

II - SENSORES REMOTOS

Clasificación

En base a los conceptos anteriores, un sensor remoto puede ser considerado un instrumento sensible, capaz de captar y evaluar objetos colocados a distancia.

Tomando en cuenta que la fuente emisora de energía puede pertenecer al sistema de percepción remota o ser independiente de él, podemos clasificar a los sensores en dos grupos:

Sensores Pasivos: Son aquellos que reciben la energía emitida por otra fuente (generalmente el sol) y reflejada por los objetos. (fotografía, barredor multiespectral, sistemas térmicos)

Sensores Activos: Son aquellos que poseen la fuente de energía, de manera que emiten la EEM hacia el objeto y luego detectan la energía reflejada (radar)

Existen diversos tipos de sistemas de detección a distancia, encuadrados en la clasificación formulada. En todos los casos hay que resaltar la necesidad de disponer para asegurar el éxito del trabajo de algunos datos de campo, los cuales contribuyen a la calibración del sensor y a la interpretación y evaluación de la información que se obtenga. Datos como fotografías, información geológica, geofísica, composición de suelos etc, y todo cuanto se sepa del área de estudio, es extremadamente valioso para el fin propuesto.

Sensores pasivos

Cámaras Fotográficas

En un apartado posterior nos referiremos a las características, componentes y clasificación de las cámaras métricas, como así también a las emulsiones fotográficas más comunes y sus características de sensibilidad.

Las cámaras fotográficas comprenden la banda del espectro visible y la de IR cercano. Pueden trabajarse en blanco y negro (ortocromáticos, pancromáticos, infrarrojos), en colores normales o en falso color. Esta última, es sensible a la radiación infrarrojo y aparecen de color verde los objetos rojos, de color azul los verdes y rojo los que irradian energía infrarroja, caso de la vegetación. Por supuesto que la definición anterior en cuanto a capas de color se refiere a sensibilidad dominante no exclusiva.

En general la fotografía aparece como no selectiva ya que la sensibilidad abarca todo el espectro visible, pero mediante una adecuada combinación de filmes y filtros, los métodos fotográficos pueden emplearse para producir imágenes en distintas bandas. Los filtros absorben energía según cierta función de la longitud de onda, pudiendo representarse sus características mediante un par de ejes coordenados que indiquen el % de transmisibilidad con respecto a la longitud de onda.

Vemos entonces que en base a distintas combinaciones emulsión-filtro, podríamos obtener información de un mismo objeto en distintas bandas del espectro

EM, lo que le permite al intérprete arribar a conclusiones mas firmes que las alcanzadas con una sola imagen.

De todas maneras hay que destacar que no siempre es fácil manejarse con varias imágenes de una misma zona, tomadas con distintas longitudes de onda.

Un aporte en este sentido lo da la imagen de color natural que da la posibilidad de trabajar con una sola foto, disponiendo de la información de tres bandas (azul, verde, rojo) en forma simultánea.

Radiómetros y espectrómetros

Los radiómetros y espectrómetros son sensores pasivos no fotográficos, que responden electrónicamente a la intensidad de energía radiante.

La diferencia principal entre un radiómetro y un espectrómetro es el ancho de banda medido. El primero mide la energía en una banda angosta del espectro (teóricamente para una longitud de onda), mientras que el espectrómetro lo hace en una banda ancha del mismo.

El radiómetro consta en general de tres unidades esenciales tales como se muestra en el diagrama de la Fig. 7.

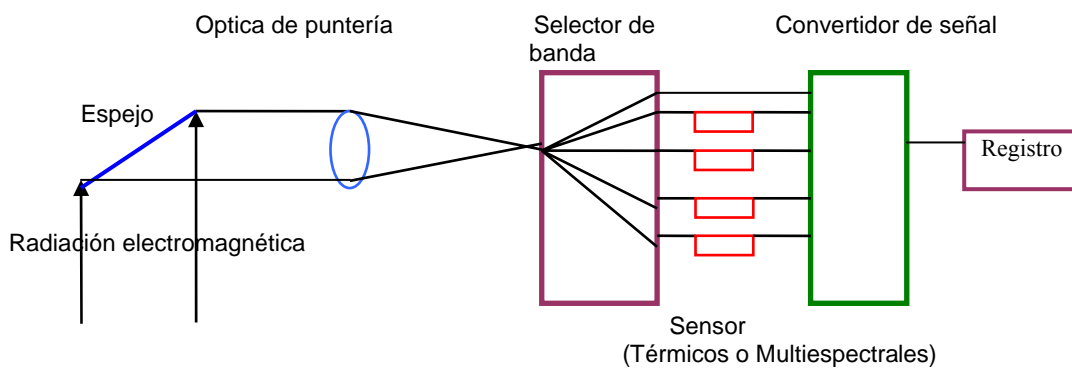


Fig. 7

La unidad óptica coordina el campo de acción del radiómetro y su apertura efectiva.

El selector de banda separa o aísla el total de energía recibida en bandas discretas, según determinadas longitud de onda, consiguiendo distribuir en abanicos la energía recibida. Colocando el sensor propiamente dicho en el lugar adecuado del abanico se detectará la banda deseada.

Finalmente el convertidor de señal, transforma la energía detectada en un pulso eléctrico proporcional a la intensidad de dicha energía, que es almacenada en forma análoga (foto) o digital. Estas señales pueden también ser transmitidas inmediatamente a una estación terrestre para su proceso.

Básicamente hay dos tipos de sensores : **térmicos y multiespectrales**. Los térmicos trabajan con la energía emitida por los objetos (3-14 μ) . El detector en este caso es extremadamente frío para que no emita por sí mismo energía térmica, siendo refrigerado por una cubierta de nitrógeno o helio líquido . Los sensores multiespectrales en cambio trabajan con la energía reflejada y la emitida o sea en el rango 0,3 a 14. μ .-

Con el mismo principio de detección y registro de energía, pero con un sistema especular rotativo se puede girar el ángulo de puntería y dar lugar a un barrido por fajas que amplía notablemente la superficie detectada por pasada.

El sistema más común es el barredor óptico-mecánico llamado “barredor multiespectral” (MSS) , cuyo diagrama de funcionamiento se observa en la figura 20.

La energía procedente de los objetos es captada por un espejo que gira movido por un motor (mecánico). Dicha energía es reflejada hacia un sistema óptico que concentra el haz energético enfocándolo sobre el selector de bandas que separa por medio de prismas separadores la banda de 0,3 a 1,2 μ correspondiente al espectro visible e IR cercano y por métodos de interferencia la banda de 1,2 a 14 μ .

La energía separada alcanza el detector, que como ya vimos, produce un pulso eléctrico proporcional a la intensidad energética y esa información se almacena en un sistema de registro.

