

FOTOGRAMETRIA APLICADA A LA INGENIERIA

Tema III Instrumentos fotogramétricos

Triangulación Aérea

Tipos de errores en Triangulación Aérea

Métodos de Ajuste

CARLOS S. GALINDO C.

Curso Intensivo
CENTRO DE EDUCACION CONTINUA
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

L. NOTAS ELEMENTALES SOBRE FOTOGRAMETRÍA

La Fotogrametría es una técnica que tiene por objeto deter-
minar la forma y dimensiones de objetos a partir de sus perspecti --
vas centrales. Generalmente se emplean fotografías como perspecti --
vas centrales. [1]

La aplicación más importante de la fotogrametría consiste
en el levantamiento de planos topográficos y mapas. La fotograme --
tría aplicada al levantamiento de la superficie de la tierra se divide --
en: fotogrametría terrestre, cuando la cámara se fija sobre el te --
rreno al hacer la toma de vistas y fotogrametría aérea, cuando la --
cámara fotográfica se transporta en un vehículo aéreo.

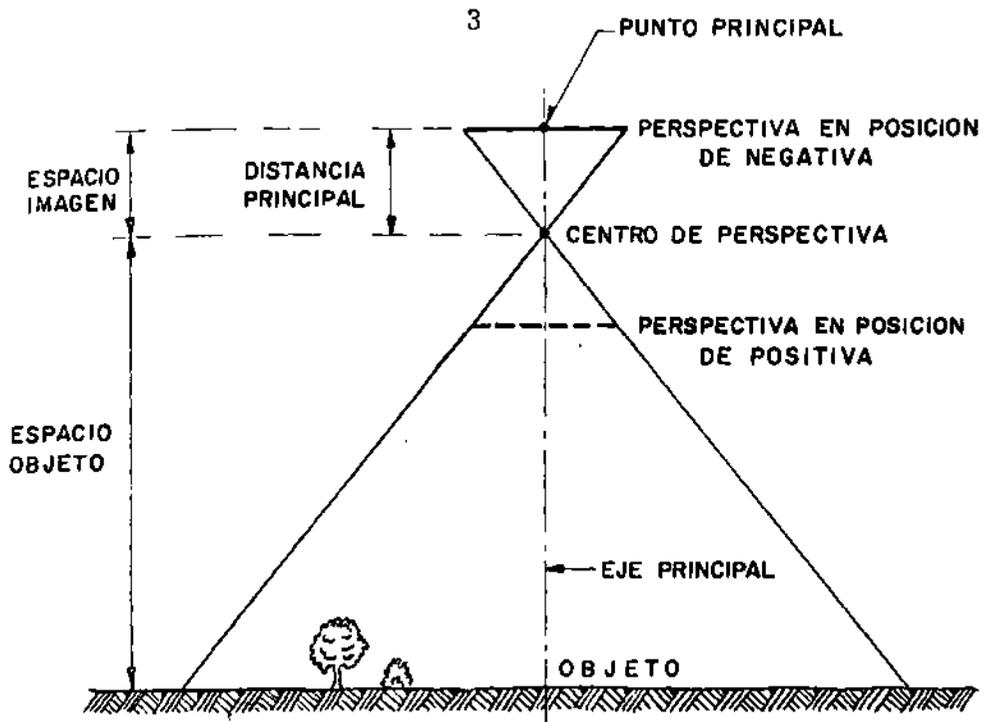
Hay muchos tipos de fotografía aérea: La fotografía aérea
vertical se obtiene con el eje óptico de la cámara orientado sensible
mente en dirección a la vertical del lugar. Otros tipos de fotografía
aérea son la fotografía aérea convergente, oblicua, oblicua paralela,
de trimetrogón, de cámara múltiple, etc. Los instrumentos y sobre
todo los métodos para la construcción de mapas empleando los dife --
rentes tipos de fotografía aérea, difieren considerablemente. Estas
notas se limitan a la fotogrametría aérea vertical.

Principios generales y definiciones. El elemento fundamental de la

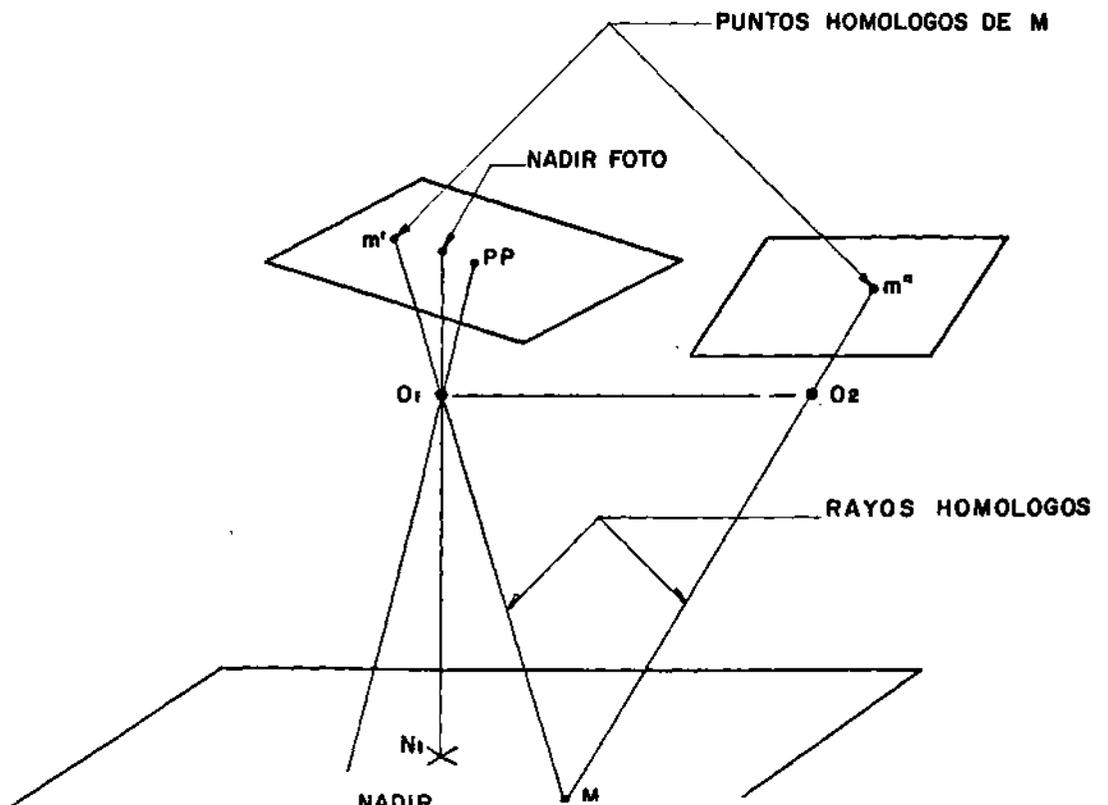
fotogrametría es el haz de rayos perspectivos. El haz de rayos -
 perspectivos es el haz de rectas que partiendo de los puntos de un -
 objeto, convergen en un punto llamado centro de perspectiva o punto
 de estación. Los planos que cortan el haz perspectivo son sus pers -
 pectivas centrales. Dado un objeto cualquiera a medir, el primer pa -
 so consiste en definir dos haces de rayos perspectivos del objeto, és
 tos servirán para formar un modelo del mismo sobre el cual puedan
 realizarse las mediciones requeridas. El haz de rayos perspectivos
 puede equipararse al conjunto de visuales realizadas con un teodolito,
 desde un punto de estación a varios puntos de un objeto. En el proce -
 dimiento fotogramétrico en lugar de emplear una libreta de campo pa -
 ra registrar las diferentes visuales que parten de un punto de esta -
 ción determinado, para reproducir el haz, se emplean perspectivas -
 centrales. Si el centro de perspectiva está entre el objeto y la pers -
 pectiva, se dice que la perspectiva está en posición de negativa. Si el
 plano de la perspectiva está situado entre el objeto y el centro de pers -
 pectiva, se dirá que la perspectiva central está en posición de positiva.

