos de conos sensibles respectivamente al azul, verde y rojo.

Cámaras fotográficas

La fotografía es la forma más antigua de teledetección; utilizando una película, una cámara y el proceso de revelado se puede obtener información de una ciudad, un bosque o un animal silvestre.

Una cámara emplea lentes para formar una imagen de la escena en el plano focal en el cual se encuentra situada una película con una emulsión química fotosensible

Estas fotos son un registro gráfico (analógico) del objeto fotografiado. Otras personas (usuarios) pueden utilizar posteriormente estas fotos para hacer comparaciones y para responder a preguntas sobre el área o el tema fotografiado. A pesar de su antigüedad, es todavía en nuestros días una de las principales fuentes de materia prima para trabajos de teledetección. Este tipo de sensor se denomina pasivo ya que depende de una fuente de energía externa para generar una imagen. Otra característica del sistema es que utiliza una película sensible a la luz para registrar y almacenar los datos. Esta es una diferencia importante con respecto a los rastreadores multiespectrales o el radar; los cuales registran los datos por medios electrónicos. Las cámaras fotográficas utilizan películas o emulsiones sensibles a diferentes bandas del espectro electromagnético. Las emulsiones más comunes son: blanco y negro, color e infrarrojo

(blanco y negro; color). El producto generado por este medio son fotografías en papel, positivos y negativos. Con el auge de la era espacial diferentes países han utilizado cámaras y películas fotográficas montadas en plataformas espaciales. Ej., imágenes rusas del sensor MK4.

Las cámaras han estado en uso por mucho tiempo y una gran cantidad de conocimiento se ha acumulado respecto a técnicas de grabación de imágenes, interpretación de imágenes y extracción de datos. Las cámaras son menos caras y menos incómodas que otros sensores y los materiales fotográficos correspondientes están disponibles por todo el mundo. Adicionalmente, la fotografía todavía produce una resolución superior en comparación con los sensores electrónicos.

Una de las principales desventajas en el uso de cámaras aéreas es la restricción impuesta por condiciones adversas del tiempo. La película fotográfica es sensible únicamente a longitudes de onda comprendidas entre 0.3 y 0.9 micras, es decir, además del visible sólo puede registrar una pequeña porción del ultravioleta y del IR próximo

Longitud focal (f):

La distancia entre el centro óptico del lente y el plano focal es llamada longitud focal (también Distancia Focal), y determina el tamaño de la cámara y la escala de la fotografía.



Figura 33: Longitud Focal

El foco de un lente convexo es el punto a través del cual pasarán todos los rayos refractados. La imagen de un objeto distante es formada en el foco; la película tiene que ser puesta en ese sitio el cual es referido como plano focal.

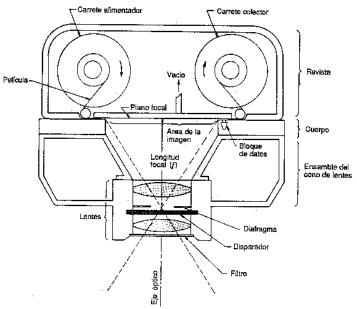


Figura 34 : Componentes principales de una cámara estructural de un sólo lente.

Angulo de observación (d)

El ángulo de observación de un lente es el ángulo entre los rayos que van a las esquinas opuestas de la película. El ángulo de observación también es referido como ángulo de visión, ángulo de campo o poder de cobertura. Los lentes coleccionan rayos de la luz en diferentes ángulos de observación en base a esto los objetivos (lentes) de la cámara se clasifican en:

- Gran angulares. Suelen denominarse así a los objetivos con distancias focales entre los 18 y 35mm, con ángulos de visión que van de los 180° a los 63°. Son objetivos que producen distorsión en los márgenes
- Objetivo Normal. El objetivo normal es aquel que suele dar un ángulo de visión muy parecido al del ojo humano, esto es, unos 45°. Y además no produce distorsión alguna en las líneas. En este caso la distancia focal será de 50mm. (considerando una cámara fotográfica común)
- Teleobjetivos. Se utilizan principalmente para acercar la imagen al fotógrafo, esto es, para tomar fotografías desde lejos, por ejemplo fotografía deportiva. Así que el ángulo de visión es bastante reducido, de 30° para abajo, con unas distancias focales que pueden ir de los 70 mm en adelante.

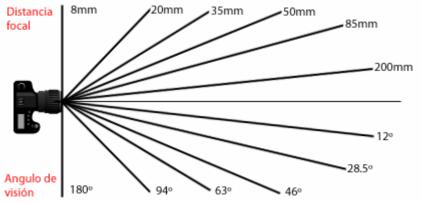


Figura 35 : En este esquema podemos ver la relación entre la distancia focal y su ángulo de observación.

Lo visto hasta ahora es solo una introducción al tema cámaras fotográficas.

Debido a lo extenso e importancia de este tema. En el anexo 1 se presenta información adicional.

Cámaras de TV

Como ejemplo más importante tenemos a la Cámara Vidicon con Retorno de Rayo.

Un vidicon es un tipo de cámara de televisión que registra la imagen sobre una superficie fotosensible que está cargada electrónicamente.

Como un sensor remoto la cámara vidicón fue la siguiente alternativa después de la cámara aérea, que sirve como estándar respecto al cual todos los sistemas globales de adquisición son comparados.

La cámara vidicón con retorno de rayo (RPV) es capaz de reproducir imágenes en donde todas las partes del área barrida son vistas por el detector al mismo tiempo, como lo hace la cámara fotográfica aérea. El principio básico de operación de una cámara vidicón es similar al de una cámara de televisión. Un objeto distante es enfocado por un lente convergente hacia un objetivo fotoconductivo. La imagen producida en el objetivo fotoconductivo, es mantenida eléctricamente hasta que un rayo de electrón barre la imagen congelada para leer los elementos línea por línea. Habiendo barrido la imagen, el objetivo es borrado para recibir una nueva imagen. Este tipo de sensor estaba presente en los primeros satélites LANDSAT. Este sensor grababa una imagen de 185 km cuadrados cada 25 segundos utilizando tres cámaras en los satélites LANDSAT-1 y 2, y una imagen de 90 km cuadrados utilizando dos cámaras en el LANDSAT-3.

La cámara Vidicón producía imágenes con una muy alta resolución espacial comparada con los de otros sensores electrónicos de su época.

Los datos obtenidos por la cámara podían ser transmitidos a la tierra vía señales de radio.

SISTEMAS DE ADQUISICIÓN SECUENCIAL

Podemos clasificar los sensores en:

- No generadores de imágenes: Trabajan en una sola longitud de onda y entre ellos se encuentran el altímetro y el magnetómetro.
- Generadores de imágenes: Operan en varias bandas, barriendo por franjas perpendiculares al desplazamiento del satélite.

Otra forma de clasificar es en

- Sensores pasivos: detectan la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales.
- Sensores activos: poseen fuentes internas que generan artificialmente la radiación (radar).

Sensores pasivos

Los sensores en esta categoría son llamados radiómetros. Ellos reciben y graban, línea por línea, la EMR reflejada o emitida por la tierra y la atmósfera.

Dependiendo del tipo de detector utilizado, los sensores pasivos pueden grabar diferentes partes de la EMR dentro de longitudes de onda ultravioleta a microondas.

Los siguientes radiómetros son comúnmente utilizados en estudios de recursos naturales.

	Sensor	Plataforma
MSS	Barredor Multiespectral	LANDSAT
TM	Mapeador Temático	LANDSAT
AVHRR	Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución	NOA
HRV	Alta Resolución Visible	SPOT

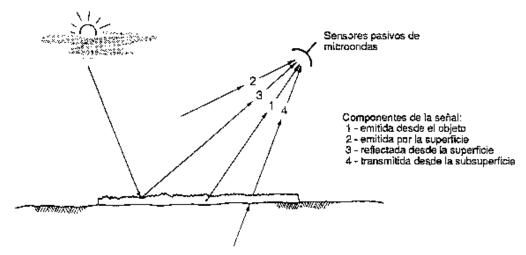


Figura 36 : Componentes de una señal pasiva de microondas.

Algunas categorías de los sensores pasivos incluyen:

- 1. Radiómetros barredores: estos sensores recolectan una línea de datos a través del uso de un espejo rotativo para "barrer" la vista perpendicular a la línea de vuelo, por ejemplo, el barredor multiespectral (MSS) del LANDSAT. El movimiento hacia adelante del satélite o del avión produce líneas subsecuentes de datos.
- 2. Radiómetros de barrido accionado: este tipo de sensor, por ejemplo, el HRV del SPOT, tiene uno o varios arreglos de detectores. Una línea de adquisición es vista instantáneamente sin ningún movimiento mecánico lo cual es una mejora significativa respecto a los radiómetros de barrido.

Características espaciales de los sensores pasivos:

Los sensores pasivos tienen dos características espaciales principales:

1.- Campo Instantáneo de Vista (IFOV) éste es definido como el ángulo (radianes o grados) sobre el cual el detector es sensible a la radiación. EL MSS del LANDSAT-2 tiene un IFOV de 0.086 de miliradianes. Al saber que la altitud de un satélite es de 920 km, se puede calcular que el elemento de la fotografía (píxel) representa un área sobre la superficie de la tierra la cual tiene dimensiones de 80 m × 80 m (celda de resolución del terreno) en el punto nadir.

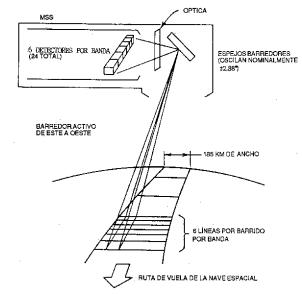


Figura 37: Orientación del LANDSAT MSS.

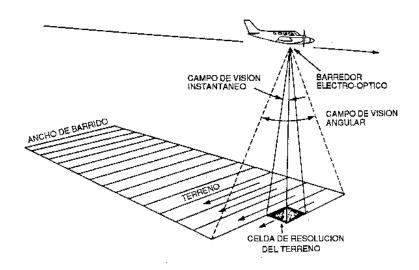


Figura 38 : Concepto de Campo Angular de Visión (AFOV) o ángulo de barrido y Campo Instantáneo de Visión (IFOV).