La cantidad de bandas con que trabaja un barredor multiespectral es variable en función de su diseño y el uso que se dará a la información obtenida , pudiendo llegar a operar con 18 bandas en el intervalo comprendido entre 0,3 y 14 μ , como es el caso del barredor óptico-mecánico de la Universidad de Michigan.

Sensores activos

El radar es el único de los sensores corrientemente empleados que posee su propia fuente de energía.

Los primeros equipos fueron desarrollados para uso militar (1920) con la finalidad de detectar y localizar aviones y barcos. De ahí proviene la sigla RADAR que significa “Radio Detectin An Ranging”. Posteriormente se desarrollaron también con fines de observación los sistemas de radar para formar imágenes.

Su funcionamiento se basa en la emisión de ondas electromagnéticas en la zona de las microondas (1mm - 1m) mediante una antena direccional y la posterior recepción de las ondas reflejadas. La información contenida en el receptor se puede visualizar a través de un tubo de rayos catódicos (TRC) e impresionarse en un film que avanza a una velocidad proporcional a la velocidad de vuelo.

Con estos sistemas se puede determinar la dirección de un objeto y la velocidad relativa radar - objeto ; además, midiendo el tiempo que tarda la onda en ir hasta el objeto y regresar y conociendo la velocidad de propagación de la onda se puede calcular la distancia radar-objeto; todos estos datos permiten mejorar la resolución de las imágenes obtenidas. La mayor ventaja del radar es que puede operar bajo cualquier condición atmosférica y tanto de día como de noche.

Por otro lado, la relativamente elevada longitud de onda en que se actúa da lugar a un deficiente poder separador (menor resolución) cuando las distancias relativas entre objetos reflectantes son pequeñas .

Este inconveniente se ha resuelto con la utilización del sistema SLAR (Si Looking Airborne Radar) o radar lateral aerotransportado, que permite registrar una faja de terreno paralela a la línea de vuelo, mediante una antena situada lateralmente en el fuselaje del avión. Este sistema de radar es el más empleado actualmente para producir imágenes.

Resolución de un sistema sensor

Se denomina resolución de un sistema a su capacidad para discriminar información de detalle de un objeto detectado. En teledetección se emplea este concepto una acepción ampliada que incluye:

- Resolución espacial
- Resolución espectral
- Resolución radiométrica
- Resolución temporal

La **resolución espacial** esta vinculada al tamaño del rasgo más pequeño que puede ser distinguido en una imagen. Por ejemplo, un automóvil medio mide aproximadamente tres metros cuadrado. Por consiguiente, si se intenta identificar en un producto cuya resolución fuera de 30 metros cuadrados, estos sería imposible. Sin embargo, hay excepciones a esta regla que demuestran la importancia de la interacción de resolución espacial y espectral: a pesar del tamaño de un objeto, su radiometría (luz reflejada) pueda contrastar grandemente con el área circundante posibilitando su identificación contrariamente a las expectativas basada en la resolución espacial (por ejemplo los caminos asfaltados que atraviesan zonas verdes). En los sensores actuales esta resolución varia entre los 5 Km. de los sensores METEOSAT al metro del sensor pancromático de IKONOS.

Mientras los usuarios tradicionales de productos cartográficos están familiarizados con escala¹, la **resolución y la exactitud**² son los términos utilizados para describir la cantidad de detalle contenidos.

La **resolución espectral** se refiere a la habilidad de un sensor para discriminar la radiancia reflejada en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético. El ojo humano es sólo capaz de aprehender la información contenida en la porción del espectro electromagnético de longitud de onda rojo, verde y azul. El rango de colores visibles es un producto de nuestra mente que mezcla las cantidades las proporciones recibidas por el ojo. En contraste, los instrumentos de los sensores pueden y han sido diseñado para descubrir y medir la energía de cualquiera parte del espectro electromagnético que incluye ondas ultravioleta, infrarrojo, termal y microondas. Esta capacidad se concentra en determinado intervalo de longitud de onda denominado banda. La resolución espectral es definida por el numero de bandas que el sensor puede captar y por la anchura espectral de estas. En términos generales se puede afirmar que el sensor será de mayor utilidad cuanto mayor sea el número de

¹ El general cuando hablamos de imágenes no se utiliza el término escala, ya que la misma imagen puede ser visualizada en diversas escalas.

² La exactitud se representa a menudo como un error estadístico. La exactitud horizontal se representa como CE90. Es una medida horizontal que define el radio dentro del cual debe encontrarse un objeto de coordenadas conocidas dentro de una imagen. Es expresado en metros. La exactitud vertical se representa como LE90.

bandas que proporciona ya que las características de determinadas cubiertas requieren de estudios multiespectrales.

Por otra parte, conviene que el ancho de banda sea lo más reducido posible para obtener valores significativos a determinada longitud de onda.

A partir de la resolución espectral los sensores se clasifican en 2 tipos:

Multispectral: poseen una habilidad análoga a la del ojo humano para ver colores.

Pancromático: El término pancromático originalmente se refirió a la película fotográfica blanco y negro que era sensible a una sola banda que abarcaba todos los colores del espectro. Los primeros sensores cubrieron una banda ancha similar. Hoy, sin embargo, el ancho y posición de esta banda en el espectro varía en cada sensor. Los sensores pancromáticos emulan las funciones del ojo humano, que en situaciones de luz sumamente baja, no recibe bastante estímulo para ver colores, pero sí para percibir formas y líneas en colores de grises.

En general los datos Multiespectrales tienen una resolución mayor que los pancromáticos (ya que el tamaño de los archivos aumenta exponencialmente con la resolución) por lo cual los últimos se utilizan en aquellas aplicaciones que requieren detalles.

La **resolución radiométrica** es la capacidad del sensor para discriminar niveles e intensidades de radiancia espectral. El sistema LANDSAT ofrece 128 niveles diferentes, en general los sensores poseen 255 niveles y los de última generación llegan a 1.024.

La **resolución temporal** hace referencia a la periodicidad con que el sensor puede adquirir una nueva imagen del mismo punto de la Tierra. La máxima resolución se obtiene en órbitas geoestacionarias donde la velocidad angular del satélite es igual a la de la Tierra.

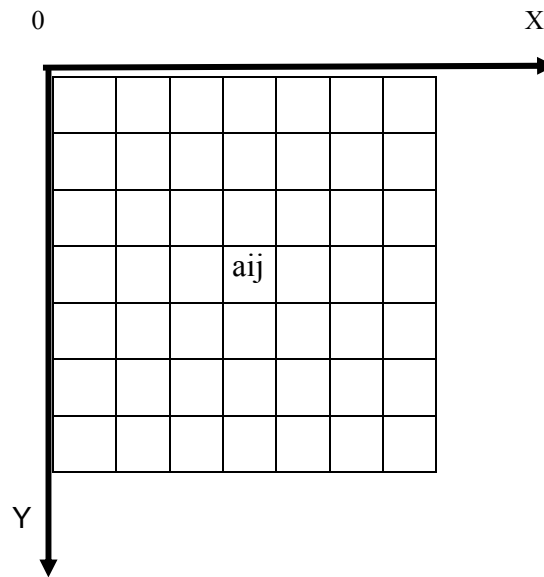
Por ejemplo en San Juan existen coberturas de fotografías aéreas de 1960, 1981 y 1994, lo cual nos brinda una información temporal, que nos permite definir una dinámica en varios años. Del mismo modo, el sistema de satélites de la serie Landsat nos provee de información cada 9 días.