La intersección de la vertical que pasa por el centro de pers -
 pectiva con el plano negativo de la fotografía es el nadir o punto nadi -
 ral. En la perspectiva central las líneas paralelas no se proyectan co -
 mo líneas paralelas sino que se intersectan en el punto de fuga.

El punto de fuga de las líneas verticales es el nadir.



HAZ DE RAYOS PERSPECTIVOS



Al espacio comprendido entre el centro de perspectiva y el objeto se le llama espacio objeto. Al espacio comprendido entre el centro de perspectiva y una perspectiva en posición de negativa se le llama espacio imagen. El rayo perspectivo perpendicular al plano de la perspectiva central se llama eje principal. La intersección del eje principal con el plano de la perspectiva es el punto principal. La distancia entre el centro de la perspectiva y el plano de la perspectiva se llama distancia principal.

Un haz de rayos perspectivos queda definido por una de sus perspectivas centrales y la posición del centro de perspectiva con relación a ella. Generalmente se emplea una cámara fotográfica para materializar una perspectiva central.

Para fotografiar un área a levantar el avión tiene que volar sobre la zona según un patrón similar al que se sigue para arar un terreno, la toma de fotografías se hace de tal manera que cada fotografía cubra aproximadamente el 60 % del área cubierta por la fotografía anterior. La faja cubierta en cada pasada sobre el terreno se llama línea de vuelo, también se llama así a la colección correspondiente de fotografías y a la proyección de la trayectoria del avión sobre las mismas. Cada línea de vuelo vuelve a cubrir el 30% aproximadamente del área fotografiada por la línea de vuelo anterior. El esquema de vuelo es una calca de una carta de la zona con los

accidentes más importantes del terreno donde se trazan flechas que representan líneas de vuelo, con su número en la parte media y los números de las fotografías iniciales y finales de cada línea.

Indicaciones registradas en las fotografías

- a) Marcas fiduciales para determinar el punto principal
- b) Altímetro para determinar la altura de vuelo
- c) Reloj para determinar la hora de la exposición
- d) Nivel esférico para estimar la inclinación de la cámara
- e) Distancia principal de la cámara
- f) Número de fotografía
- g) Número de cámara

Manera de calcular la escala en las fotografías verticales

Definición de escala : Razón que nos indica la relación de magnitud entre un objeto real y su representación, en este caso, en una fotografía.

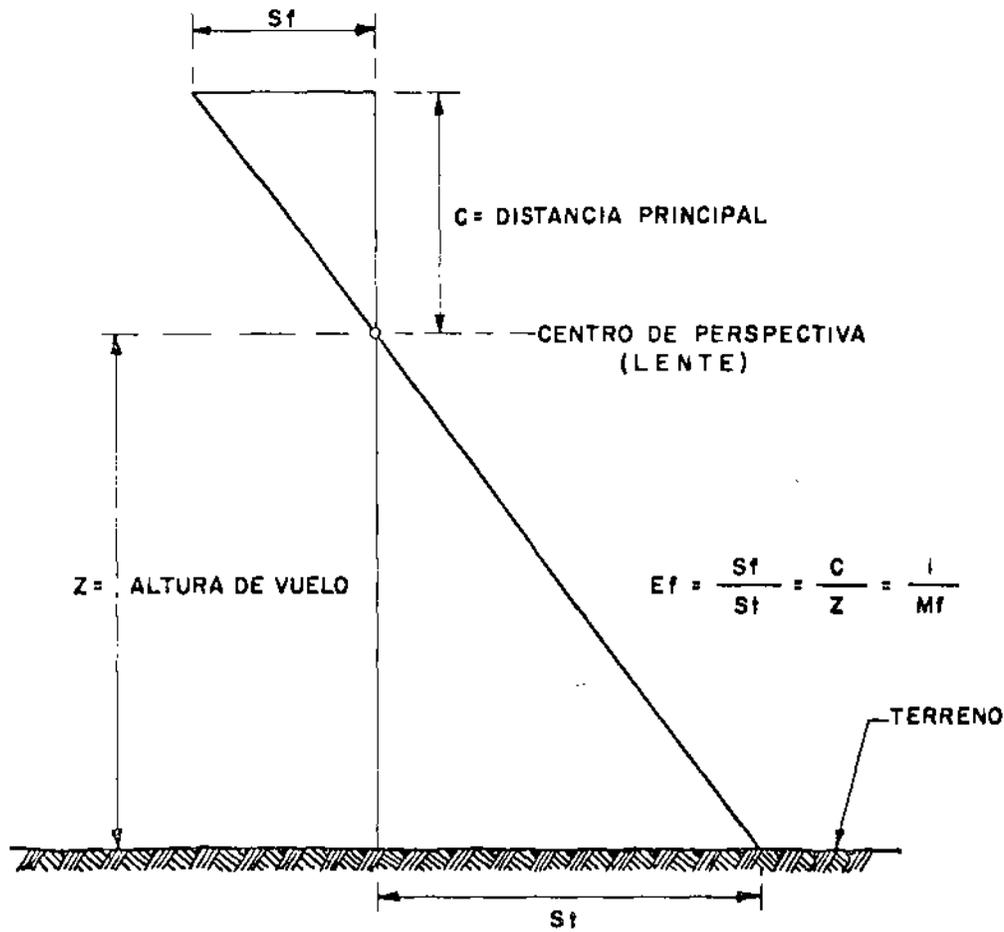
C = Distancia focal de la cámara

Z = Altura de vuelo sobre el nivel medio del terreno

$$E_f = \frac{\text{distancia en la foto}}{\text{distancia en el terreno}} = \frac{S_f}{S_t}$$

Por triángulos semejantes :

$$E_f = \frac{C}{Z}$$



ESCALA DE FOTOGRAFIA

Ejemplo:

$$C = 209.83 \text{ mm}$$

$$Z = 1075 \text{ m}$$

si x = denominador de la escala

$$\frac{C}{Z} = \frac{1}{x} \quad \therefore \quad x = \frac{Z}{C}$$

por tanto

$$E_f = \frac{1}{5150} = \frac{1}{M_f}$$

Esta última representación es correcta si se trata de una fotografía; para una carta, la escala se representaría por la relación

$$E_c = \frac{1}{M_c}$$

Determinación de puntos principales . El punto principal o central de las fotografías aéreas, es la proyección ortogonal del centro de perspectiva en la fotografía y se materializa por la intersección de las líneas que unen las marcas fiduciales de las esquinas o lados opuestos. Para el centraje de fotogramas en los instrumentos de restitución se emplean las marcas fiduciales "ópticas" que son pequeñas cruces bien definidas en las esquinas de los fotogramas (cámaras Wild) o pequeños puntos en las partes medias de los lados (cámaras Zeiss).

Para muchos casos es suficiente la determinación del área central de cada fotografía que se traza con ayuda de mascarillas especiales.