2.- Amplitud de cobertura (referirse a la Figura 4.6): ésta es definida como la distancia lineal del terreno cubierta en la dirección de la ruta. Para un radiómetro barredor esto depende del campo angular de vista (AFOV) o ángulo de barrido; por ejemplo, el ángulo de barrido del LANDSAT-2 MSS es igual a 11.52° y, a una altitud de 920 km, resulta en una amplitud de barrido de 185 Km. Para el radiómetro de barrido accionado, el campo de observación está relacionado al tamaño del arreglo; por ejemplo, los 6,000 detectores del HRV del SPOT cubren un ángulo de 4.13°, a una altitud de 832 km, resultando en una amplitud de barrido de 60 Km.

Sistemas de Escaners

Dentro de los sensores pasivos el método más utilizado para la obtención de imágenes es a través de escaners.

Los sistemas de escáner (explorador-barredor) utilizan un detector simple con un pequeño campo de vista que se desliza sobre el terreno para producir una imagen.

Cuando los fotones de la radiación electromagnética, emitida o reflejada por el terreno, llegan al detector, se produce una señal eléctrica que varía en proporción al número de fotones. Dicha señal se amplifica, se registra en cinta magnética y se recupera posteriormente para producir una imagen. Todos los sistemas de escáner deslizan sobre el terreno el campo de vista del detector en una serie de líneas de barrido.

Nos interesa discriminar tres modos de escaneado:

- Transversal
- Longitudinal
- lateral.

El sistema de escáner transversal

Utiliza un espejo rotativo, éste se encuentra conectado a un motor eléctrico cuyo eje de rotación es paralelo a la dirección de vuelo. El espejo "visualiza" sucesivamente áreas instantáneas, éstas se sitúan sobre líneas de barrido que son normales a la dirección de vuelo. Una vez completada una línea, comienza la siguiente, inmediatamente detrás de la anterior, con sucesivas pasadas terminará obteniéndose una matriz bidimensional cuyo registro va a constituir la correspondiente imagen.

La distancia entre el escáner y el terreno es mayor en los extremos de la línea de barrido que en su centro, por ello el tamaño de la unidad de resolución de campo es mayor en los extremos, por otra parte, en los sistemas de visualización se le asigna el mismo tamaño a todas las unidades de resolución de campo, como consecuencia de ello, se produce una distorsión de las imágenes que es característica de los sistemas transversales de escáner.

Todos los sistemas de escáner producen señales extrañas que no proceden de la superficie muestreada y que se denominan ruido. Con el fin de obtener imágenes de la mejor calidad posible, se procura maximizar la ratio señal/ruido, en principio esto puede conseguirse de tres formas:

- Aumentando el tamaño de la unidad de resolución de campo.
- Aumentar el espesor de las bandas espectrales detectadas.
- Disminuir la velocidad de giro del reflector para aumentar el tiempo de registro.

Sin embargo, como consecuencia, se producen los correspondientes inconvenientes:

- Disminución de la resolución espacial.
- Disminución de la resolución espectral.
- Aumento de la distorsión geométrica.

Consecuentemente, es necesario llegar a una solución de compromiso y a veces se acepta tener una baja ratio señal/ruido para evitar los citados inconvenientes.

Sistema longitudinal

Para que los sistemas de escáner alcancen una mayor resolución espectral y espacial, el tiempo de registro de cada unidad de resolución de campo debe de ser lo mayor posible, un método consiste en eliminar el espejo rotativo y proveer un detector individual para cada unidad de resolución de campo a lo largo de la línea de barrido. Los detectores se distribuyen en fila y se sitúan en el plano focal de la imagen formada por el sistema de lentes. El eje longitudinal de la fila de detectores, tiene una orientación normal a la dirección de vuelo de la plataforma, y el IFOV (Campo de vista instantáneo) de cada detector registra una fila de unidades de resolución de campo que es paralela a

la dirección de vuelo. Este tipo de sistema también recibe el nombre de pushbroom (empuje).

Sistemas multiespectrales

Los sistemas de registro instantáneo y sistemas de escáner descritos anteriormente registran una imagen simple que representa una banda espectral simple. Para muchas aplicaciones de teledetección, es fundamental registrar una escena con imágenes multiespectrales, es decir, múltiples imágenes obtenidas en diferentes bandas espectrales. Las imágenes multiespectrales pueden ser adquiridas de diferentes formas, por ejemplo múltiples cámaras fotográficas (MK4) o múltiples cámaras de video (sistema vidicón) pueden ser montadas juntas y alineadas para "fotografiar" la misma zona, lógicamente con los correspondientes filtros para seleccionar la radiación electromagnética que se desee.

Los sistemas de registro instantáneo para imágenes multiespectrales presentan dos desventajas fundamentales:

- Cada imagen se obtiene con un sistema de lentes diferentes y puede ser difícil registrar las imágenes una con respecto a la otra.
- El rango espectral de los sistemas de cámara está restringido a la región del visible y a una parte de la región del IR próximo.

Los escaners de tipo transversal captan la energía incidente y la dirigen hacia los correspondientes detectores. El Landsat Thematic Mapper es un escáner multiespectral de tipo transversal que registra siete bandas de datos (tres en el visible, tres en el IR reflejado y una en el IR térmico). Adicionándole una banda pancromática en el sensor ETM del Landsat 7 con una resolución espacial de 15 x 15 metros.

Un escáner multiespectral de tipo longitudinal utiliza múltiples filas de detectores, cada una de las filas registrando una banda espectral. El satélite Spot, en su sensor RBV utiliza un sistema de este tipo, al igual que en el caso anterior, se utiliza un espectrómetro para dispersar la radiación electromagnética hacia la correspondiente fila de detectores.

Los escaners multiespectrales presentan las siguientes ventajas sobre las cámaras multiespectrales:

- Las imágenes de escáner se adquieren con un sólo sistema óptico, por lo que quedan perfectamente registradas la una con respecto a la otra.
- Los detectores de escáner pueden registrar longitudes de onda en un mayor intervalo del espectro electromagnético (desde el visible hasta el IR térmico inclusive), al tiempo que permiten registrar bandas de muy estrecho intervalo espectral (cada una de ellas).
- Las imágenes a partir de escaners son más fácilmente calibradas y adaptadas para un tratamiento digital.

Algunas desventajas de los escaners son su complejidad, son caros y requieren equipos informáticos para producir imágenes. Las cámaras son simples de operar y la película sólo requiere un procesado químico.

Sistema lateral

Los sistemas de escáner descritos hasta ahora se denominan sistemas pasivos, debido a que registran la radiación electromagnética radiada por el terreno o bien aquélla energía que, con origen en el sol, es reflejada por el terreno. Los sistemas activos (tipo radar y sonar) producen radiación electromagnética que tras ser reflejada por el terreno es nuevamente registrada por el sensor. Este tipo de escaners responden al

sistema lateral, en ellos, las líneas de registro se sitúan normales a la dirección de vuelo de la plataforma pero a un lado respecto de la proyección sobre el terreno de la línea de vuelo.

Sensores activos

Los sensores activos (por ejemplo, radar, sonar) son capaces de "iluminar" un objeto con su propia fuente de radiación. La iluminación va a inducir a un objeto a emitir radiación (fluorescencia) o causar que refleje la radiación producida por el sensor. Los sensores activos son utilizados frecuentemente cuando la radiación natural en una banda particular del espectro no es suficiente para iluminar adecuadamente al objetivo, esto es, la radiación natural está por debajo del umbral de la señal para ruido.

Un caso cotidiano de sensor activo es una cámara fotográfica con Flash, en donde la energía registrada en el negativo proviene de la misma maquina.

Ecosondas y sonares

Los ecosondas y los sonares (Sonido, Navegación y Alineación) están basados en el principio de dirigir las ondas acústicas hacia un objetivo y recibir el eco reflejado. La ecosonda transmite un rayo vertical y fijo de sonido mientras que el rayo del sonar puede ser orientado. Los principales componentes de una ecosonda y un sonar son: el transmisor, el transductor, el recibidor y la unidad de despliegue.

La función del transmisor es producir energía en forma de pulsos de oscilaciones eléctricas. En el transductor, esta energía eléctrica es convertida a energía de sonido en el agua y, contrariamente, las ondas de sonido de los ecos que regresan son convertidas de nuevo a energía eléctrica. El recibidor amplifica las oscilaciones eléctricas débiles producidas en el transductor por el eco, de tal forma que pueden ser grabados o desplegados en una pantalla o transmitidos como una señal escuchable.

Radares

El Radar es un sistema activo de teledetección, ya que el mismo sistema proporciona su propia fuente de energía. El sistema "ilumina" el terreno con energía electromagnética, detecta la energía devuelta por el terreno (denominada respuesta radar) y entonces la registra formando una imagen. Los sistemas tales como la fotografía y los escaners del visible y los IR detectan la energía reflejada o radiada por el terreno, teniendo la reflejada, su origen en el Sol. Los sistemas Radar operan independientemente de las condiciones de iluminación y son, en gran medida, independientes de las condiciones atmosféricas, por ejemplo de la presencia o ausencia de nubes. Así mismo, el terreno puede ser iluminado en la dirección adecuada para realzar las características de interés.

Un radar es un sensor activo de microondas el cual utiliza ondas de radio para detectar la presencia de objetos y para determinar su rango (posición). Este proceso requiere transmitir pequeños pulsos de energía de microondas en la dirección de interés y grabar la fuerza y el origen de los "ecos" o "reflexiones" recibidos desde objetos dentro del campo de visión del sistema. El poder de resolución del radar (su habilidad para diferenciar entre objetivos), está determinado por la longitud de onda transmitida por el radar. La percepción activa de microondas es hecha en varias bandas de onda las cuales son designadas por letras del alfabeto. La transparencia de la atmósfera para las

microondas le permite al radar adquirir datos independientemente de las condiciones del tiempo. Las microondas penetran nubes y no son dispersadas por neblina o lluvia.