La Imagen Digital

Una imagen digital es una imagen discretizada, la cual es fraccionada en unidades de superficie muy pequeñas, formando una matriz en la que cada unidad está definida en ubicación según una fila y una columna y cuyo valor se corresponde con el nivel de gris o color que tiene dicha unidad en ese punto. Cada uno de estos elementos discretos o unidades de superficie se conoce con el nombre de píxel.

Los datos obtenidos de la superficie terrestre por teledetección se consiguen en forma directa por medio de sensores radiométricos o cámaras fotográficas digitales montados en plataformas aerotransportadas o en plataformas espaciales, o en forma indirecta a través de un barredor o escáner que por medio de un sistema óptico, genera la matriz digital que representa la imagen.

El tamaño de la unidad de superficie o píxel define la resolución espacial del sistema y la mayor o menor exactitud en la ubicación de ese píxel marca la precisión geométrica del mismo.



Desde el punto de vista del análisis y del manejo de los datos, las propiedades significativas de la imagen dato son:

- 1- El número y ubicación de la banda espectral, provista por un sensor en particular,
- 2- La resolución espacial descrita por el tamaño del pixel equivalente en metros de superficie terrestre
- 3- La resolución radiométrica que como se ha mencionado, describe el numero discreto asignado a valores de brillo. Frecuentemente la resolución radiométrica está expresada en números de dígitos binarios o bits, necesariamente para representar el valor de brillo ó valor digital. Así un dato con un rango dinámico de 8 bit de resolución radiométrica, tiene 256 niveles de brillo ó de grises.

CÁMARA MÉTRICA

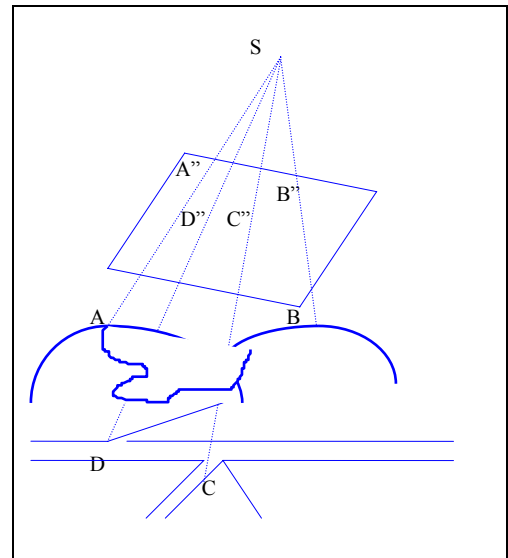
Conceptos Geométricos

Como se mencionó anteriormente la cámara fotográfica es uno de los sensores pasivos más utilizados. A continuación nos referiremos a las características, componentes y clasificación de las cámaras métricas, que reciben ese nombre en función de la utilización que de ellas se puede hacer.

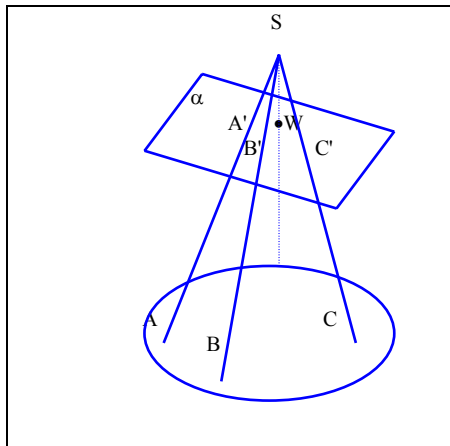
La obtención de fotografías tanto terrestres como aéreas, es un problema geométrico resuelto desde el principio de la proyección central, donde la fotografía se comporta como una perspectiva del objeto fotografiado.

Proyección central

Este método de representación está caracterizado por corresponder a cada punto del objeto que se quiere representar, otro en la imagen, y a cada recta que pase por el primero, otra recta que pase por el segundo. Además todos los rayos que unen los puntos homólogos de objeto e imagen deben concurrir en un punto, que es el centro de la perspectiva.



Perspectiva



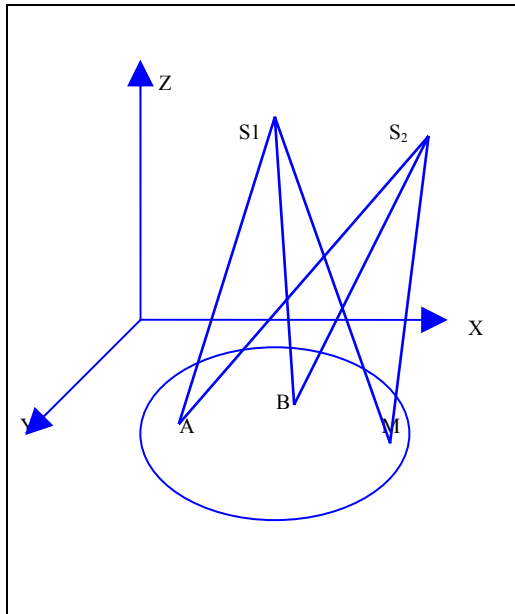
Si se corta un haz perspectivo con un plano cualquiera, que no contenga el punto de vista, se obtiene una "figura perspectiva", "imagen perspectiva" o simplemente perspectiva del objeto considerado .

El plano α es llamado plano del cuadro; el eje principal es la recta perpendicular trazada desde "S" al plano del cuadro y la distancia SW es llamada distancia principal (p) .

Para poder reconstituir el haz perspectivo a partir de la fotografía (perspectiva) es necesario conocer la posición de S sobre el plano α (w) y la distancia principal medida sobre la perpendicular al plano α , que pasa por S . Estos elementos se denominan parámetros de orientación interna.

Par de haces

Consideremos dos haces perspectivos F1 y F2 , de un mismo objeto, tomados a partir de dos puntos de vista diferentes S_1 y S_2 . A todo punto del objeto le corresponde, en cada uno de los haces un rayo perspectivo. Los rayos a un mismo punto se llaman rayos homólogos.



Si se conocen, en un sistema dado, las coordenadas de los dos puntos S_1 y S_2 , y de los puntos del objeto, los haces perspectivas de centros S_1 y S_2 , quedan perfectamente definidos en orientación y posición. El punto M se debe encontrar sobre S_1M que es un primer lugar y sobre S_2M que es el segundo lugar.