La numeración de puntos principales en las fotografías varía en muchas ocasiones.

Puntos de pase . Un modelo para ser orientado necesita cuando menos de cuatro puntos de coordenadas conocidas situados de preferencia en sus esquinas (puntos de pase). Son comunes a dos modelos sucesivos de una misma línea de vuelo; además de ser puntos de control menor, sirven para calcular el área de cada modelo y determinar la zona a restituir del mismo.

Selección de puntos de pase . Los puntos de pase deben estar situa--

dos lo más cerca posible de la bisectriz del ángulo formado por las líneas que unan tres puntos principales sucesivos de una línea de vuelo y en la línea media de la zona de sobreposición de líneas de vuelo contiguas.

Si los puntos de pase entre modelos de dos líneas de vuelo contiguas fueran a quedar uno muy cerca del otro, se fundirían en uno solo, que obviamente se trataría de localizar a la mitad de la línea de unión de los puntos principales opuestos de las dos líneas de vuelo.

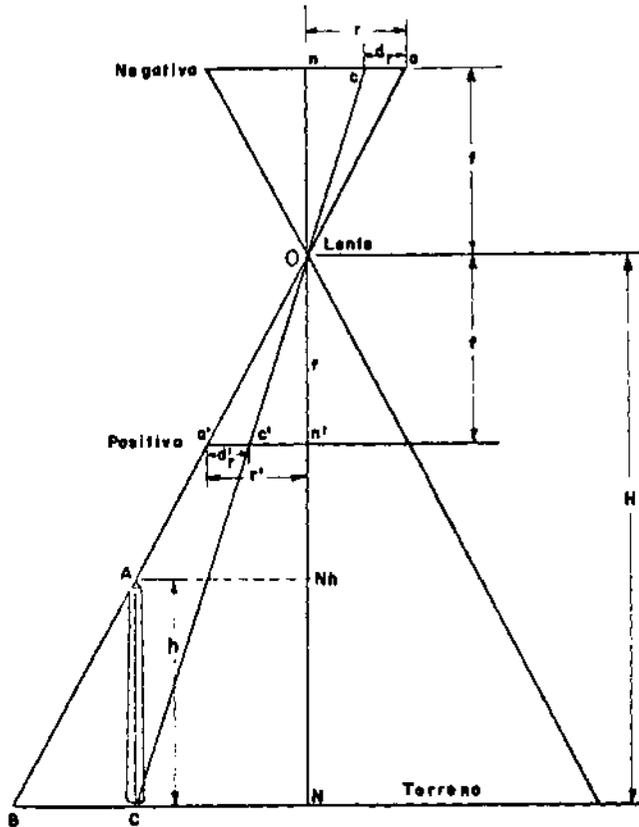
Notas: Ninguna de las líneas antes mencionadas deberá trazarse, sino simplemente se estimará su situación aproximada.

Con excepción de zonas excesivamente montañosas los puntos de pase entre dos líneas de vuelo quedarán alineados en las fotografías. En todos los casos si los puntos de pase están bien determinados éstos quedarán alineados en la minuta (hoja de restitución).

Desplazamiento por relieve. La presencia del relieve en las fotografías da como resultado un desplazamiento de las imágenes de tal forma que la escala de la fotografía no resulta uniforme.

En los instrumentos fotogramétricos los desplazamientos de las imágenes son determinados por dispositivos ópticos o mecánicos, pudiéndose leerlos en escalas adecuadas como diferencias de elevación.

El desplazamiento por relieve dr es radial a partir del punto - nadiral.



DESPLAZAMIENTO DE LA IMAGEN DEBIDO AL RELIEVE

de la figura :

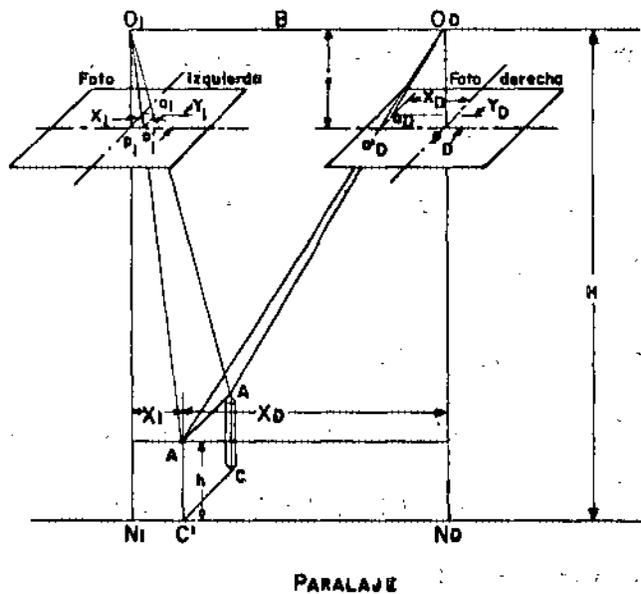
$$\frac{dr}{r} = \frac{BC}{BN} = \frac{h}{H} \quad \text{tendremos :}$$

$$dr = \frac{rh}{H} = \text{desplazamiento por relieve}$$

Paralaje. Cuando vemos un objeto desde dos diferentes puntos de observación hay un aparente desplazamiento de la posición del objeto con respecto a un sistema de referencia [2]. Este desplazamiento - es lo que se conoce como paralaje.

La paralaje estereoscópica "x" de un punto será la diferencia algebraica, paralela a la base, de las distancias de las dos imágenes y su correspondiente punto principal.

La paralaje "y" de un punto, es la diferencia de la distancia perpendicular a la base de cada una de sus dos imágenes al plano vertical que contenga a la base.



La paralaje estereoscópica del punto A es :

$$P = x_I - x_D$$

Considerando que x es positivo cuando crece a la derecha del punto principal.

Por triángulos semejantes

$$\frac{x_I + x_D}{X_I + X_D} = \frac{f}{H - h}$$

como $x_I + x_D$ es la paralaje P

y como $X_I + X_D$ es la base B

$$\frac{P}{B} = \frac{f}{H - h} \quad \therefore \quad P = \frac{Bf}{H - h} \quad \text{y}; \quad h = H - \frac{Bf}{P}$$

Con lo anterior es posible calcular la elevación de un punto cuando H, B y f son conocidos y P puede ser medido.

Sin embargo es común trabajar con diferencias de paralaje, o sea con alturas relativas entre dos detalles en las fotografías.

Estas diferencias pueden medirse con diversos instrumentos, desde barras de paralaje rudimentarias, hasta con complicados instrumentos fotogramétricos.

Amplificaciones fotográficas

En ocasiones es necesario trabajar con amplificaciones fotográficas a partir de un negativo o positivo original. Si la fotografía fuera también rectificadas, su precisión se incrementa.

Fotografías rectificadas

Para algunos propósitos puede desearse cambiar una fotografía por su imagen lo más equivalente al terreno. Al proceso de proyectar una fotografía o copiarla sobre un plano horizontal o inclinado, ajustándolo en puntos de control terrestre o fotogramétrico, se le llama rectificación fotográfica.

Dos fotografías para formar un par estereoscópico deben reunir las condiciones siguientes :

- a) Que exista el recubrimiento necesario entre ellas
- b) Que no existan grandes diferencias de paralaje o en otra forma, que los puntos de toma no deben estar muy separados, los ejes ópticos de la cámara deben ser aproximadamente paralelos y en este caso (fotografía vertical) orientados aproximadamente sobre la vertical del lugar.
- c) Las fotografías deben ser de la misma escala aproximadamente.