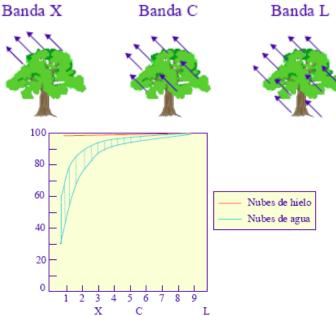


Figura 39: Penetración de las bandas (X, C y L) de microondas en la vegetación y en las nubes.

Radar es el acrónimo de RAdio Detección And Ranging, opera en las bandas de radio y de microondas del espectro electromagnético, variando entre un metro y unos milímetros de longitud de onda. La reflexión de ondas de radio por los objetos ya fue estudiada a finales del siglo XIX y principios del XX, pero las investigaciones fundamentales, empezaron en los años veinte en los EE.UU. y Gran Bretaña para la detección de barcos y aviones. El Radar se desarrolló en la Segunda Guerra Mundial para la navegación y localización de objetivos utilizando la familiar antena rotativa y la pantalla de visualización circular. La capacidad para formar imágenes continuas del denominado SLAR (side-looking airborne radar) se desarrolló en los años cincuenta, ello con el fin de adquirir imágenes de reconocimiento de zonas de interés.

Principio de funcionamiento

Existen dos circuitos eléctricos generales, uno de ellos es el transmisor el cual regula la emisión de pulsaciones o destellos de radiación electromagnética. Otro circuito es el receptor, que se encarga de adquirir y regular la señal de entrada y dirigirla hacia una pantalla de visualización (CRT) o hacia el dispositivo de registro (En forma analógica Ej. Película o registro digital Ej. Disco rígido en computadora.).

Otro componente fundamental es la antena la cual transmite la pulsación y recibe la respuesta desde el terreno. Un conmutador electrónico evita la interferencia entre las pulsaciones emitidas y los recibidas, ello mediante el bloqueo del circuito eléctrico receptor durante la transmisión y del circuito transmisor durante la recepción.

Dentro del circuito receptor se amplifica la débil energía recibida por la antena, también se registra el tiempo de retorno de la pulsación, dicho tiempo determina la posición de las diferentes características y objetos del terreno y que es transmitida a la imagen. La pulsación de retorno se presenta en pantalla como una línea de la imagen y puede, simultáneamente, ser registrada en una película o cinta magnética.

Las pulsaciones de energía transmitidos desde la antena iluminan regiones del terreno en la dirección de observación que se orienta normalmente a la dirección de vuelo del avión, evidentemente, el tiempo de retorno es menor en las zonas más próximas al avión que en las mas alejadas. La pulsación de retorno se convierte en una línea de registro, en la imagen, asignando las respuestas de menor intensidad a zonas oscuras y las mayores intensidades recibidas a las mas claras, conforme el avión avanza, se van registrando sucesivas líneas que construyen la imagen en sus dos dimensiones.

El sistema Radar registra los datos sobre la base del tiempo y no sobre la base de la distancia angular (IFOV), como hacen los sistemas pasivos. Es por esto que necesita barrer el terreno lateralmente y no verticalmente.

Los radares pueden ser de imágenes o sin imágenes:

- Radares de imágenes: los radares de imágenes despliegan las características de dispersión de la superficie de la tierra en forma de una banda de mapa o una fotografía de un área seleccionada. Un ejemplo de un radar de imágenes es el del Radar Aéreo de Observación Lateral (SLAR) el cual es transportado por un avión. Este sensor barre un área no directamente abajo del avión sino a un ángulo de la vertical, de ahí el término de "observación lateral".
- Radares sin imágenes: a diferencia de los radares de imágenes, este tipo de radares graba un parámetro físico específico. Ejemplos de radares sin imágenes, incluyen el radar medidor de reflexiones múltiples y el altímetro del radar. El medidor de reflexiones múltiples de un radar, mide la aspereza de la superficie del mar, icebergs, etc., en un barrido amplio de cada lado de la nave espacial.

El altímetro del radar utiliza una microonda que mide la distancia vertical entre la nave espacial y la tierra. Las mediciones reproducen la topografía del terreno con una gran precisión.

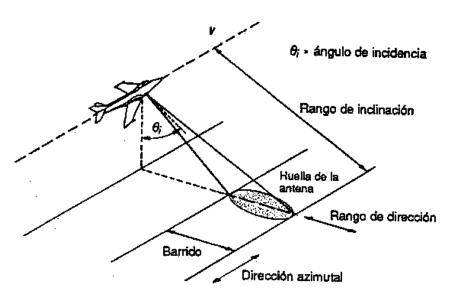


Figura 40 : Principio de operación del radar de observación lateral.

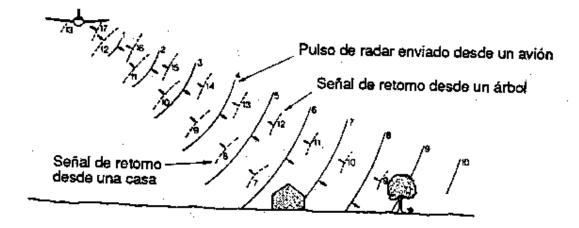


Figura 41 : Propagación de un pulso de radar (indicando la localización de la onda frontal en intervalos de tiempo.

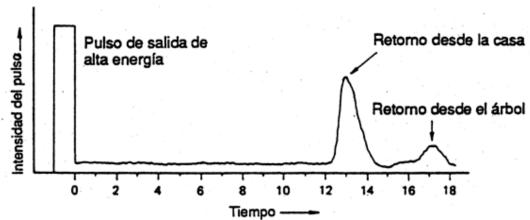


Figura 42: Retorno resultante en la antena.

Tipos de Radares

Los dos sistemas básicos son:

- 1. radar de apertura real SLAR
- 2. radar de apertura sintética (SAR)

Los cuales difieren, fundamentalmente, en el método que cada uno de ellos utiliza para obtener la resolución en la dirección de vuelo.

El sistema de apertura real SLAR (en desuso), utiliza una antena de un máximo de longitud práctica para producir una estrecha región angular perpendicular a la citada dirección.

El radar de apertura sintética utiliza una antena relativamente pequeña. Este sistema funciona utilizando en efecto Doppler, el cual, aplicado al sonido, establece que la frecuencia del sonido, tal como la percibe un observador, varía en función del movimiento relativo entre el emisor y el receptor. Este mismo principio se manifiesta, también, en el caso de la radiación electromagnética. Pues bien, el SAR utiliza este principio, de manera que el sistema funciona como si dispusiese de una antena (sintética) tal que su longitud fuese igual a la distancia existente entre dos posiciones sucesivas del avión o del satélite. Esta antena sintética produce el efecto de una banda de iluminación muy estrecha, con anchura constante.

Como consecuencia de lo anterior, en una imagen SAR, la resolución espacial, en el sentido del vuelo, es la misma en las zonas más próximas a la vertical del avión que en las más alejadas. En una imagen obtenida con un radar de apertura real, la resolución en el sentido del vuelo, disminuye desde las zonas más próximas a la vertical del avión hasta las más alejadas.

En ambos sistemas, la resolución en la dirección perpendicular al sentido de vuelo, es igual, estando determinada, en ambos casos, por la anchura de pulsación y el ángulo de depresión.

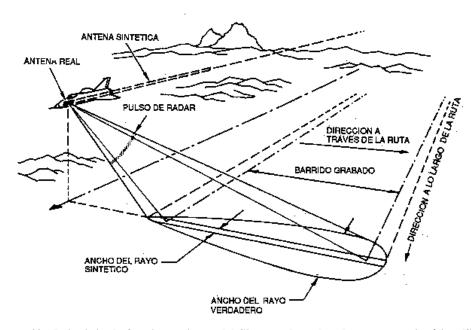


Figura 43 : Principio de funcionamiento del Sistema de radar de apertura sintética (SAR).

Detalles más finos del objetivo (esto es, mayor resolución) pueden ser vistos en una imagen producida con microondas de longitudes de onda más cortas.

El SAR mantiene altas resoluciones a largas distancias en el sentido del vuelo, es por ello, que este sistema ha posibilitado la adquisición de imágenes radar desde plataformas situadas en órbitas espaciales (Ej. Radarsat, ERS, Envisat).

Para lograr una resolución espacial útil en una imagen del suelo desde la altitud de un satélite, requeriría de una antena con una longitud de varios kilómetros si se utilizase SLAR.

El Radar de Apertura Sintética (SAR) fue desarrollado para superar este problema. SAR toma señales sucesivas transmitidas y recibidas por una pequeña antena y las usa para reconstruir (sintetizar) la señal que hubiera sido recibida si la antena tuviera varios kilómetros de longitud.

LIDAR (radares de láser)

LIDAR (un acrónimo del inglés Light Detection and Ranging) o (láser Imaging Detection and Ranging) es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Al igual que ocurre

con la tecnología radar, donde se utilizan ondas de radio en vez de luz, la distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada.

Un Lidar es un sensor activo que emite y recibe luz en las longitudes de onda visible e infrarroja cercana. El láser (acrónimo para la amplificación de la Luz por emisión de radiación estimulada) es un dispositivo para producir luz. El Lidar utiliza rayos láser para generar pulsos de luz cortos y de alto poder. En la medida que el pulso pasa a través de la atmósfera, la luz difusa que regresa es detectada por un sistema óptico y es electrónicamente analizada para proporcionar una medición de la intensidad de la luz reflejada por constituyentes del objetivo, en función de la distancia desde el sensor.

En topografía, la medición de distancias con láser para aplicaciones de mapas a gran escala, está revolucionando la toma de datos digitales relativos a la elevación de terrenos.

Esta técnica es una alternativa a otras fuentes de toma de datos como el Modelo Digital del Terreno (MDT). Se puede usar como una fuente de datos para los procesos de contorno y generación de curvas de nivel para ortofotos digitales.