La determinación de las coordenadas de M se obtienen por la intersección de S_1M y S_2M cuando se conoce S y las direcciones de los rayos homólogos.

Este problema puede ser resuelto gráficamente, por cálculos trigonométricos o automáticamente. Para estudiar las formas y las

dimensiones de un objeto, se puede sustituir a este objeto con dos haces perspectivas distintos.

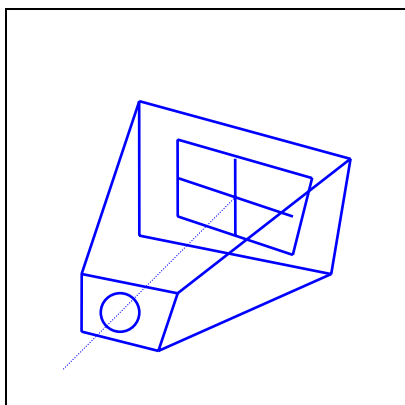
Las operaciones son las siguientes:

a) Determinación por lo menos de dos haces perspectivas, es decir determinación de las posiciones relativas de los diferentes rayos perspectivas.

b) Determinación de las coordenadas de los dos puntos de vista S_1 y S_2 y de la orientación de los haces; en el sistema de referencia elegido, estos elementos permitirán reconstituir la posición de los haces perspectivas.

c) Determinación de la intersección de los rayos homólogos; esta operación permite obtener la posición de los puntos del objeto, por el conocimiento de sus coordenadas.

Cámara métrica



Un instrumento, que permite registrar imágenes fotográficas, cuya orientación interior es conocida se denomina Cámara Métrica y las fotografías obtenidas con él: fotogramas.

En dichos instrumentos la orientación interior se resuelve de la siguiente manera:

a) La posición del centro de proyección S sobre el plano (w') queda definida por la intersección de las dos rectas que se pueden materializar a partir de marcas ubicadas en los cuatro lados del cuadro fotográfico. Estas marcas, denominadas

marcas fiduciarias, producen su imagen en el fotograma y permiten determinar la posición de W' en él.

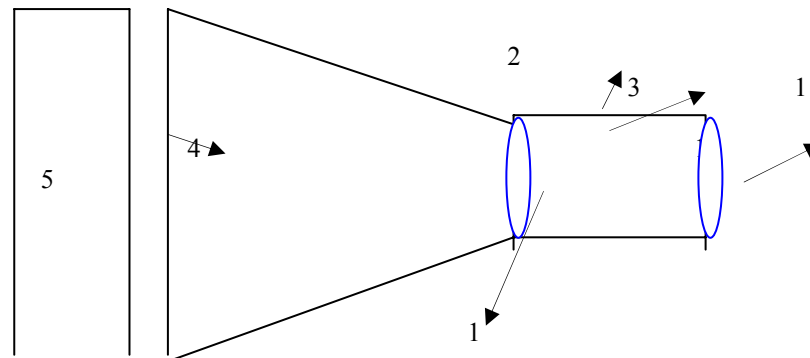
b) La distancia principal, es un dato producido en la etapa de calibración final de la cámara fotogramétrica, que provee el fabricante (p').

La fotografía en estas condiciones es la perspectiva del objeto fotografiado, según la que ya citáramos en párrafos anteriores.

COMPONENTES

Los componentes fundamentales de una cámara métrica son:

- 1- Objetivo
- 2- Diafragma
- 3- Obturador
- 4- Plano de proyección
- 5- Magazine portarrollo

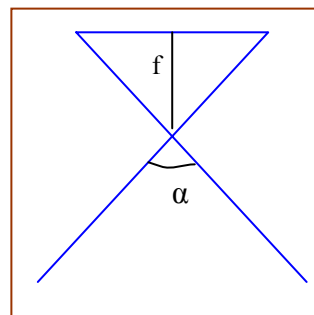


Objetivo: Está constituido por un conjunto de lentes simples y es el sistema óptico que hace converger la luz reflejada por el objeto y lo proyecta sobre el plano imagen.

Las cámaras métricas modernas, tienen objetivos intercambiables de distintas focales, para poder adaptar una misma cámara a diferentes tipos de relevamientos fotográficos.

Las distancias focales utilizadas mas comúnmente en fotogrametría son $f = 85$ mm; 150 mm; 210 mm y 300 mm. En función de estos valores y dado que el formato del material sensible es constante, se puede hacer una clasificación en función del ángulo máximo que abarca el haz de rayos que se refleja a través del objetivo. Para una cámara con formato de imagen de 23 x 23 cm. tendríamos:

Dist. Focal	Ang. Aprox.	Designación
85	120°	Super gran angular
150	90°	Gran angular
210	60°	Angulo normal
300	40°	Angulo estrecho



Diafragma: Es un dispositivo que permite controlar la cantidad de luz que entra a la cámara. Se trata de un sistema mecánico, el que se le puede variar el diámetro del orificio por el cual, ingresa el haz luminoso a la cámara fotográfica. Ejemplo:
El diámetro del diafragma se fija en una escala de aberturas, confeccionada en base al concepto de apertura relativa, que se define como:

$$\text{Abertura Relativa} \quad a = d / f = 1 / N \quad \therefore \quad \mathbf{d = f / N}$$

d = diámetro útil del objetivo

f = distancia focal

Esta expresión nos brinda una medida de la cantidad de luz que puede entrar en el objetivo o sea que la apertura efectiva del objetivo, dada por el diámetro (**d**) del diafragma, es **1 / N** de la distancia focal **f**. Este valor **f / N** es el que se indica en las escalas de diafragma de las cámaras fotográficas, divididas en puntos que doblan o dividen por dos la transmisión de la luz. Dado que la apertura es circular se cumple que entre punto y punto la graduación debe variar en un factor igual a $\sqrt{2}$.

Así, la escala de aberturas aceptada internacionalmente, es la siguiente:

f/1; f/1.4 ; f/2 ; f/2.8 ; f/4 ; f/5.6 ; f/8 ; f/11 ; f/16 ; f/22 ; f/32

De donde se desprende que para pasar de una apertura efectiva $d = f / 4$ a una que duplique la transmisión de luz, hay que aumentar **d** o sea disminuir el número **N** por lo tanto $d = f / 2.8$.

Obturador: Dispositivo que regula el tiempo durante el cual pasará luz por el objetivo.

El tiempo de obturación se mide en una escala que sigue una progresión geométrica, en la que cada exposición es la mitad de la precedente, para doblar o dividir por 2 la transmisión de la luz.