Distancia de acomodación .

El ojo humano es capaz de enfocar, "acomodar" desde la distancia de 150 mm. hasta infinito. La acomodación normal próxima es de 250 mm.; esta distancia es la que se toma como distancia tipo para calcular la amplificación de las lentes.

Relación acomodación/convergencia . Si los ojos enfocan a cierta distancia, automáticamente convergen a un punto situado a esa distancia. Esta es la llamada relación fisiológica acomodación/convergencia de la percepción visual.

Visión estereoscópica. La calidad de la percepción visual depende en parte de la agudeza visual y en parte de la impresión tridimensional del espacio que nos rodea, la que logramos al ver nuestro medio desde dos puntos de vista simultáneamente. Obtendremos también una impresión tridimensional si contemplamos, simultáneamente,

dos fotografías de un mismo objeto tomadas desde puntos diferentes.

Para observar un par de fotografías estereoscópicas se hace uso de varios tipos de estereoscopios o, mediante entrenamiento, para disociar la convergencia del acomodamiento, es posible ver un par de fotografías sin ayuda de estereoscopio.

Los medios más comunes para lograr la visión estereoscópica de un par de fotografías son :

- a) Estereoscopio de lentes (o de bolsillo) que consiste en dos lentes (empleados como lupas) de distancia focal del orden de 12 cm., que permiten observar las fotografías con los ojos acomodados al infinito.
- b) Estereoscopio de espejos. Consiste en un juego de cuatro espejos de reflexión superficial (la metalización está en la superficie por lo que nunca hay que tocarlos con los dedos para evitar oxidación) - y un par de lentillas para observar las fotografías, con acomodación al infinito, quedando las fotografías a una distancia de aproximadamente 50 cm. de los ojos del operador. A los estereoscopios de espejos es posible adaptarles un par de prismáticos para percibir imagen estereoscópica con mayor amplificación.
- c) Otros medios para lograr la visión estereoscópica son la proyección anaglífica, la impresión anaglífica, el estereoscopio de prismas, etc.

Orientación de fotografías bajo el estereoscopio de espejos.

Las fotografías se colocan con los puntos principales del par a observar sobre la misma recta. El punto principal del lado izquierdo debe estar separado de su homólogo de la fotografía derecha 24 cm. aproximadamente. Cuando se trata de observar estereoscópicamente un par de fotografías formado por fotografías pertenecientes a dos líneas de vuelo habrá que orientar las fotografías de tal manera que la línea que une los puntos principales de las fotografías sea paralela a la base de observación.

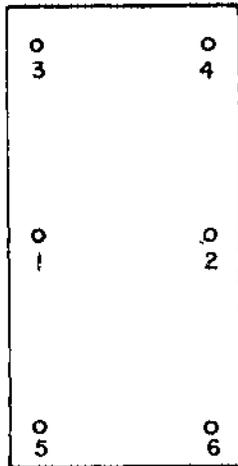
Procesos que intervienen en un trabajo fotogramétrico.

- A) Toma de fotografías aéreas
- B) Reconstrucción del haz de rayos perspectivas existente en el momento de la fotografía (orientación interior)
- C) Formación del modelo estereoscópico mediante la intersección de rayos homólogos (orientación relativa)
- D) Ajuste de escala y nivelación del modelo con datos de apoyo terrestre o de triangulación aérea (orientación absoluta)
- E) Medición del modelo (Triangulación Aérea)
- F) Representación gráfica o numérica (Restitución)

NOTAS :

- 1a. Los cinco puntos usados en la orientación relativa, más un - -

sexto usado como comprobación, se numeran en los modelos como se indica en la figura.



- 1 Punto principal de la cámara izquierda
- 2 Punto principal de la cámara derecha
- 3 y 4 Puntos de pase superior
- 5 y 6 Puntos de pase inferior

2a. Los movimientos de que están provistas cada una de las cámaras de proyección son :

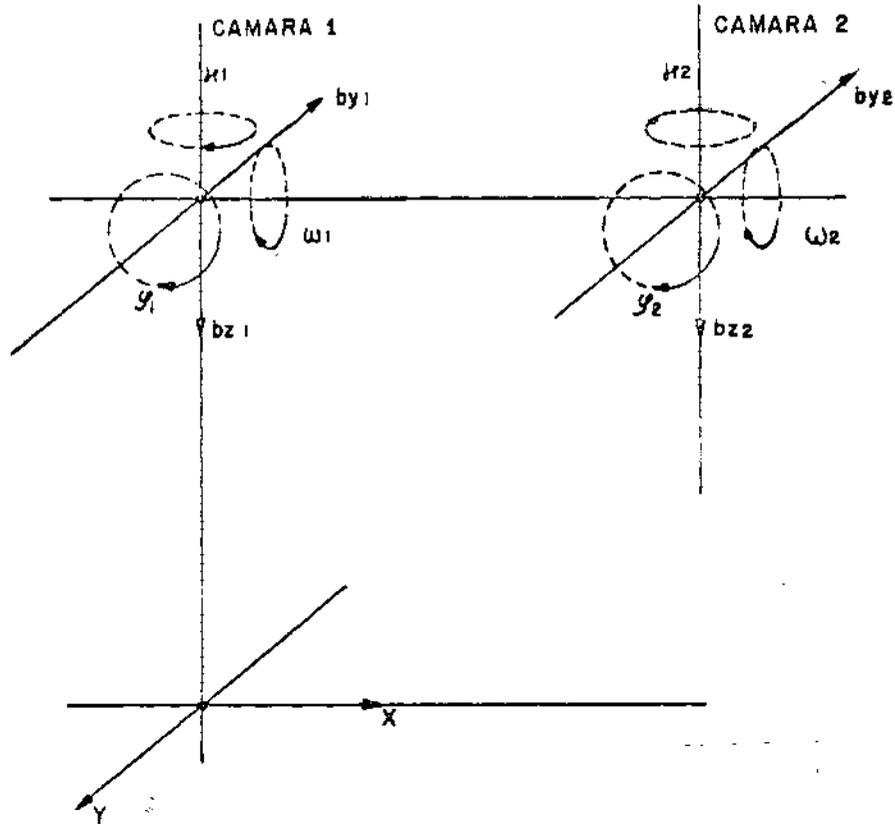
a) Tres desplazamientos a lo largo de los ejes x , y , z , llamados b_x , b_y , b_z y si se desea referirse a pequeñas variaciones en estas direcciones, se llamarán db_x , db_y , db_z .

b) Tres giros alrededor de estos ejes :

alrededor del eje x , ω (inclinación lateral)

alrededor del eje y , ϕ (inclinación longitudinal)

alrededor del eje z , χ (giro)



A) Toma de fotografías aéreas.

B) Orientación interior o reconstrucción de los haces de rayos -
perspectivos . Esta se logra centrando las diapositivas (placas o
película) o negativas en las cámaras de los instrumentos fotogramé-
tricos e introduciendo en estas cámaras la distancia focal de la cá-
mara aérea correspondiente, o mejor, la distancia focal corregida
llamada distancia focal de restitución.

La manera de calcular este valor, es desde luego, conocien-
do el certificado de calibración más reciente en el que se asientan -

no sólo las características (gráficas) de deformación que tiene la cámara en el momento de calibración, sino las dimensiones que existían en ese momento entre las marcas fiduciales en el marco del plano focal.