Un sistema LIDAR emite pulsos de luz que se reflejan en el terreno y otros objetos de cierta altura. Los fotones de los pulsos reflejados son transformados en impulsos eléctricos e interpretados por un registrador de datos de alta velocidad. Puesto que la fórmula para la velocidad de la luz es bien conocida, los intervalos de tiempo entre la emisión y la recepción se pueden calcular fácilmente. Estos intervalos son transformados en distancia ayudados por la información posicional obtenida de los receptores GPS del avión/terreno y de la unidad de medición inercial de abordo (IMU), la cual registra, constantemente, la altitud de la aeronave.

Los sistemas LIDAR registran datos de posición (x, y) y de elevación (z) en intervalos predefinidos. Los datos resultantes dan lugar a una red de puntos muy densa, típicamente a intervalos de 1 a 3 metros. Los sistemas más sofisticados proporcionan datos de primer y segundo retorno que proporcionan alturas tanto del terreno como de su vegetación. Las alturas de la vegetación pueden proporcionar la base de partida para el análisis de aplicaciones de diferentes tipos de vegetación o de separación de altura.

Una ventaja significativa de esta tecnología, con respecto a otras, es que los datos pueden ser adquiridos en condiciones atmosféricas en las que la fotografía aérea convencional no puede hacerlo. Por ejemplo, la toma de datos puede hacerse desde un avión en vuelo nocturno o en condiciones de visibilidad reducida, como las que se dan con tiempo brumoso o nublado.

La precisión de los datos obtenidos mediante la técnica Lidar dependen de:

- La altura de vuelo
- El diámetro del rayo láser (dependiente del sistema)
- La calidad de los datos GPS / IMU y los procedimientos de post procesamiento.

Se puede llegar a precisiones de 1 metro en las coordenadas de posición y unos 15 cm en la coordenada de altura, si las condiciones en las que se efectúan las medidas son óptimas. Sin embargo, para cualquier aplicación a gran escala y que requiera una elevada precisión, los datos obtenidos se tendrán que comparar con otras técnicas. Usualmente se superponen los puntos obtenidos (con sus tres coordenadas dimensionales) sobre imágenes digitales.

Dos tipos de lidares tienen aplicaciones interesantes; el Lidar batimétrico y el Lidar fluorescente.

- Lidar batimétrico: este Lidar, el cual es utilizado para estudios batimétricos, genera una señal azul-verde y una infrarroja cercana simultáneamente. La señal infrarroja cercana no penetra en el agua y es directamente reflejada por la superficie del mar y grabada por el sensor. La señal azul-verde es reflejada por el fondo y llega al sensor en un tiempo posterior. La diferencia en tiempo es una función directa de la profundidad del agua
- Lidar fluorescente: este Lidar graba la luz fluorescente emitida que es inducida por la interacción de la luz azul/verde transmitida por el Lidar con el objetivo. La fluorescencia del objetivo es a menudo única y por lo tanto proporciona medios para su reconocimiento. Este instrumento ha sido utilizado para identificar y cuantificar clorofila en el agua y también para identificar y medir el grosor de manchas de aceite o de petróleo en el mar.

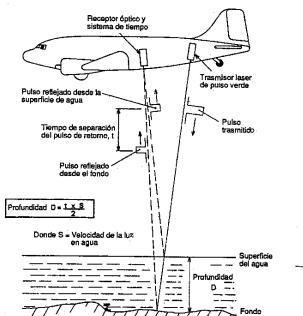


Figura 44 : Principio de operación de un sistema de Lidar batimétrico.

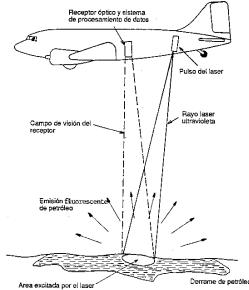


Figura 45 : Principio de operación de un Lidar fluorescente aéreo.

PRINCIPALES SENSORES UTILIZADOS EN TELEDETECCIÓN

CÁMARA FOTOGRÁFICA

El término cámara deriva de "camera", que en latín significa 'habitación' o 'cámara'. La cámara oscura original era una habitación cuya única fuente de luz era un minúsculo orificio en una de las paredes. La luz que penetraba en ella por aquel orificio proyectaba una imagen del exterior en la pared opuesta. Aunque la imagen así formada resultaba invertida y borrosa, los artistas utilizaron esta técnica, mucho antes de que se inventase la película, para esbozar escenas proyectadas por la cámara. Con el transcurso de los siglos la cámara oscura evolucionó y se convirtió en una pequeña caja manejable y al orificio se le instaló una lente óptica para conseguir una imagen más clara y definida.

300 A.c.: Aristóteles utiliza la cámara oscura para estudiar los eclipses de sol.

Siglo XVII: Leonardo Da Vinci se da cuenta que las imágenes recibidas en el interior de la habitación son de tamaño más reducido e invertido, conservando su propia forma y colores.

Siglo XVIII: La sensibilidad a la luz de ciertos compuestos de plata, particularmente el nitrato y el cloruro de plata, era ya conocida antes de que los científicos británicos Thomas Wedgwood y Humphry Davy comenzaran sus experimentos a finales del siglo XVIII para obtener imágenes fotográficas. Consiguieron producir imágenes de cuadros, siluetas de hojas y perfiles humanos utilizando papel recubierto de cloruro de plata. Estas fotos no eran permanentes, ya que después de exponerlas a la luz, toda la superficie del papel se ennegrecía, con lo cual nunca pudieron llegar a conseguir el fijado de las imágenes.

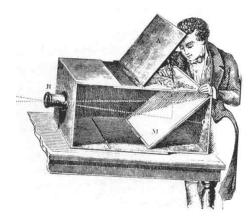


Figura 46 : Cámara oscura de finales del siglo XVIII, Diseñada para reproducciones de paisajes, arquitectura, etc.

Siglo XIX: Este es el siglo del nacimiento de la fotografía, exactamente en el año 1816, que es cuando el físico francés <u>Nicéphore Niépce</u> consigue una imagen mediante la utilización de la cámara oscura y un procedimiento fotoquímico. Niépce bautiza a su invento con el nombre de heliograbados, pero no es hasta el año 1831 cuando el pintor francés <u>Louis Jacques Mandé Daguerre</u> realizó fotografías en planchas recubiertas con una capa sensible a la luz de yoduro de plata. Después de exponer la plancha durante varios minutos. Daguerre empleó vapores de mercurio para revelar la

imagen fotográfica positiva. Estas fotos no eran permanentes porque las planchas se ennegrecían gradualmente y la imagen acababa desapareciendo. En las primeras fotografías permanentes conseguidas por Daguerre, la plancha de revelado se recubría con una disolución concentrada de sal común. Este proceso de fijado, descubierto por el inventor británico William Henry Fox Talbot, hacía que las partículas no expuestas de yoduro de plata resultaran insensibles a la luz, con lo que se evitaba el ennegrecimiento total de la plancha. Con el método de Daguerre se obtenía una imagen única en la plancha de plata por cada exposición.

Mientras Daguerre perfeccionaba su sistema, Talbot desarrolló un procedimiento fotográfico que consistía en utilizar un papel negativo a partir del cual podía obtener un número ilimitado de copias. Talbot descubrió que el papel recubierto con yoduro de plata resultaba más sensible a la luz si antes de su exposición se sumergía en una disolución de nitrato de plata y ácido gálico, disolución que podía ser utilizada también para el revelado de papel después de la exposición. Una vez finalizado el revelado, la imagen negativa se sumergía en tiosulfato sódico o hiposulfito sódico para hacerla permanente. El método de Talbot, llamado calotipo, requería exposiciones de unos 30 segundos para conseguir una imagen adecuada en el negativo. Tanto Daguerre como Talbot hicieron públicos sus métodos en 1839. Ese mismo año John Eilliam Herschel da el nombre de " fotografías " a las imágenes fijas.

En un plazo de tres años el tiempo de exposición en ambos procedimientos quedó reducido a pocos segundos.

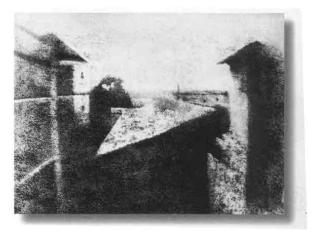


Figura 47 : Primer Punto de Vista, (fotografía), atribuida a Niépce. Año 1826

En la figura anterior se observa un "Punto de vista", así es como <u>Niépce</u> llamaba a las imágenes obtenidas del natural para así distinguirlas de las "heliografías".

En el procedimiento del calotipo la estructura granular de los negativos aparecía en la copia final. En 1847, el físico francés Claude Félix Abel <u>Niépce</u> de Saint-Victor concibió un método que utilizaba un negativo de plancha o placa de cristal. Ésta, recubierta con bromuro de potasio en suspensión de albúmina, se sumergía en una solución de nitrato de plata antes de su exposición. Los negativos de estas características daban una excelente definición de imagen, aunque requerían largas exposiciones.

A continuación los investigadores trataron de perfeccionar un tipo de negativo que pudiera exponerse seco y que no necesitara ser revelado inmediatamente después de su exposición. El avance se debió al químico británico Joseph Wilson Swan.

En 1878 se desarrolló una plancha seca recubierta con una emulsión de gelatina y de bromuro de plata, similar a las modernas. Al año siguiente se patentó el papel seco de bromuro.

Mientras estos experimentos se iban sucediendo para aumentar la eficacia de la fotografía en blanco y negro, se realizaron esfuerzos preliminares para conseguir imágenes de objetos en color natural, para lo que se utilizaban planchas recubiertas de emulsiones. En 1861, el físico británico James Clerk Maxwell obtuvo con éxito la primera fotografía en color mediante el procedimiento aditivo de color.

Alrededor de 1884 el inventor estadounidense <u>George Eastman</u> patentó una película que consistía en una larga tira de papel recubierta con una emulsión sensible. En 1889 realizó la primera película flexible y transparente en forma de tiras de nitrato de celulosa. El invento de la película en rollo marcó el final de la era fotográfica primitiva y el principio de un periodo durante el cual miles de fotógrafos aficionados se interesarían por el nuevo sistema.