En las cámaras modernas la escala es:

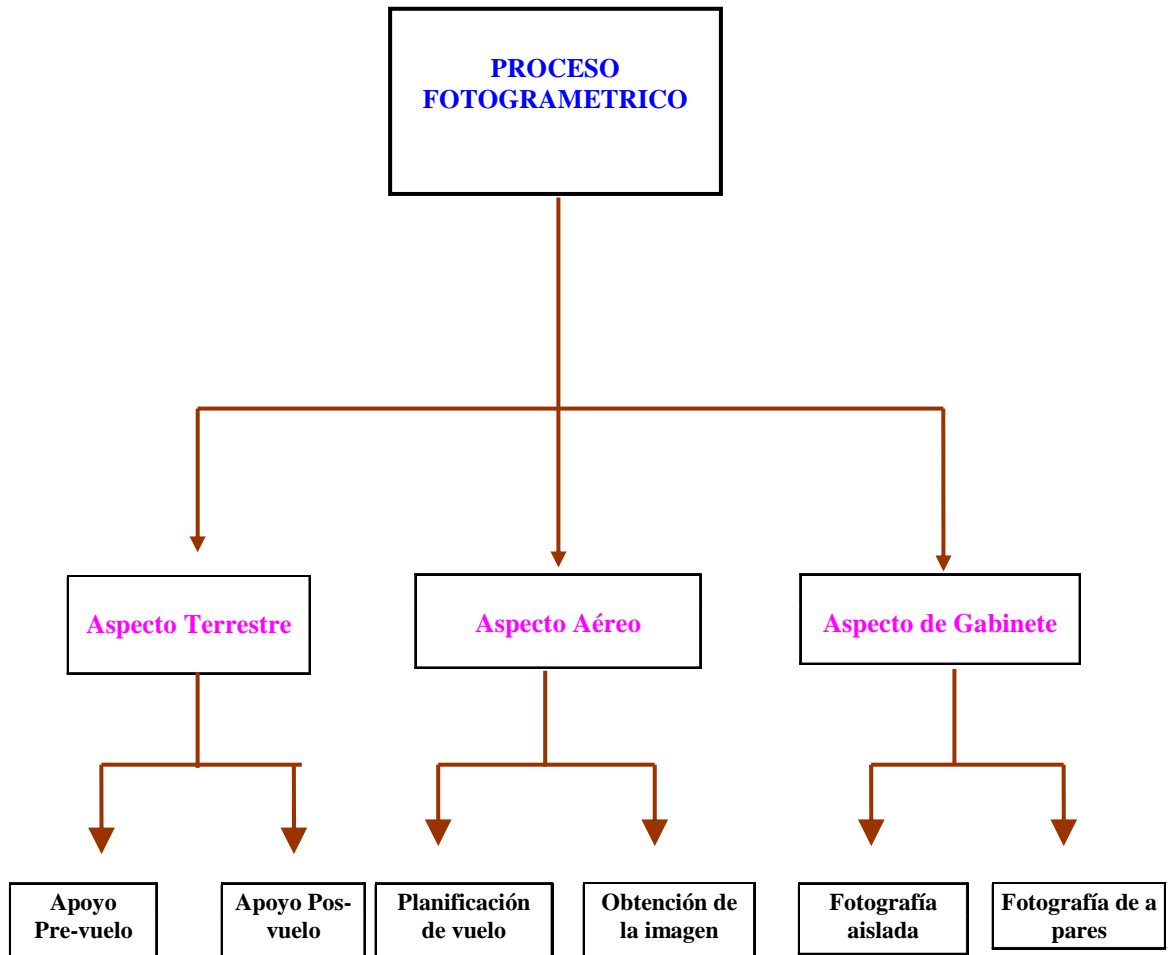
1 / 15 seg. ; 1 / 30 ; 1 / 60 ; 1 / 125 ; 1 / 250 ; 1 / 500 ; 1 / 1000 seg.

Las exposiciones de más de 1 seg. no suelen ser automáticas, principalmente porque el mecanismo de temporización sería relativamente voluminoso. Además, casi todos los obturadores tienen un dispositivo que los abre al accionar el disparador y los cierra al soltarlo. Suele señalarse con una B.

Plano de proyección: Es el plano hacia donde convergen los rayos que provienen del objeto, para formar la imagen del mismo. En este plano se coloca el material sensible que almacenará la información de la intensidad luminosa reflejada por los objetos.

Magazine porta – rollo: Las cámaras métricas en general disponen de mas de un magazine, que son cargados con el rollo correspondiente en el cuarto oscuro, pudiendo ser intercambiados fácilmente, durante el vuelo fotográfico.

PROCESO FOTOGRAMÉTRICO



La ejecución de cualquier proyecto fotogramétrico implica la ejecución de actividades vinculadas a tres aspectos fundamentales (Fig 8): Terrestre, Aéreo y de Gabinete.

El primero de ellos comprende la determinación en el terreno de una red de Puntos de Apoyo Fotogramétrico (PAF), que posteriormente servirá como sistema de referencia para asegurar la calidad métrica de los resultados que se obtengan a través de los procedimientos de gabinete.

Estos trabajos pueden ejecutarse antes de realizarse el vuelo (**pre vuelo**), colocando marcas adecuadas, en forma y tamaño, para que sean visibles en las imágenes aéreas. La medición de las mismas puede ejecutarse antes o después de efectuado el vuelo fotográfico.

También puede realizarse el apoyo con posterioridad al vuelo (**pos vuelo**), identificando en gabinete, sobre los fotogramas, elementos de la imagen que se convertirán en los puntos PAF una vez reconocidos y medidos en el terreno.

El aspecto aéreo comprende el conjunto de tareas necesarias para la consecución del material fotográfico que cubra la zona en estudio.

En tal sentido se debe realizar en primera medida una planificación del trabajo, mediante la cual se obtiene una serie de parámetros necesarios para la ejecución del vuelo.(ej: escala, altura de vuelo, orientación, tamaño y cantidad de recorridos, etc). Finalmente se procede a la ejecución del vuelo, respetando las condiciones establecidas en la planificación.

El tercer aspecto está vinculado con las actividades que se realizan en el gabinete, tendientes a lograr el aprovechamiento del material fotográfico disponible.

Las metodologías desarrolladas para este aprovechamiento, que no es otro que el de la obtención de información georeferenciada del terreno, permiten la utilización de la fotografía tomada en forma aislada o de a pares.