Ejemplo:

Para una cámara RMK 21/18, la distancia focal de calibración es 209.83 mm. y para la diapositiva 42 de la línea de vuelo c, después de medir las distancias entre las marcas fiduciales opuestas (en la diapositiva) sacar promedio de ellas, y relacionarlas con el factor obtenido del promedio de las mismas distancias medidas en la cámara en el momento de la calibración y de la distancia focal de la cámara en el certificado, se tiene:

D_{f_c} = Distancia focal de calibración

P_{dist_c} = Promedio de las medidas de las distancias entre marcas fiduciales.

P_{dist_m} = Promedio de las distancias entre marcas medidas en las diapositivas.

D_{f_r} = ? = Distancia focal de restitución

$$\frac{D_{f_r}}{P_{dist_m}} = \frac{D_{f_c}}{P_{dist_c}}$$

$$D_{f_r} = \frac{D_{f_c}}{P_{dist_c}} P_{dist_m}$$

Con lo anterior se calcula para esta diapositiva en particular, una nueva distancia focal (209.77), que se considera en la cámara del instrumento fotogramétrico en el que se colocará la diapositiva por necesidades del trabajo.

Existen instrumentos como el C8 en los que no se introduce directamente la distancia focal, sino que se toma en cuenta que el micrómetro de cada cámara de proyección, tiene un "cero" determinado en los ajustes periódicos del instrumento, cuyo valor tendrá - que compararse con la Df_c y por diferencia obtener un valor que -- será el que se tenga que introducir en el micrómetro de la distancia focal al montar la diapositiva en el portaplacas de un instrumento.

Cámara izquierda A cero del micrómetro = 205 mm.

Cámara derecha B cero del micrómetro = 205.12 mm.

que restándolos de las distancias focales correspondientes dieron:

En el caso de la diapositiva indicada antes, que entra en la cámara A

$$\begin{array}{r} 209.77 \\ 205.00 \\ \hline Mc = 4.77 \end{array}$$

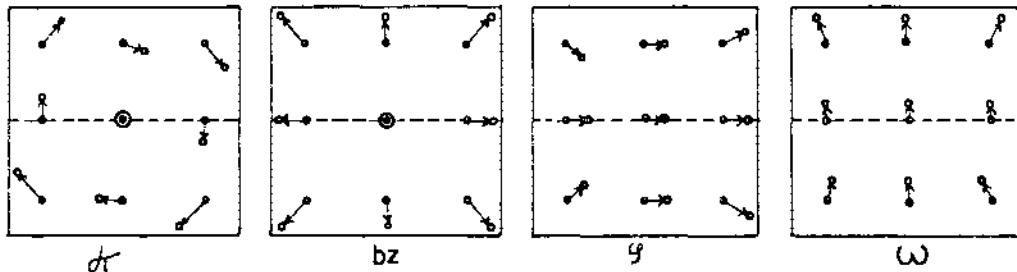
cantidad que se introduce en el micrómetro de la distancia focal del instrumento.

C) Orientación relativa o formación del modelo estéreo.

Se logra por iteraciones con los elementos de orientación, (giros y desplazamientos) en tal forma que los haces de rayos de las dos cámaras del instrumento queden uno con respecto al otro en posición

similar a la que tenían en el momento de la toma de las fotografías. Es decir, hay que lograr la intersección simultánea de cinco pares de rayos homólogos, correspondientes a cinco puntos determinados de las dos perspectivas por medio de la eliminación sucesiva de las diferencias de ordenadas de sus proyecciones. Se puede llegar a esta eliminación con los movimientos de uno o de los dos proyectores (según el caso).

A continuación se indica, de manera gráfica cómo afectan a las proyecciones de los puntos del modelo, los movimientos que se pueden dar a los proyectores. Esto es fácil de comprobar en algún aparato de proyección.



Desplazamiento de los puntos en un modelo al desplazar uno de los proyectores

b_x y b_y (componentes de la base) dan lugar a corrimientos iguales - en todos los puntos en las direcciones en que se imprima el movimiento. Los corrimientos entre los puntos de uno y otro proyector señalados con flecha en la gráfica, son las paralajes, como se ve, tienen componente en "x", p_x , y en "y", p_y .

Analizando la figura anterior puede verse cuales elementos introducen o eliminan paralaje "y" en cada punto

En 1 : by_1 , by_2 , χ_2
En 2 : by_1 , by_2 , χ_1
En 3 y 5 : by_1 , by_2 , bz_2 , ω_1 , ϕ_2
En 4 y 6 : by_1 , by_2 , bz_1 , ϕ_1 , ω_2

En total son 10 elementos que pudieran intervenir en la orientación ya que b_x no tiene influencia sobre paralaje "y", pero como sólo un b_z , un b_y y un ω necesitan usarse, quedan 7 elementos para orientar. En la práctica sólo se necesitan 5 elementos, ya que teniendo una cámara orientada es posible orientar la otra con relación a la primera.

En el proceso de orientación debe preocuparnos eliminar la componente "y" de la paralaje, ya que su componente "x" se elimina sin presentar problema con desplazamientos sobre el eje "Z".

El proceso de orientación relativa, como ya se indicó, es un proceso iterativo. Hay varios métodos, empíricos, gráficos o numéricos.

Los métodos gráficos están fuera de uso práctico, en cambio la orientación relativa numérica se prefiere a los métodos empíricos,

(que en general se usan como una primera aproximación) ya que nos permite calcular los valores de las correcciones y tener así una mayor certeza en cuanto a su convergencia hacia los valores definitivos de los elementos.

Este método se puede realizar con ayuda de pequeñas computadoras de escritorio en donde sea posible trabajar con el programa correspondiente, lo cual da mayor rapidez al proceso que se reflejará en un mayor rendimiento del operador.

D) Orientación absoluta. Puesta a escala del modelo y orientación de la vertical del mismo de acuerdo con el eje " Z " del instrumento de medición. Se consigue con las coordenadas de los puntos de control o con la minuta (hoja de dibujo) y con los datos altimétricos de los puntos de control terrestre o fotogramétrico; con esto se logra relacionar el modelo con su posición real con respecto al terreno.

Este proceso debe tratar de realizarse sin destruir la orientación relativa, o sea valiéndose de los movimientos generales ϕ, Ω o bien realizando movimientos en ambas cámaras de tal manera que no se altere la posición relativa de las cámaras.

E) Triangulación aérea. Es el proceso fotogramétrico empleado para extender el control terrestre. Generalmente se realiza en instrumentos de primer orden como el A7 de Wild, el C8 de Zeiss, el Estereocartógrafo V de Galileo, etc.

F) Restitución o compilación estereoscópica o sea la transferencia al mapa de los detalles cartográficos (planimetría, altimetría) que aparecen en el modelo, puede ser gráfica o numérica.

La restitución gráfica puede hacerse en una rectificadora, - sobre los puntos de control previamente determinados, o bien, con mayor precisión en un aparato fotogramétrico pasando todos los detalles de interés que aparezcan en las fotografías.

La restitución numérica se tendrá al poder consultar un archivo propio de computadora, en donde se tengan datos x , y , z , de todos los puntos que puedan interesar en cada uno de los modelos.

La restitución gráfica realizada en instrumentos fotogramétricos, se hace sobre hojas en donde se indica antes la posición y altura de los puntos de control (terrestre o fotogramétrico) que se necesitan para hacer la restitución, conviene que estas hojas sean de un material de buena calidad y además estable, ya que serán, después de terminado el trabajo de restitución, los originales del resultado del proceso fotogramétrico.