Siglo XX: A comienzos de este siglo la fotografía comercial creció con rapidez y las mejoras del blanco y negro abrieron camino a todos aquellos que carecían del tiempo y la habilidad para los tan complicados procedimientos del siglo anterior. En 1907 se pusieron a disposición del público en general los primeros materiales comerciales de película en color, unas placas de cristal llamadas Autochromes Lumière en honor a sus creadores, los franceses Auguste y Louis Lumière. En esta época las fotografías en color se tomaban con cámaras de tres exposiciones.

En la década siguiente, el perfeccionamiento de los sistemas fotomecánicos utilizados en la imprenta generó una gran demanda de fotógrafos para ilustrar textos en periódicos y revistas. Esta demanda creó un nuevo campo comercial para la fotografía, el publicitario. Los avances tecnológicos, que simplificaban materiales y aparatos fotográficos, contribuyeron a la proliferación de la fotografía como un entretenimiento o dedicación profesional para un gran número de personas.

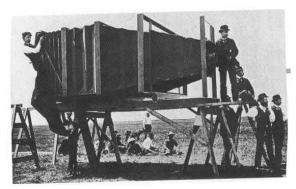


Figura 48 : Cámara Mamut, la cámara fotográfica más grande del mundo.

En la imagen anterior se observa la cámara Mamut. Se construyo en los Estados Unidos en el año 1900, y su peso era aproximadamente de unos 450 kilos. El tamaño de las placas de cristal eran de 130 X 240 cm

La cámara de 35 mm, que requería película pequeña y que estaba, en un principio, diseñada para el cine, se introdujo en Alemania en 1925. Gracias a su pequeño tamaño y a su bajo coste se hizo popular entre los fotógrafos profesionales y los aficionados. Durante este periodo, los primeros utilizaban polvos finos de magnesio como fuente de luz artificial. Pulverizados sobre un soporte que se prendía con un detonador, producían un destello de luz brillante y una nube de humo cáustico. A partir

de 1930, la lámpara de flash sustituyó al polvo de magnesio como fuente de luz.



Figura 49 : Lámpara de Flash

Con la aparición de la película de color Kodachrome en 1935 y la de Agfacolor en 1936, con las que se conseguían trasparencias o diapositivas en color, se generalizó el uso de la película en color. La película Kodacolor, introducida en 1941, contribuyó a dar impulso a su popularización.

Muchas innovaciones fotográficas, que aparecieron para su empleo en el campo militar durante la II Guerra Mundial, fueron puestas a disposición del público en general al final de la guerra. Entre éstas figuran nuevos productos químicos para el revelado y fijado de la película.

En 1947, la cámara Polaroid Land, basada en el sistema fotográfico descubierto por el físico estadounidense Edwin Herbert Land, añadió a la fotografía de aficionados el atractivo de conseguir fotos totalmente reveladas pocos minutos después de haberlas tomado.

En el decenio siguiente los nuevos procedimientos industriales permitieron incrementar enormemente la velocidad y la sensibilidad a la luz de las películas en color y en blanco y negro. La velocidad de estas últimas se elevó desde un máximo de 100 ISO hasta otro teórico de 5.000 ISO, mientras que en las de color se multiplicó por diez. Esta década quedó también marcada por la introducción de dispositivos electrónicos, llamados amplificadores de luz, que intensificaban la luz débil y hacían posible registrar incluso la tenue luz procedente de estrellas muy lejanas. Dichos avances en los dispositivos mecánicos consiguieron elevar sistemáticamente el nivel técnico de la fotografía para aficionados y profesionales.

El perfeccionamiento de los ordenadores facilitó, en gran medida, la resolución de problemas matemáticos en el diseño de las lentes. Aparecieron en el mercado muchas nuevas lentes que incluían las de tipo intercambiable.

La fotografía es la forma más antigua de teledetección; utilizando una película, una cámara y el proceso de revelado se puede obtener información de una ciudad, un bosque o un animal silvestre. Estas fotos son un registro gráfico (analógico) del objeto fotografiado. Otras personas (usuarios) pueden utilizar posteriormente estas fotos para hacer comparaciones y para responder a preguntas sobre el área o el tema fotografiado. A pesar de su antigüedad, es todavía en nuestros días una de las principales fuentes de materia prima para trabajos de teledetección.

Películas fotográficas negativas

De acuerdo a su conformación y estructura física, podemos identificar a las películas negativas en dos grupos perfectamente diferenciados; Películas blanco y negro o monocromas y Películas color, las que estudiaremos en detalle de acuerdo a sus distintos componentes usos y aplicaciones.

Conforme a su capacidad para resolver en forma satisfactoria distintas condiciones de luz, las películas fotográficas se dividen en distintas sensibilidades:

- Películas "ultra rápidas" o muy alta sensibilidad1000 a 3200 ISO

Sensibilidad de la película

Cada película posee una sensibilidad característica a la luz, determinada durante su fabricación, cada una de ellas requiere una cantidad específica de luz para producir la primera densidad o imagen útil y densidades progresivamente superiores hasta alcanzar un máximo con cantidades crecientes de luz.

El control de la exposición, el tiempo y la abertura del objetivo nos permite asegurar que la cantidad de luz que llega a la película desde el sujeto cae dentro de una gama que produce incrementos visibles en la densidad, y por lo tanto una imagen útil. Así pues debemos disponer de una medida de la sensibilidad o rapidez de la película.

A lo largo de los años se han utilizado diversos sistemas para medir la sensibilidad de las películas, pero los predominantes son: La escala ASA (denominada así por la antigua American Standard Asociation, hoy American Standard Institute) y la DIN (Deutsche Industrie Norm – Estándar Industrial Alemán). Los dos han sido combinados en un único estándar internacional denominado ISO, pero los números y los valores siguen siendo los mismos.

La sensibilidad ISO de una película está representada por una escala aritmética en la cual una sensibilidad del doble viene representada por un valor doble también. Cada vez que se duplica el valor ISO, la exposición necesaria para una escena determinada se reduce por tanto a la mitad (o un punto). La escala completa está dividida a intervalos equivalentes a un tercio de punto de los cambios en la exposición, de modo que cada tres números se avanza un punto completo, esto es:

64, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, etc.

Aunque la mayoría de las cámaras y exposímetros solían estar calibrados en valores ASA, los fabricantes de películas solían indicar también las sensibilidades DIN. La escala DIN era logarítmica, en vez de aritmética, de modo que una sensibilidad del doble viene indicada por un incremento de 3 en el valor índice de la película. Una película de 23 DIN es dos veces más rápida que una película de 20 DIN.

Tipos de películas y usos

La sensibilidad de la película debe ajustarse en el dial del exposímetro que empleemos, ya sea de mano o en el propio de la cámara. Todos los fotógrafos aplicarán los valores de sensibilidad indicados por los fabricantes en el envoltorio de la película,

pero debemos comprender que ese valor es tan sólo una guía que representa un promedio de los resultados conseguidos en las pruebas de sensibilidad con procedimientos de laboratorio.

Tipo de película	Sensibilidad ISO	Usos
Lenta	25 – 50	Tomas en estudio publicidad – objetos flores, etc.
Media.	100 – 200	Retratos fotografía general
Rápida	400 - 800	Fotografia periodistica eventos – deportes
Ultra rápida	1000 – 3200	Fotografia con poca luz – deportes de interior – teatro y conciertos

Figura 50 : Cuadro indicando usos de la fotografía en función del tipo y sensibilidad de la película utilizada.

Cuando se hacen fotografías en diversas condiciones luminosas, la sensibilidad de la película es uno de los instrumentos más útiles de que disponemos. La sensibilidad de la película se refiere a como reacciona a la luz: Cuanta más alta sea la primera, más rápidamente se impresionará la segunda. Para referirse a ella se habla también de su rapidez.

Puesto que las películas rápidas son más sensibles que las lentas, necesitan menos luz para registrar una imagen. Esto las hace más versátiles, pero al ampliarlas la calidad de la imagen será inferior que la de las películas lentas.

Como ya hemos visto en la figura 50, las películas están clasificadas como de sensibilidad lenta, media y rápida, pudiendo también hacer un apartado de ultra rápidas a las de mayor sensibilidad, según su graduación ISO. La elección correcta de la película depende del tipo del motivo que está fotografiando, las condiciones de iluminación y el tipo de fotografía que pretende tomar

Películas lentas: La gran concentración de granos de plata como también su pequeño tamaño, ofrecen imágenes de gran calidad, la textura del grano apenas es visible a no ser que se hagan grandes ampliaciones. Los granos pequeños son menos sensibles que los granos más grandes y requieren más luz para captar una imagen.

Películas medias: Es un material "multipropósito" ya que su granulometría de tamaño intermedio permite utilizar estas películas para todo tipo de captura de imágenes, resolviendo las mismas con un muy buen nivel de calidad general.

Películas rápidas y ultra rápidas: Sacrifican el grano fino y la capacidad de resolver los detalles delicados para lograr una mayor sensibilidad a la luz. También tienden a dar imágenes de menor contraste, aunque no debemos olvidar que en el material blanco y negro el positivado, es decir la manipulación de la fotografía en el

laboratorio, juega un papel más importante en el control del contraste que el que tiene la propia película.

Gracias a la tecnología moderna, ahora existen películas que permiten una mayor sensibilidad a la luz para el mismo tamaño de grano. Eso significa que algunas películas de sensibilidad media muestran ahora características similares a las películas lentas y algunas rápidas a las de sensibilidad media.

NOTA: La sensibilidad, granulosidad y contraste de las películas están afectados significativamente por las condiciones del revelado, que incluyen el tipo, la temperatura, la cantidad de agitación y la duración del mismo.

Sensibilidad	Grano	Contraste	Nitidez	Latitud de Exposición
Baja o Lenta	Ultrafino	Elevado	Excelente	Escasa
Media	Fino	Normal	Muy buena	Normal
Alta ≎ Rápida	Grueso	Bajo	Buena	Elevada

Figura 51 : Características de las películas según su sensibilidad

Grano: Agrupamiento de diminutas partículas de plata metálica negra que se forma en una emulsión tras la exposición y el revelado de los haluros. En los materiales color, se forma un motivo similar, pero con tintes cromógenos.