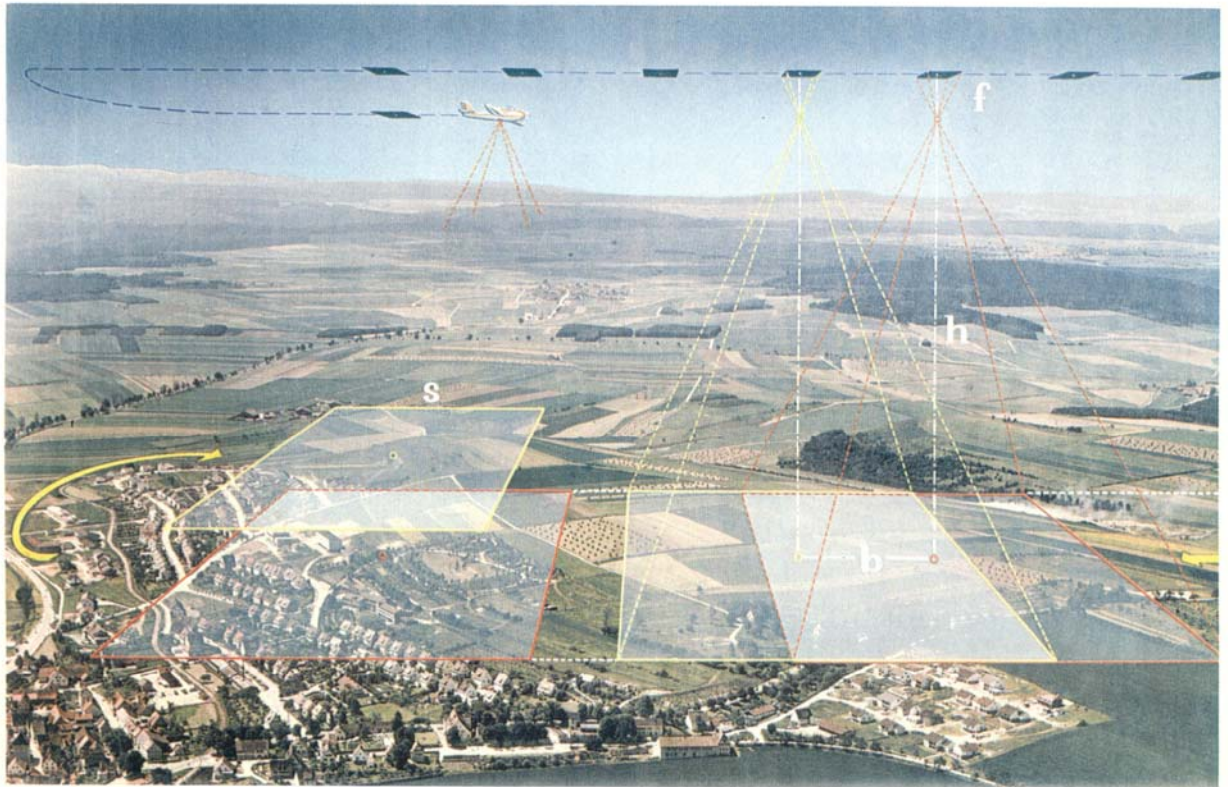
Como veremos mas adelante, según como se utilice la imagen, se podrán obtener productos cartográficos en tres soportes diferentes: fotográfico, numérico y gráfico.

ASPECTO AEREO

Consideraciones geométricas - Ejecución de las tomas

La práctica habitual en el moderno sistema fotogramétrico, consiste en disparar la cámara aérea a un ritmo tal que cada fotografía individual incluya en su contenido, normalmente un 60% de las inmediatamente anterior y posterior. De esta manera, la imagen de un cierto objeto del terreno aparecerá en tres fotografías consecutivas.

Esquema de un vuelo fotográfico



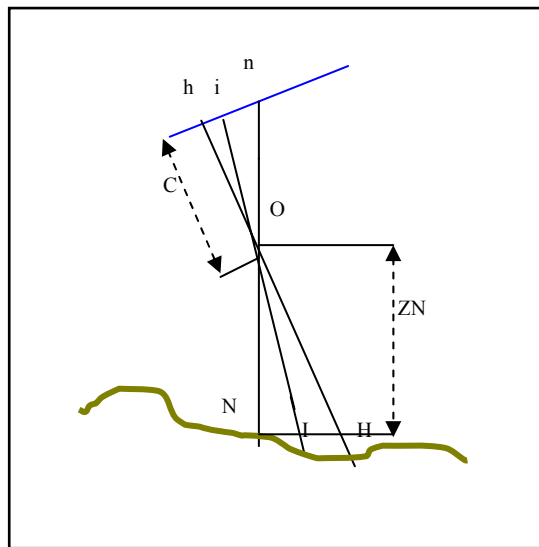
El conjunto de fotografías consecutivas 1,2,3,... de la figura , se denomina recorrido. La distancia entre dos estaciones aéreas consecutivas de la cámara se llama base aérea. Para tener la seguridad de cubrir totalmente la superficie del terreno, o sea sin dejar de fotografiar espacio alguno, se realizarán vuelos paralelos al

anterior, de modo que las fotografías de cada recorrido estén solapadas aproximadamente un 30% con las del recorrido adyacente anterior.

Definición y reconocimiento de algunos parámetros

Para el estudio de la geometría de la fotografía aérea, serán necesarias algunas definiciones, que serán ilustradas con el auxilio de la Fig. 10.-

Fig. 10



Punto Nadiral: La línea vertical que pasa por el centro de proyección, intersecta al plano del negativo en un punto llamado nadiral. Se indica sobre tal plano con la letra "n" y con "N" sobre el terreno.

Línea vertical: (Non). Es la línea que contiene a la vertical del lugar, que pasa por el centro de proyección e intersecta al plano del negativo fotográfico en el punto n.

Distancia nadiral : (On) Es la distancia entre el centro de proyección y el punto nadiral.

Punto principal: La proyección ortogonal del centro de proyección sobre el plano del negativo define el punto principal, que lo llamaremos "h" sobre dicho plano y "H" sobre el terreno.

Eje principal: (Hoh) Es la línea que pasando por el centro de proyección es normal al plano del negativo, intersectándolo en h.

Distancia principal (Oh) Es la distancia entre el centro de proyección y su proyección ortogonal sobre el plano del negativo (punto principal), la designaremos "c".

Punto isocentro: Es el punto donde la bisectriz del ángulo determinado por la línea vertical Non y el eje principal de la cámara de toma Hoh, intersecta al plano del negativo. Lo denominamos "i" sobre la fotografía e "i" sobre el terreno.

Línea principal: Es la línea contenida en el plano del negativo, que une los puntos principal y nadiral.

Plano principal: Es el plano determinado por el centro de proyección y la línea principal.

Altura de vuelo: Es la distancia vertical que existe entre el centro de proyección y la superficie del terreno, la llamaremos Z. La altura de vuelo relativa media, será la distancia referida al nivel medio de las elevaciones de la superficie terrestre. La designamos Z_m . La altura de vuelo absoluta, es la distancia que existe entre el centro de proyección y el nivel medio del mar, la designaremos ZA.

Escala de la fotografía aérea

Lo primero que debemos tener en cuenta cuando utilicemos la Fotografía para la elaboración cartográfica de un mapa, es la “determinación de la escala de la fotografía aérea”.