Para restituir un modelo, es necesario volver a reconstruir nuestro modelo estereoscópico, por tanto realizar de nuevo la orientación interior, la orientación relativa y la orientación absoluta, ésta última con auxilio de los datos de los puntos de control del modelo.

La restitución en los instrumentos fotogramétricos se puede hacer, con trazo a mina (lápiz), con bolígrafo, o con grabado directo

sobre película para grabar, y debe realizarse en instrumentos que por su orden de menor a mayor precisión se pueden clasificar en : aproximados, como el Estereotopo, de 2o. orden, como el Multi-plex, Kelsh, A8, B8, Stereosimplex o en los de 1er. orden cuando se trata de restituciones escala 1:2 000 o mayores como es el caso del plano topográfico que nos ocupa.

Para facilitar el trabajo en los instrumentos fotogramétricos es conveniente por un lado que las diapositivas además de tener una calidad métrica buena, tengan un trato cuidadoso en el laboratorio, con objeto de que no se lleguen a presentar manchas, rayones o desplazamientos en la película que impidan la medición sobre los modelos estereoscópicos. Son igualmente problemáticas las fotografías que presenten sombras densas y numerosas, o bien gran cantidad de nubes que impidan la visibilidad sobre el terreno.

Es necesario durante la restitución representar los detalles usando una simbología que debe ser lo suficientemente clara para las personas que posteriormente integrarán a las hojas restituidas toda la información de campo; símbolos que serán ratificados o rectificados durante esta etapa del proceso.

Influencia de los elementos en la deformación del modelo. *

* Todas las consideraciones se hacen como si se introdujeran errores artificiales en la cámara No. 2

a) Influencia de b_y y b_x :

Como b_y no tiene influencia en paralaje x , no causará error en altura. En cambio b_x causa una paralaje igual en todos los puntos del modelo, por lo que no tiene efecto en las diferencias relativas de altura, puede ser ignorado ya que sólo cambiará el plano de referencia.

b) Influencia de b_z :

Si existe un error en b_z los puntos 1, 3 y 5 tendrán el mismo error en paralaje "x". Los puntos 2, 4 y 6 no se verán afectados, o sea que la deformación causada se manifiesta como una inclinación longitudinal.

c) Influencia de ω :

Causa errores de sentido contrario pero de igual magnitud en los puntos 3 y 5, si bien no tiene efecto sobre los puntos 1, 2, 4 y 6.

La superficie de deformación es la conocida típica torsión de ω (paraboloide hiperbólico).

d) Influencia de ϕ :

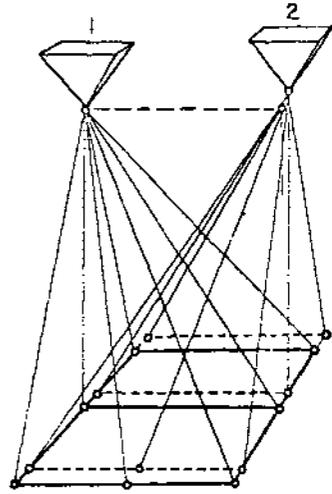
En los puntos 1, 3 y 5 es mayor la influencia de ϕ que en la sección del lado derecho (puntos 2, 4 y 6) semejante a una inclinación longitudinal b_z pero a diferencia de ésta la variación entre las dos secciones no es lineal, sino curva, deformación típica de ϕ (cilindro de ϕ).

e) Influencia de χ :

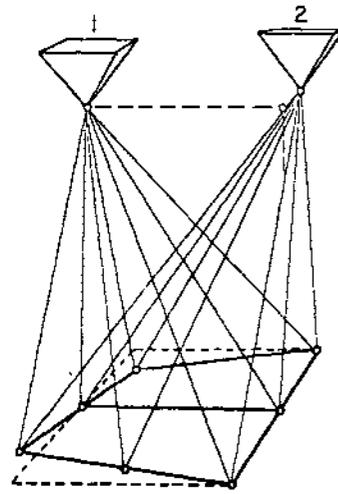
Las componentes en "x" de un error debido a χ son cero en el cen -

tro del modelo y de igual magnitud, pero de sentido contrario en la parte superior (puntos 3 y 4) y en la parte inferior (puntos 5 y 6) por lo que la inclinación resultante es en dirección, sobre el plano (x, y) .

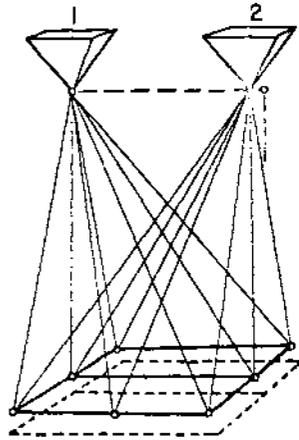
Pueden presentarse deformaciones de varios elementos en combinación y por tanto, la deformación resultante complicarse bastante.



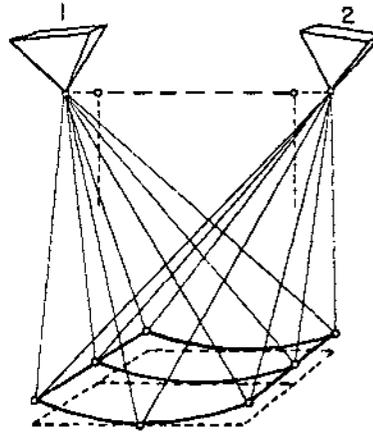
$b\gamma$



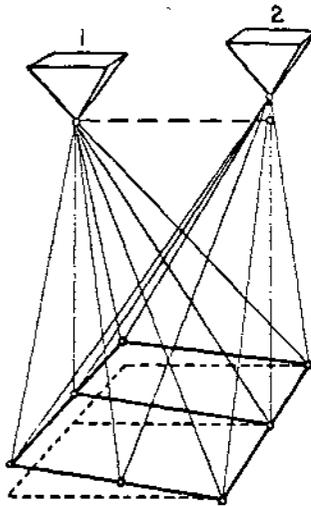
ω



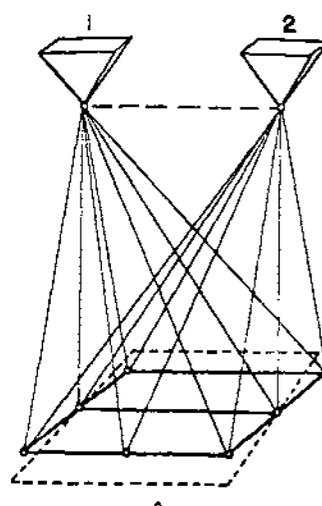
b_x



φ



b_z



$d\varphi$

Efecto de errores de los elementos en la orientación relativa.

II. PREPARACION DE LA TRIANGULACION A E R E A

Para orientar adecuadamente los modelos estereoscópicos dentro de los instrumentos fotogramétricos es necesario cuando menos conocer las coordenadas de cuatro puntos. Una de las maneras de tener estos datos sería : ir al campo y llegar a conocer topográficamente las coordenadas (x, y, z) de los puntos indispensables para orientar cada modelo, lo que además de resultar difícil sería incosteable económicamente para la mayoría de los proyectos fotogramétricos.:

Sin embargo, es posible llegar a conocer las coordenadas de estos puntos por otro procedimiento: la Triangulación Aérea, (método de extensión de control terrestre) en donde además, por tener la posibilidad de realizar el ajuste de los datos resultado del proceso, por líneas o por bloques, disminuye notablemente en todos los casos, el trabajo de campo, siendo por tanto más económicos los trabajos de Fotogrametría. De esta forma es posible tener las coordenadas de los cuatro puntos (mínimo) que se necesitan para orientar un par estereoscópico y proceder a su restitución. Si bien conviene tener, aunque invirtiendo un poco más de tiempo, las coordenadas de los dos puntos principales de cada par.