Contraste: Juicio subjetivo de las diferencias en luminosidad y densidad entre las sombras y las luces de un motivo, negativo o copia.

El contraste es una medida de la relación entre los niveles de brillantez más bajos y más altos de la fotografía. El contraste de una imagen fotográfica puede ser referido cualitativamente como "alto" o "bajo". Las imágenes con bajos contrastes son comúnmente referidas como "chatas" con tonos monótonos, casi tonos uniformes de gris. El bajo contraste puede resultar por las siguientes causas:

- el objeto y su fondo tienen una respuesta electromagnética casi uniforme;
- dispersión de la luz por la atmósfera. Este efecto es más pronunciado en la porción de longitud de onda más corta (violeta) de la luz visible;
- la cámara o la película carecen de suficiente sensibilidad para grabar el contraste de la escena.

Nitidez: Es un factor que se deduce directamente de la capacidad de la película para separar tonos o colores, de acuerdo a un gradiente de borde entre límites de densidad, cuanto más pronunciado sea el gradiente, mayor es la nitidez. A medida que este gradiente se reduce, el paso de una densidad a otra se hace más difuso y la imagen resultante es menos nítida.

Latitud de exposición: Nivel de variación de la exposición que admite una película sin cambios apreciables en su respuesta; podemos ver en la tabla de características, que una

película de alta sensibilidad está mejor preparada para absorber situaciones de sub o sobreexposición (sean deliberadas o accidentales) que una película de baja sensibilidad.

Codificación DX



Figura 52: Rollo con su código DX

El sistema de codificación DX es una medida de seguridad diseñada para que las cámaras (las más modernas) estén siempre ajustadas a la velocidad de película adecuada: Una película codificada en DX contiene información de sensibilidad en forma de cuadritos negros y plateados sobre el chasis.

La cámara que disponga de decodificador DX leerá este código electrónico cada vez que se carga una película y fijará automáticamente el valor ISO adecuado.

Películas negativas en blanco y negro

La mayoría de los fotógrafos comienzan utilizando películas color, y quizá no piensen nunca en intentar nada más, pero a pesar de la absoluta vigencia de la imagen en color, es muy recomendable trabajar en blanco y negro ya que ofrece la ventaja de que al no existir colores que distraigan la mirada, el uso de la forma, luz y tono es muy importante para aprender lo básico sobre composición e iluminación.

El trabajar con película blanco y negro simplifica lo que ve y permite fotografías directas y poderosas con un impacto instantáneo.

Pero probablemente la mayor ventaja de utilizar película blanco y negro sea el gran margen de control que ofrece sobre la imagen final. No sólo es posible manipular el contraste, tono, grano y nitidez de las fotografías en el momento de tomarlas, sino que también tiene la posibilidad de manipular más la imagen durante el revelado y positivado.

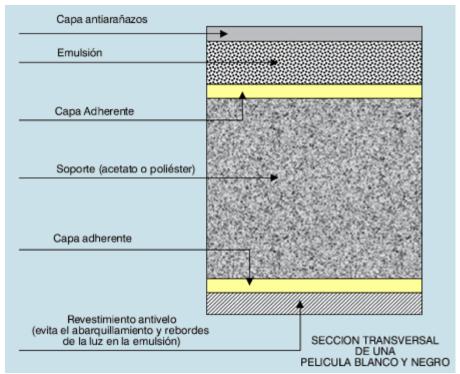


Figura 53 : Sección Transversal de una Película Blanco y negro

Estas películas comprenden una base de plástico compuesta por una o más capas de gelatina, esta capa contiene granos de haluros de plata forman una imagen latente negativa, es decir, una imagen que se hace visible sólo después de un proceso químico en base a revelado. Si observamos las dos caras de la película, notaremos que la emulsión es mate y el soporte tiene un acabado brillante; la emulsión está cubierta por un revestimiento fino y resistente a los arañazos y el soporte por un tinte antivelo, el cual impide que la luz rebote en la emulsión y provoque zonas de velo en la imagen.

Películas negativas color

La luz: La luz blanca es el origen de todo el color, pues está compuesta por una mezcla uniforme de longitudes de onda de todas las luces de color. Las longitudes de onda se miden en unidades llamadas nanómetros (millonésimas de metro) siendo que los colores visibles al ojo humano van del violeta oscuro (400nm) al rojo oscuro (700nm), otras longitudes de onda como el ultravioleta o el infrarrojo están fuera del espectro visible.

Aunque el ojo humano no puede percibir la luz ultravioleta, las películas pueden "ver" cierta cantidad de esa luz; por eso las fotos tomadas en la sombra o a grandes altitudes poseen a veces una coloración "azul fría".

La luz blanca puede descomponerse en los colores del espectro visible al ojo humano, si la hacemos atravesar un prisma de cristal.

Los colores del espectro son: Violeta – Azul – Cian – Verde – Amarillo – Naranja y Rojo, los podemos ver gracias a que los objetos reflejan la luz de algunas longitudes onda y absorben otras. Un tomate rojo refleja la luz roja y absorbe la de otros colores.

En las películas color, la capa superior es una protección de gelatina, a continuación viene la primera emulsión sensible al azul, con su copulante formador de amarillo, luego aparece un filtro amarillo que evita que la luz azul llegue al resto de las

capas sensibles al verde y al rojo con sus copulantes magenta y cian respectivamente, también incorporan una capa antihalo que evita los reflejos de la base.

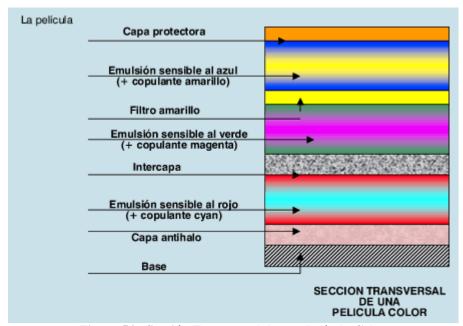


Figura 54 : Sección Transversal de una Película Color

Las películas color no producen exactamente la misma respuesta que el ojo humano; un rostro se percibe prácticamente de igual color tanto si es iluminado por luz natural o artificial, en cambio las películas reaccionan según la temperatura de color de la luz.. La iluminación de lámparas de tungsteno por ejemplo es más rojiza que la luz solar, la cual posee calidad azulada.

Formatos de películas

El formato de las fotografías viene determinado por la cámara y la película que se utilice, y si se trata de potenciar la calidad de imagen, cuanto mayor sea el formato, mejor.

Sea cual sea la película que se utilice, ya sea en blanco y negro o en color, de negativo o diapositivas, el resultado de tomar una exposición es siempre el mismo; en la película queda registrada una imagen. El tamaño y la forma de dicha imagen, sin embargo, sí varían, de acuerdo con la película y la cámara que se empleen. El tamaño y la forma de una fotografía se conocen como el formato de la misma.

El término "formato" no obstante, puede dar lugar a confusiones, pues se utiliza de forma imprecisa, y también se puede referir al tipo de película o al tamaño de la cámara. Existen cámaras de formato medio y otras de gran formato, del mismo modo, existen películas de formato medio y gran formato, pero por lo general, el "formato" se refiere al tamaño y la forma del encuadre.

Distintos formatos: Podemos encontrar tres tipos de películas entre los que elegir – las de 35mm, las películas en rollo y las películas planas o en hojas, también conocidas como placas -, y todas ellas ofrecen diversos formatos. En su mayoría, las imágenes de las películas de 35mm miden 24 x 36mm, pero también las hay de ½ encuadre (casi en desuso) que miden 24 x 18mm, en cambio con las películas en rollo y las planas se pueden conseguir mayor número de formatos.

La diversidad de formas y tamaños de los distintos formatos implica que cada formato tiene sus ventajas e inconvenientes, y que unos son más adecuados a unos tipos específicos de fotografía que otros. Un mismo formato no es el idóneo al mismo tiempo para una foto de estudio, turística o de reportaje, o también si se va a utilizar para el álbum familiar o para exposición, publicación, espectáculo audiovisual etc.

NOTA: De la elección de la cámara dependerá exclusivamente el tipo de película que utilizarán, su rendimiento y el tamaño o formato de las imágenes que éstas producirán.

Sensibilidad espectral

La Sensibilidad espectral (o cromática) es la diferente respuesta característica que tiene una emulsión expuesta a energía de distintas longitudes de onda.

En Percepción Remota se distinguen tres tipos de emulsiones destinadas a materiales B/N.

Ortocromático

Sensibles únicamente al azul y al verde. Por su incapacidad de respuesta a la radiación roja se trata de materiales muy apropiados para el trabajo de positivado realizado en laboratorio (cuarto oscuro) bajo iluminación con luz roja.

Pancromático

La emulsión es sensible a toda la parte visible del espectro electromagnético con un pico en la región violeta-azul y una caída en el verde. Para atenuar esta elevada sensibilidad a las longitudes de onda menores se emplea delante de la cámara un filtro amarillo.

Infrarrojo

La emulsión es sensible a todo el espectro visible y a una parte del "no visible" más allá de la longitud de onda de la luz roja. Esta sensibilidad no excede, en general, los 900 nanómetros (nm) de long. de onda (IR cercano) y su curva de sensibilidad varía (hecho muy importante a tener en cuenta) con la temperatura y el tiempo de conservación de la película. Esta emulsión es particularmente útil en fotografía aérea y de satélite por su capacidad de discriminación entre vegetación y agua. De hecho, como puede notarse por las firmas espectrales respectivas (ver figura) mientras la vegetación es muy reflejante del infrarrojo, el agua absorbe casi completamente tal tipo de radiación. Para obtener de mejor manera ese contraste es indispensable el empleo de un filtro IR (negro) que elimine completamente la luz visible permitiendo solamente el pasaje de la radiación infrarroja.