Entre el objeto fotografiado, en nuestro caso el terreno T y su representación t, obtenida mediante la fotografía aérea, existe una relación de proporcionalidad o fracción representativa, denominada escala. Examinando la Figura 11, que representa el caso fotográfico en condiciones ideales, donde los planos del terreno T y el de la imagen t, son paralelos; es fácil demostrar la semejanza de los triángulos aOb y AOB, tal que podemos escribir:

$$AB : z = ab : C$$

$$ab : AB = C : Z \quad (1)$$

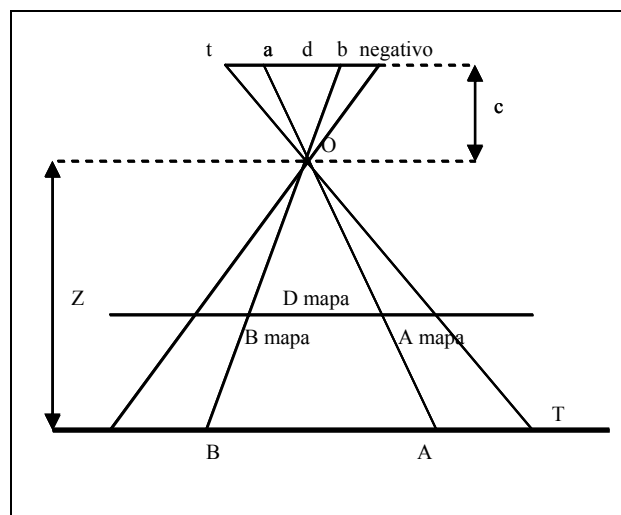


Fig. 11

Esto significa que es la misma proporción que existe también entre la altura de vuelo (Z) y la distancia principal de la cámara de toma (c).

La escala de una fotografía aérea vertical, puede definirse en general por la siguiente relación:

$$E_f = c/Z \quad (2)$$

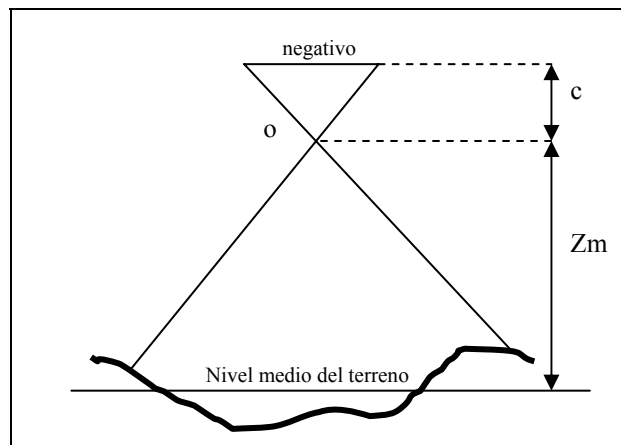
donde Z/c es el denominador D_f o módulo de la escala, pudiendo escribir la (2) de la siguiente forma:

$$(3) \quad E_f = 1 : D_f = 1 : Z/c$$

Cuando el terreno T se aparta del caso ideal, o sea por lo general no es llano, para cada punto del terreno tendremos una altura de vuelo diferente, lo cual significa que la escala de la fotografía varía sobre toda la imagen.

En este elegimos un nivel medio del terreno y medimos la altura de vuelo con relación a este nivel, por ejemplo Z_m en la Fig. 12.

Fig. 12



Ejemplo: Dado $c = 152\text{mm}$ y $Z_m = 3.040\text{mts.}$ aplicando la (2)

tendremos $E_f = c/Z_m = 0,152/3.040 = 1:20.000$

La distancia principal siempre aparece sobre la fotografía aérea, no ocurre lo mismo a veces con la altura de vuelo o la escala de la fotografía. En el caso de que desconozcamos la altura y pretendamos calcular la escala de la fotografía, un mapa o carta del área fotografiada puede ayudarnos, teniendo en cuenta la expresión (1) y la figura 12. Para ello compare detalles visibles en la fotografía y sus correspondientes imágenes sobre el mapa. Elija dos puntos fácilmente identificables tanto sobre la fotografía como en el mapa. (preferentemente en las cercanías de dos esquinas opuestas de la fotografía). Mida la distancia (L_f) entre tales puntos sobre la fotografía y la correspondiente distancia (L_m) sobre el mapa.

Ejemplo: $c = 100\text{mm}$ Escala mapa = 1:25.000
 $L_f = 153\text{mm}$ L_m (s/mapa) = 308mm

A partir de aquí tendremos dos posibilidades para continuar el procedimiento:
a) Compare las dos distancias calculando directamente la siguiente proporción:

$$\boxed{E \text{ foto} : E \text{ mapa} = Lf : Lm} \quad (4)$$

por lo tanto

$$\boxed{E \text{ foto} = (Lf : Lm) \cdot E \text{ mapa}}$$

En nuestro caso: $E \text{ foto} = (153 : 308) \times (1:25.000) = 1:50.000$

b) Convierta Lm (sobre el mapa) en Lt (metros en el terreno)
 $Lt = Lm \times \text{denominador} (E \text{ mapa})$

luego

$$\boxed{E \text{ foto} = Lf : Lt} \quad (6)$$

Una vez determinada la escala de la fotografía puede calcularse la altura de vuelo Z , según.

$$Z = c \times Df$$

Otra posibilidad eventual, es si podemos contar con la fotografía y las coordenadas planimétricas de dos puntos que son identificables sobre la primera.

Primero se procede a hallar la distancia entre tales puntos, lo que es relativamente fácil pues se reduce a hallar la hipotenusa de un triángulo rectángulo cuyos catetos son iguales a las diferencias de las coordenadas dadas de los puntos. Ejemplo: Sean dos puntos identificables sobre la fotografía (a y b), cuya distancia es 11,5cm y cuyas coordenadas planas en el terreno son:

	$X = 7.315.832,1$	$X = 7.321.534,0$
A	$Y = 3.595.159,3$	B $Y = 3.595.944,0$

La distancia AB será por lo tanto igual a:

$$AB = \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{784,7^2 + 5.701,9^2} = D = 5.755,64m$$

$$ab = d = 11.5cm = 0,115m$$

La escala de la fotografía será

$$Ef = ab / AB = 0,115 / 5.755,64 = 1 / 50.049,04 = 1:50.000$$

Debe advertirse que lo dicho hasta ahora, es válido para terrenos llanos. Podemos concluir que cuando el terreno no es llano, solamente aquellos puntos que tienen la misma altura tendrán sobre la fotografía una escala igual o constante.

MATERIALES SENSIBLES

Se llama material sensible al conjunto de la emulsión y su soporte. Podemos, por lo tanto distinguir en él dos capas perfectamente delimitadas: la capa sensible o emulsión y la capa soporte.

Emulsión
Soporte

Soporte: Es la capa sobre la cual se coloca la emulsión y puede ser transparente u opaca, según la función que deberá cumplir el material sensible.

En el caso de fotografías originales el soporte debe ser transparente, pudiendo utilizarse placa de vidrio o película flexible, la que a su vez puede presentarse como película plana o en rollo.