Para poder realizar la triangulación aérea es necesario marcar en alguna forma en las fotografías y en las diapositivas, los puntos de los que interese conocer sus coordenadas. Este trabajo se conoce -

como preparación de la triangulación aérea.

Descripción del proceso

Después de que la película aérea ha sido expuesta, los procesos de revelado, fijado, lavado y secado del rollo, deben realizarse con un máximo de limpieza, cuidado en el manejo y gran atención en todas y cada una de las operaciones, cuidando, por ejemplo, que un secado defectuoso no vaya a echar a perder las negativas. Para controlar el vuelo, es necesario sacar una copia de cada fotografía, tender todas las de cada una de las líneas de vuelo, ver si no existen huecos que dificulten el trabajo entre fotos de una misma línea, unir una línea con otra, realizar la misma verificación sólo que ahora, entre líneas; ver que todas las líneas lleguen al límite indicado de la zona por levantar, identificar en forma definitiva tanto las líneas de vuelo como las fotografías dentro de cada una de las líneas. En esta etapa del proceso, es posible también, desechar todo el material que no cumpla con las especificaciones previamente acordadas entre el personal que empleará las fotografías y quienes las tomaron, como pueden ser limitaciones a la deriva, giro, a la dirección de la línea, % de área cubierta de nubes dentro de las fotografías, exposición, hora de la toma, definición de la imagen, - Debe realizarse también cuando menos un muestreo que sea representativo de buena o mala calidad en cuanto a las condiciones métricas del material (negativos) que se vaya a emplear. Es necesario que las personas que realicen estas operaciones tengan el suficiente criterio y pre

paración para poder aceptar o rechazar el material, que en todos los casos representa en el aspecto económico una parte importante, ya que implica desplazamiento de personal, de aviones y que además del tiempo que se invierte, puede representar el retraso de las otras actividades del proceso cuya materia prima son las fotografías.

Una vez seleccionado el material (rollos o líneas aisladas dentro de los rollos), se numeran los negativos; en el caso de que, para evitar complicaciones posteriores no se pueda usar el número del contador de la cámara, que en algunas ocasiones sale impreso dentro del cuadro de la imagen y en otras, al margen (en los instrumentos) o en la orilla del negativo, esta reenumeración debe hacerse con todo cuidado para evitar que el mal manejo (tirones, raspaduras, humedad, calor) provoquen alteraciones a la película que no sólo pueden dificultar la observación de algún detalle, sino que deforman la emulsión en ocasiones en áreas considerables, disminuyendo la precisión en los instrumentos fotogramétricos.

Después de numerados los rollos y previa selección (en las copias de control) de las fotografías a emplear, se ordenan las diapositivas (en película o en vidrio) que en definitiva, será el material con el que se trabaje en las etapas de triangulación aérea y de restitución. Como una actividad inmediata a la aprobación y numeración del material, viene la elaboración de un mapa índice, (siempre deberá estar al alcance de todas las personas que intervengan en los trabajos fotogra -

métricos) en el que sea posible encontrar los datos gráficos o numéricos, correspondientes a dirección y número de línea, situación de la misma con respecto a los detalles del terreno (sobre todo inicio y final de la línea) números inicial y final de las fotografías que integran cada línea de vuelo. Desde luego, es conveniente marcar en este índice el límite de la zona levantada.

El índice de vuelo es muy útil en el trabajo, sobre todo cuando aún no se dispone de un mosaico fotográfico que muy bien puede hacer las veces de mosaico-índice; en este mosaico es muy conveniente marcar también los límites de las zonas de trabajo.

Conforme se desocupan los rollos de negativos, después de contar con las placas diapositivas, deben sacarse, cuando menos dos juegos de copias de contacto (en papel peso doble), ya que en uno de ellos se puede ir haciendo la preparación de la triangulación aérea, - mientras en el otro las brigadas topográficas indican los puntos de control planimétricos y altimétricos.

Se indica ahora cual podría ser (después de que se tiene el material fotográfico) el proceso seguido en la preparación de la triangulación.

Con mascarillas transparentes se localizaría en las copias de contacto los centros de las fotografías (puntos principales). Se localizan áreas, ya que será en las diapositivas donde se hace la marca ción de los puntos en forma puntual; se transfieren las áreas a las fo-

tos inmediatas anterior y posterior y se numeraran, en este caso por ejemplo con el número que tiene el contador agregando la letra "c", - independientemente de la línea en que hubieran sido voladas, los números que identifican los puntos quedan orientados con la parte superior del número al este. Además los puntos de pase comunes a líneas adyacentes, se reconocerán por el número del punto principal a que correspondan, así como por una letra "a" si se localizan al este de su punto principal y "b" si se localizan al oeste. Así, el punto de pase 28b quedará localizado al oeste del punto principal correspondiente a la foto 28 y el punto 14a quedará situado al este del punto principal de la foto 14.

Las placas diapositivas con las que se realizaría la triangulación aérea, son copias positivas de, en este caso, vidrio seleccionado extraplano de 2mm. de grueso que sirve como base a la emulsión fotográfica donde se imprime la imagen.

En este ejemplo, no se emplearán como puntos centrales los puntos principales de cada fotografía ni puntos naturales cercanos, -- sino puntos artificiales marcados muy próximos a los principales (dentro del área indicada en las fotografías) con tono y textura adecuados para realizar en ellos lecturas con buena precisión.

Como puntos de pase se usaran igualmente puntos artificiales, todos ellos picados al igual que los principales con un marcador de percusión, ó provisto de buriles, en las placas diapositivas. En una

línea de vuelo, un punto debe aparecer marcado solamente en una diapositiva.

La transferencia de puntos comunes a dos líneas (de la línea a la que correspondan, a la adyacente), se hace empleando un transferidor de puntos. Los instrumentos marcadores funcionan de la siguiente manera: un martillo acelerado por un resorte, dispara una bala de acero de 0.2mm de diámetro, contra la emulsión de la diapositiva, dejando en ésta una marca de 0.1mm de diámetro rodeada de un borde negro. Para la observación adecuada durante esta operación, se debe contar con mesa "luz" con vidrio despulido, un estereoscopio de espejos, un juego de prismas Dove para realizar la observación en posición ortoscópica y en posición pseudoscópica, así como también con un juego de prismáticos adecuados.