Cámaras de formato medio y grande

El 35mm: El formato más versátil y flexible, muy útil para aficionados y profesionales es el de 24 x 36mm, sobre película de 35mm. Este es el que utilizan las cámaras réflex de objetivos intercambiables, que representan el modelo "standard" de cámara fotográfica, existiendo una variedad muy amplia de marcas, versiones, modelos y cualidades como así también calidades y precios.

En estos aspectos, debemos tener en cuenta, que al decidirse por un aparato de determinada marca, estamos escogiendo también una gama de accesorios, obligados por la lucha competitiva de los fabricantes que intentan imponer sus productos ante el temor de que un complemento de baja calidad ponga en entredicho la bondad de su cámara.

Para ello se "atrincheran" tras sus monturas exclusivas, incompatibles con la mayoría de los accesorios de las otras marcas.

Formato	Medida del Negativo	Cantidad de Exposiciones
35mm	24 x 36mm	12, 20, 24 y 36
4,5 x 6	42 x 56mm	15
6 x 6	56 x 56mm	12
6 x 7	56 x 70mm	10
6 x 9	56 x 84mm	8

Figura 55: Numero de exposiciones según formato del negativo.

En la tabla adjunta podemos encontrar una información directa en lo que hace a formatos de películas, tamaños de negativos que producen y cuanto es el rendimiento de las mismas. El 35mm, como ya hemos dicho es el más versátil de todos por cantidad de tomas y precio final en el fotoacabado. En lo referente a los formatos medios, cada fotógrafo elegirá el equipo de acuerdo a sus gustos, necesidades y cantidad de dinero en disponibilidad, ya que estos equipos suelen ser sensiblemente más caros.

El formato grande: Este formato emplea exclusivamente película plana o en hojas, las que se ofrecen en los tamaños de 9 x 12 – 13 x 18 y 18 x 24cm, normalmente podemos encontrarlas en los negocios de asistencia a profesionales en cajas de 10 unidades cada una, cabe decir que éstas películas vienen tanto en color, blanco y negro o diapositivas y las cámaras en las que son empleadas son de gran calidad técnica y ópticas de excelente rendimiento, tienen la capacidad de poder controlar el plano de enfoque a través de basculamientos y así evitar distorsiones en la imagen final. Estos equipos son voluminosos y pesados, por lo que se los utiliza exclusivamente en estudios.

Especificaciones de las fotografías aéreas

Las fotografías aéreas son de muchos tipos, pero las comúnmente empleadas satisfacen una serie de especificaciones bastante uniformes. Por lo general tienen la forma de un cuadrado de 23 cm por lado, y se toman con la cámara dirigida verticalmente desde un aeroplano que cubre en su vuelo fajas paralelas en dirección a uno de los puntos cardinales. Se toman fotografías sucesivas en cada faja, de modo que cada una de aquellas cubra el 60 por ciento del área cubierta por la exposición anterior. Este solapamiento es necesario para la visión estereoscópica y para la triangulación

fotográfica. Por lo general, las fajas contiguas se solapan en los bordes (solapo lateral) aproximadamente el 30 por ciento.

Para que sean satisfactorias en la confección de mapas y en la interpretación exacta, las fotografías tienen que tomarse con un mínimo de inclinación (menos de 3 grados), por fotógrafos especializados, valiéndose de una cámara aérea de precisión

Las fotografías oblicuas son útiles para fines ilustrativos; pero, en comparación con las fotos verticales, son relativamente de poca utilidad en los trabajos forestales. Las ampliaciones son excelentes para los registros que se lleven en las oficinas, pero menos satisfactorias que las reproducciones directas o de contacto en los trabajos prácticos y en los estudios estereoscópicos. Los mosaicos - varias fotografías acortadas de una manera exacta (controlada) o aproximada (incontrolada) - proporcionan un substituto útil, pero no pueden estudiarse tridimensionalmente.

De las numerosas especificaciones concernientes a las fotografías aéreas, distintas de las que están bastante bien uniformadas, las más importantes en los estudios sobre vegetación y uso de la tierra son probablemente: (1) la fecha, (2) la escala, (3) la distancia focal de la cámara, (4) la estación, (5) la hora del día, y (6) la combinación de película y filtro que se han empleado.

La escala de las fotografías aéreas es también muy importante. La escala es una función de la altura a que se encuentra el aeroplano que hace la fotografía y de la distancia focal de la cámara aérea, expresada por la fórmula: RF = f/H. En esta fórmula RF es la escala expresada como una razón natural o una fracción representativa, f es la distancia focal de la cámara en pies y H es la altura del aeroplano sobre el terreno en pies. Por ejemplo: si un aeroplano que vuela a 2,514 m. (8.250 pies) sobre el suelo, toma uña fotografía con una cámara que tiene un lente de 0.21 cm. (8½ pulg. = 0.6875 pies), la escala es 1:12,000, o sean 1,000 pies por pulgada.

Puesto que la altura del aeroplano sobre el suelo varía constantemente en una región montañosa, una fotografía tiene tantas escalas diferentes como elevaciones distintas el terreno. En consecuencia, la escala dada para una fotografía por lo general se refiere a la correspondiente a una elevación media sobre el suelo o a la escala en el centro de la fotografía. En las elevaciones mayores, la altura del aeroplano sobre el suelo es menor y la escala de la fotografía mayor; en las elevaciones mas bajas, la escala es más pequeña.

Las fotografías pueden ser ensambladas en mosaicos, que luego pueden ser vueltos a fotografíar con información temática seleccionada para producir mapas fotográficos.

Al ser una foto una visión en perspectiva (proyección), los objetos pueden no aparecer en su verdadera posición horizontal; esta tendencia se acentúa mientras más lejos se encuentra el objeto del centro de la fotografía. En consecuencia, solo las zonas centrales de las fotografías son utilizadas en los mosaicos, para la reducir la cantidad de error debida al desplazamiento del relieve. Las zonas centrales son cuidadosamente ajustadas a lo largo de los rasgos lineales, de tal forma que las uniones entre los componentes de los mosaicos puedan ser facilmente camufladas cuando se ensamblen.

Las ortofotografías también pueden ser montadas para formar un mosaico, que puede volverse a fotografíar con información temática para producir un mapa ortofotográfico. El mapa ortofotográfico tiene la ventaja de poseer la escala exacta, en contraste con los mapas fotográficos preparados a partir de mosaicos de fotografías convencionales, que sufren desplazamiento, y en consecuencia de discrepancia de escala.

De acuerdo con el alcance del control geométrico, los mosaicos son de tres clases:

- i) Sin control: las secciones de las fotografías se colocan en su lugar ajustando las imagenes.
- ii) Semicontrolados: los mosaicos contruidos con un control limitado del suelo son mosaicos semicontrolados. Con la ayuda de un proyector rectificador, los rasgos lineales tales como rios se "alargan" o "encojen" para ajustarse mejor al mapa existente.
- iii) Controlados: antes de la fotografía se marcan lugares precisos horizontales sobre el suelo, y se dibujan sobre un mapa de base exacto existente (proporcionando así el control). Las fotografías se colocan entonces de tal forma, que las imágenes de las fotos de los puntos de control, coincidan con los puntos de control dibujados sobre el mapa de base. Los positivos proporcionales y rectificados se emplean para corregir por el desplazamiento en perspectiva de los rasgos.

Modelos de Cámaras Fotográficas a disposición en el LPR

Todas son Camaras SLR. del inglés Single Lens Reflex: cámara réflex de lente única. Las cámaras de tipo SLR permiten ver por el visor exactamente la imagen que será impresa en la emulsión de la película (en el caso de las cámaras análogas) o en el sensor (en el caso de cámaras digitales). Esto es posible gracias al pentaprisma (en amarillo) que dirige la imagen que entra por la lente directamente al visor. La imagen es conducida al pentaprisma por un espejo en 45° (en gris oscuro) que se levanta al momento de hacer la foto para dejar pasar la luz al fondo de la cámara e imprimir la imagen en la superficie fotosensible (en rosado).

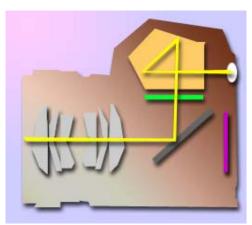


Figura 56 : Esquema de Cámara SLR

SLR de Medio Formato

Son réflex de un sólo objetivo y sin pentaprisma, por lo que la imagen al rebotar una sola vez, presenta inversión lateral. (se ve la imagen invertida), aunque algunos modelos pueden acoplar como accesorio un voluminoso pentaprisma que endereza correctamente la imagen.

Todas utilizan película en rollo de 70 mm. de ancho. Esta película se presenta enrollada junto con un papel negro. Sobre ella pueden impresionarse diversos formatos de negativo; los más corrientes son los de 4,5x6, 6x6 y 7x6 cm., correspondientes a los códigos: 120, 220 y 620.

Estas cámaras carecen la mayoría de exposímetro, no llevan autofoco, ni telémetro, ni autodisparador, y sus obturadores pueden ser de tipo central o planofocales, pero raramente superan 1/1000 de segundo. Hoy en día existe la tendencia a ir incorporando poco a poco los avances de la SRL de 35 mm en este grupo.

Como ventaja presentan un formato de tres a cinco veces superior al de paso universal; este formato, en ocasiones es el único aceptado en artes gráficas.

Entre las cámaras de este formato medio tenemos la Mamiya 645.



Figura 57 : Mamiya 645

La Mamiya 645 es una excelente opción como formato medio, entrega imágenes de 6 x 4,5cm, y en sus diferentes modelos está asegurada la calidad de definición - industria japonesa.

SLR de Formato Pequeño

Son las cámaras más sofisticadas y versátiles que existen. Además cuentan con innumerables accesorios que componen un sistema con el que se puede fotografiar en cualquier situación.