Las placas de vidrio presentan una buena estabilidad dimensional, pero son frágiles y su manipulación es muy delicada.

La película flexible es una lámina plana muy delgada, que puede presentarse recortada en diversos tamaños, es apta para ser usada en cámaras de gran formato, especialmente las llamadas de reproducción utilizadas en las artes gráficas, así como en la reproducción final de los mosaicos aéreos- y también en forma de película en rollo, usada en fotogrametría aérea.

Emulsión: Consiste en una suspensión coloidal de pequeños granos de sales de plata, en un medio transparente constituido por una capa de gelatina.

Estos pequeños granos son sensibles a la luz y producen en el momento que son expuestos a ella una imagen **latente**, que se transforma en visible a través del proceso de revelado.

También durante el proceso de fabricación, se pueden agregar a la emulsión colorantes sensibilizadores, que son los que van a definir la gama de ondas luminosas a las que va a ser sensible el producto final.

En función de ello, aparece el concepto de sensibilidad cromática que se puede definir como el parámetro que caracteriza la capacidad de una emulsión, para reaccionar ante diversas longitudes de onda.

Hay distintos sistemas para indicar la sensibilidad o “rapidez” de una emulsión, pero los más utilizados internacionalmente son el ASA (American Standard) y el DIN (Deutsche Industrie Normen).

El siguiente cuadro establece una comparación entre los valores de sensibilidad de cada una de las Normas mencionadas:

ASA	DIN	Tipo de emulsión
80	20	
100	21	Rapidez media
125	22	Rapidez media
160	23	
200	24	muy rápida
250	25	
320	26	
400	27	
500	28	
600	29	

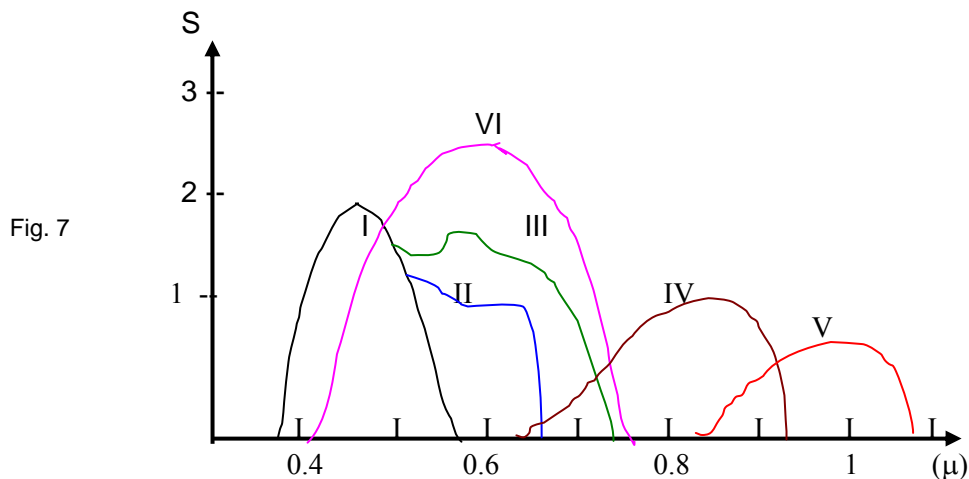
800	30	Super rápida
1000	31	
.	.	
.	.	
.	.	

Ambas escalas tienen valores inferiores y superiores a los citados. De todos modos rescatamos como parámetros más comunes para películas comerciales: 100 ASA; 21 DIN. En fotogrametría suelen utilizarse emulsiones más sensibles, ubicadas en el rango de las muy rápidas (400 ASA ; 27 DIN).

Es posible representar en un gráfico mediante una curva, la sensibilidad cromática de una emulsión en función de la longitud de onda. Tal diagrama recibe el nombre de espectrosensitograma (Fig. 7).

Si en el proceso de fabricación se ha prescindido de los mencionados colorantes, tendremos una emulsión no sensibilizada cromáticamente o emulsión común (I). Es inerte para el rojo, débilmente afectado por el verde y su máximo de sensibilidad se obtiene para la zona azul y violeta del espectro.

En las emulsiones dotadas de colorantes sensibilizadores se produce una interacción entre estos y los granos del halogenuro de plata, obteniéndose en definitiva la extensión del intervalo de susceptibilidad de la emulsión.



I	Común
I + II	ortocromática
I + III	pancromática
IV	infrarrojo cercano
V	infrarrojo lejano
VI	ojo humano

Podemos obtener así la ortocromática (II), que tiene dos máximos una en la zona azul y otro menor en la amarilla. Se aprovecha su falta de sensibilidad al rojo utilizando en el laboratorio, durante su revelado, luz de ese color para observar el curso del ennegrecimiento. Esta luz, por no actuar sobre la emulsión, recibe el nombre de luz inactiva o luz de seguridad.

Las emulsiones pancromáticas (III) en cambio, son sensibles en mayor o menor grado a todas las radiaciones del espectro visible. Esta emulsión por ser sensible a

todo el espectro es la más utilizada como material sensible en trabajos fotográficos aéreos o terrestres destinados a relevamientos fotogramétricos.

Se muestran también en el espectrosensitograma, emulsiones susceptibles a longitudes de onda mayores a las del espectro visible, cuya sensibilidad está ubicada en diferentes bandas del infrarrojo (IV y V).

Si bien los materiales pancromáticos son sensibles a todos los colores del espectro visible, no siguen la misma ley de sensibilidad del ojo humano (VI) resultando evidente que hasta ahora no se ha conseguido ninguna emulsión fotográfica a la que afecte el espectro de la misma manera que al ojo.

Podemos observar en el espectrosensitograma, que todas las emulsiones son muy sensibles a las bajas longitudes de onda, o sea a las radiaciones azul-violeta. Esta circunstancia es particularmente inconveniente en fotogrametría, puesto que siempre se interpone una considerable capa de aire entre la cámara y el terreno, que contiene impurezas de la atmósfera (gotas de agua, polvo, polen, etc.,) que producen difracción, refracción y reflexión difusa. Este proceso hace que se produzca gran cantidad de radiaciones errantes de color azulado, ya que la refracción y reflexión encuentran mayor susceptibilidad en las ondas de corta longitud. Por lo tanto, las emulsiones correrían el peligro de ser impresionadas en mayor grado por esas radiaciones errantes, reduciendo el contraste y la bondad de la imagen, pudiendo producirse el llamado velo atmosférico.

Existe una solución para este problema, y es la de interponer un filtro delante del objetivo, que se comporta como un medio ópticamente homogéneo, no difusor, que absorbe luz según determinada función de la longitud de onda.

Ya comentamos que los filtros permiten lograr los más variados efectos, reforzando algunos tonos o suavizando otros según la ley expresada más arriba, pero en Fotogrametría el más utilizado es el amarillo que es el que detiene el paso de las radiaciones de corta longitud de onda, evitando el velo atmosférico.