Todas, en general, poseen las siguientes características:

- Ópticas intercambiables: el objetivo standard puede ser cambiado por otros de distinta longitud focal. Algunas marcas cuentan con casi un centenar de objetivos desde 8 a 2000 mm.
- Visor pentaprisma, con enfoque, encuadre, y lectura del exposímetro a través del objetivo.
- Exposímetro incorporado tipo TTL.
- Obturador Plano-focal con velocidades comprendidas entre los 30" y 1/8000 de segundo.
- Diversos mecanismos de control como el autodisparador, anillo de ajuste de la sensibilidad de la película, zapata de conexión para flash, contactos para motor, lector de código DX, etc.

Son modelos a disposición de este grupo

- Cámara Minolta SLR
- Cámara Digital Canon DSLR EOS XSI



Figura 58: Cámara SLR Minolta



Figura 59 : Cámara SLR Digital Canon Eos XSI

La Minolta es una SLR Réflex 35 mm con varios accesorios.

La Canon Digital XSI 450D es una Cámara DSLR (Réflex Digital), con resolución máxima de de 12,2 Mega píxeles (4272 x 2848 píxeles), Compatible con todos los lentes de la serie EF y EF-S, Pantalla LCD de 3 pulgadas a color y Life View (enfoque a través de la pantalla), disparo continuo a 3.5 fotografías por segundo, Rango ISO desde 100 hasta 1600.y buffer para 53 fotos continuas entre otras características.

Resolución fotográfica

La calidad de una fotografía aérea es en parte descrita en términos de su resolución o de su poder de resolución. Este puede ser definido como la habilidad de un sistema óptico o fotográfico para reproducir detalles finos, expresados en términos de un mayor número de líneas o ciclos por mm., los cuales pueden ser separados visualmente en una imagen o grabados sobre material fotográfico.

El poder de resolución de una fotografía es dependiente de varios factores:

• La resolución del lente (calidad óptica): la habilidad de los lentes para separar visualmente el mayor número de líneas o ciclos por milímetro. En términos generales una cámara fotogramétrica tiene una resolución de 100 líneas por milímetro.

- Resolución de la película: la habilidad de una película para separar visualmente el mayor número de líneas o ciclos por milímetro;
- Aplanamiento de la película: el grado de aplanamiento de la película tomada en el plano focal de los lentes.
- Movimiento rotacional de la plataforma: guiñada, cabeceo y rollo de la plataforma (esto es, mientras más estacionaria más alta la resolución).
- Calidad óptica de los filtros: paralelismo de la superficie de los filtros, limpieza de los filtros.

El poder de resolución es usualmente medido por imágenes de un patrón objetivo estándar y por la determinación de la frecuencia espacial en líneas por unidad de longitud en la cual la imagen ya no es distinguible.

Resolución en Cámaras Digitales

Es importante aclarar que en las cámaras digitales el concepto de "Negativo" desaparece.

El corazón de todas las cámaras es un sensor electrónico, (un chip de tipo CCD o CMOS) formado por una matriz de elementos sensibles a la luz que recogen la información sobre esta procesándola mediante un software para crear una imagen y guardarla en la memoria. Cada elemento de los cuales está formada la imagen se denomina píxel (punto) y un millón de ellos se denomina megapíxel. Es decir, un sensor capaz de generar una imagen de 2000x1000 puntos tendría 2 millones de píxeles (2 megapíxeles). Está es la denominada resolución del sensor y evidentemente a más puntos mayor calidad de imagen. (Figura 60).

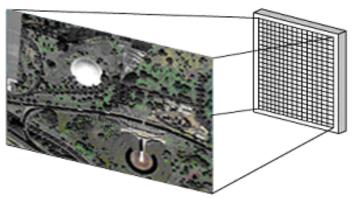


Figura 60 : Esquema del Sensor de las Cámaras Digitales

El tamaño del sensor también es importante, pues un sensor con un número muy grande de elementos, (transistores muy pequeños, en realidad), en muy poco espacio, puede dar lugar a que se creen interferencias entre ellos en determinadas circunstancias (sombras, cielo azul) que se denominan ruido (noise). Esto es observable en la practica en la cámara digital de teléfonos celulares, en donde en comparación con una cámara fotográfica digital normal la calidad de las tomas es muy inferior en el primer caso.

Los sensores que encontramos en las réflex digitales, (Figura 60), son más grandes y con menos tendencia al ruido

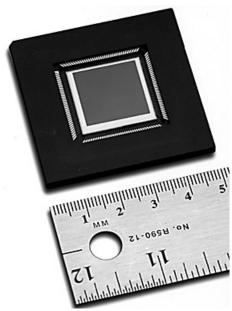


Figura 61 : Fotografía del Sensor de la cámara Canon 1D

Los sistemas de adquisición de imágenes aéreas digitales basados en cámaras de formato medio y pequeño, han demostrado su utilidad en la solución de diversos problemas. En la actualidad esta es una tecnología madura, que permite la obtención de ortomosaicos que incluso cumplen con estándares internacionales de calidad. La ventaja de dichos sistemas es el bajo costo de adquisición y operación, siendo el equipo básico, aquel compuesto por una cámara digital, un receptor GPS (para determinar el centro de toma de cada fotografía) y un programa de computadora para la formación del mosaico de la zona de estudio. Algunos desarrollos más avanzados han incorporado programas para la generación del plan de vuelo, sistemas de navegación inercial para determinar los ángulos de desviación de la aeronave durante el levantamiento (en los ejes de rotación, cabeceo y guiñada) y plataformas estabilizadas que mantienen las cámaras apuntando continuamente hacia nadir, con un rumbo fijo.

No obstante la existencia de imágenes satelitales de alta resolución, con un tamaño de pixel en el terreno de 1 metro, o menos, su disponibilidad no es inmediata; limitándose normalmente a algunas semanas y su error en cuanto a posicionamiento puede llegar a ser del orden de decenas de metros,. Por otra parte, sus costos pueden ser demasiado altos, por lo que se encuentran fuera del alcance de muchos de los posibles usuarios, especialmente aquellos de países en desarrollo. Por estas razones, cuando se necesitan imágenes de alta resolución para diferenciar objetos pequeños en el terreno, obtener alta precisión en las mediciones, un tiempo de respuesta corto y un costo reducido; la fotografía aérea digital representa una opción muy importante.

Cámaras rusas MK-4 y KFA-1000



Figura 62: Fotografia de la plataforma RESURS-F1 soporte de la cámara MK4

Rusia también distribuye imágenes adquiridas por cámaras fotográficas montadas sobre plataformas espaciales como las MK-4, KFA-1000 y KATE-200; las cuales forman parte del sistema de satélites RESURS-F. El sistema está formado por RESURS-F1 y RESURS-F2 y fue diseñado para adquirir imágenes en el espectro visible y en el infrarrojo cercano; por cuanto las mismas son apropiadas para aplicaciones en recursos naturales y evaluaciones ecológicas.

La nave RESURS-F1 utiliza dos cámaras KFA-1000 equipadas con película a color y puede adquirir imágenes estereoscópicas a una escala media de 1:250.000. A partir de estas imágenes se pueden crear modelos digitales de elevación con una exactitud de ± 45 a 50m así como productos cartográficos a una escala 1:250.000 o menor.

En 1997 entró en operación el sistema RESURS-F1M el cual, entre otros instrumentos, está equipado con una cámara MK-4 a color y puede adquirir imágenes pancromáticas a una escala media de 1: 900.000. Con estas imágenes se pueden crear modelos digitales de elevación con una exactitud de ±40 a 45m así como productos cartográficos a una escala 1:200.000 o menor. La compañía posee en archivo fotos de diferentes partes del planeta desde 1988

Características técnicas de las cámara rusas MK-4.

Vehículo	RESURS F2
Altura (km)	240
Inclinación orbita (grados)	82.3, 72.9
Ancho imagen (km)	160
Longitud focal del lente (nm)	300
Tamaño foto	180 x 180 (162x162 km en el terreno)
Número bandas espectrales	4
Bandas (mm) y resolución terreno (m)	
 Película blanco y negro 	515 - 565 (8-12)
	635 - 690 (6-8)
	810 - 900 (6-8)
 Película color, dos capas espectrozonal 	580-800 (12-15)
Escala media	1:900000
Traslape (%)	60

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Chuvieco, E, Fundamentos de Teledeteccion Espacial, Ediciones Rialp S.A.1990

Erdas Field Guide, Erdas Tour Guide., 1999, Erdas Inc. Atlanta Georgia

Moldes, F. J.,1995, Tecnología de los Sistemas de Informacion Geográfica, Editorial Ra-ma. Madrid, España,185 p.

Scanvic, J. Y. 1989, Teledetección Aplicada.. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 200 pag.

Publicación Didáctica 1 "Conocimientos Básicos sobre Teleobservación": Satélites NOAA Comisión Nacional de Actividades Espaciales- CONAE. Dra. Mónica Rabolli, Andrea Gulich

Teledeteccion Fundamental Universidad Politecnica de Madrid. España. Apunte de Clase.

Jorge Prado-Molina, Armando Peralta-Higuera y José López-García. Utilización de imágenes aereas digitales de pequeño formato para la evaluación de desastres. Enero de 2009. Revista Mapping Interactivo.

Links consultados y referidos a temas de la Serie Didáctica

Publicaciones varias de www.conae.gob.ar

http://www.clirsen.com/index.php?option=com_content&task=view&id=36&Itemid=1

García Varela, Alvaro. Sistemas de Comunicación Vía Satélite 40 Pág.

http://www.com.uvigo.es/asignaturas/SCVS/trabajos/curso0001/biblio/LANDSAT Fichas técnicas. Spotimage Francia

www.ieslaestrella.org/.../epidermislirio.htm

espanol.geocities.com/.../botanica/hoja.htm

ceos.cnes.fr:8100/.../baphygb/chap5/chap53.htm

xtnasa.usu.edu/link pages/projects rsc.html.

http://www.hiboox.fr/images/content/images_articles/consejos/fotorevista/curso/peliculas/

www.laeff.inta.es/partner/cursos/br/curso.php?c=1

Curso de procesamiento digital de imágenes aplicado a Recursos Naturales FCNyM UNLP 2001

folletos comerciales de Radarsat International

http://www.sovinformsputnik.com/ KFA-1000 images September 28 - October 20, 1999