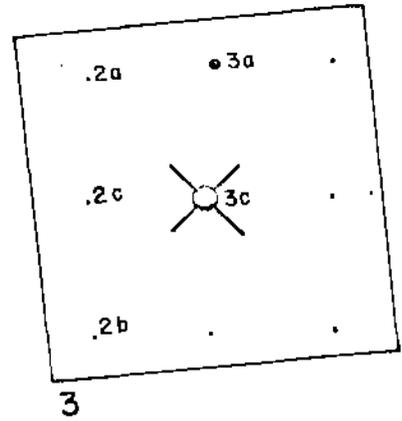
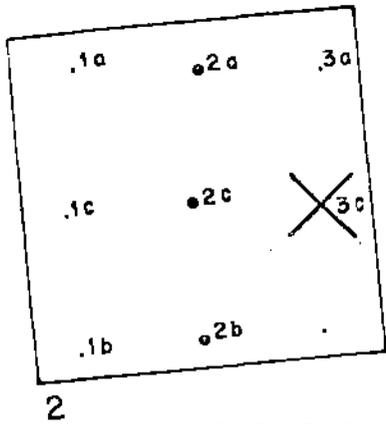
Existen en el mercado, instrumentos transferidores integrados por todos estos elementos (Pug).

El marcado de los puntos fotogramétricos que después del ajuste de la triangulación aérea, tendrán coordenadas reales, se realiza -- observando un modelo estereoscópico o parte del mismo y colocando -- sobre el terreno un índice que poseen los marcadores que tiene la posibilidad de moverse en "x" y "y" con relación a otro (del otro marcador) y que al desplazar uno de ellos en el sentido x aparece como si variara su altura con respecto al terreno observado. En esta forma es posible -- llevarlo al terreno sobre el punto que se hubiere seleccionado para marcar

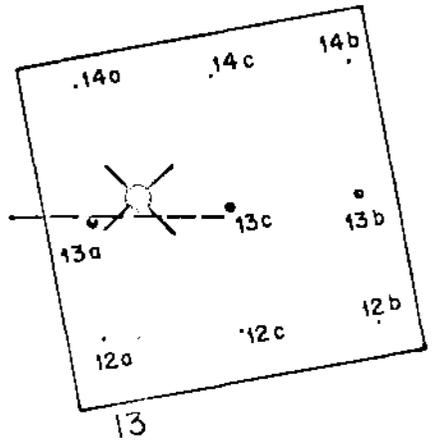
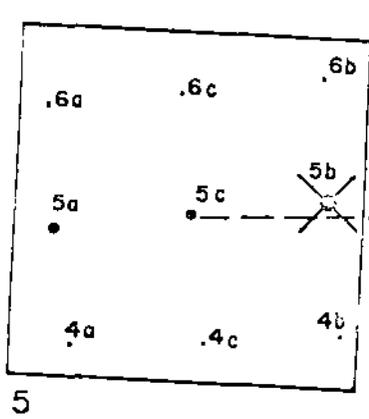
car; generalmente debe ser un punto en el que se puedan hacer buenas mediciones, es decir, que necesita buena definición, textura, que - - esté situado en algún lugar plano; ya que sobre puentes, en cortes, en balcón o bien en lugares con pendiente más o menos fuerte, es difícil hacer buenas lecturas con el índice de medición.

Conviene indicar que la selección de puntos artificiales (principales y de pase) debe preferirse a la de escoger puntos naturales, ya que para dejar constancia de ellos se necesita hacerlo por medio de un esquema para el que varios operadores, tendrán interpretaciones diversas, con lo que se tendrán errores que se reflejan siempre en disminución de la precisión del trabajo. En cambio, con los puntos artificiales picados en la emulsión fotográfica, no existe lugar a duda en cuanto a su situación, permitiendo además localizarlos con mayor rapidez.

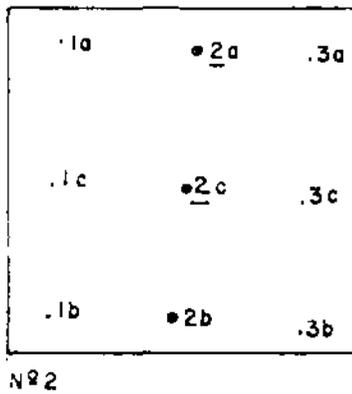
Debe tenerse cuidado de que en esta fase del proceso se efectúe, si es necesario, el cálculo de la corrección (para cada placa) de la distancia focal indicada por el certificado de calibración de la cámara y calcular una distancia focal de restitución, con objeto de tomar en consideración la posible deformación regular que afecte a las placas diapositivas.



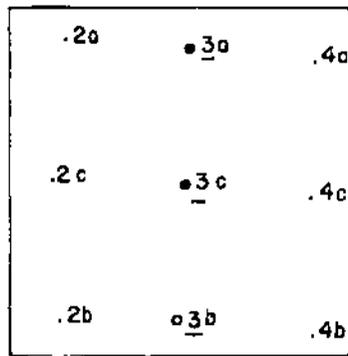
MARCAJE DEL PUNTO PRINCIPAL 3 POR OBSERVACION ESTEREOSCOPICA DE LAS FOTOGRAFIAS 2 Y 3 DE UNA MISMA LINEA



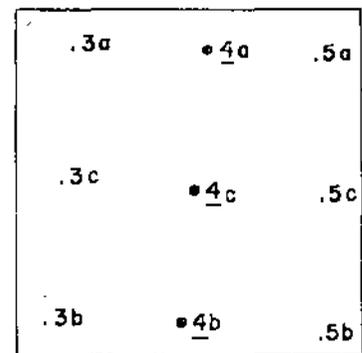
TRANSFERENCIA ENTRE LINEAS (DEL PUNTO 5b DE LA FOTO 5 DE UNA LINEA A LA FOTO 13 DE OTRA LINEA)



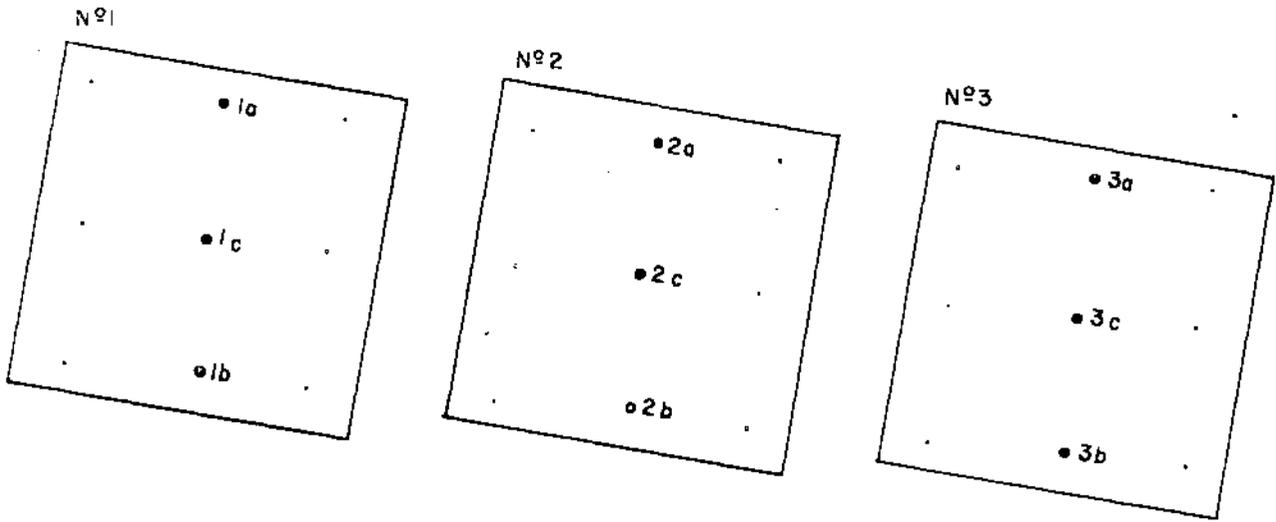
N° 2



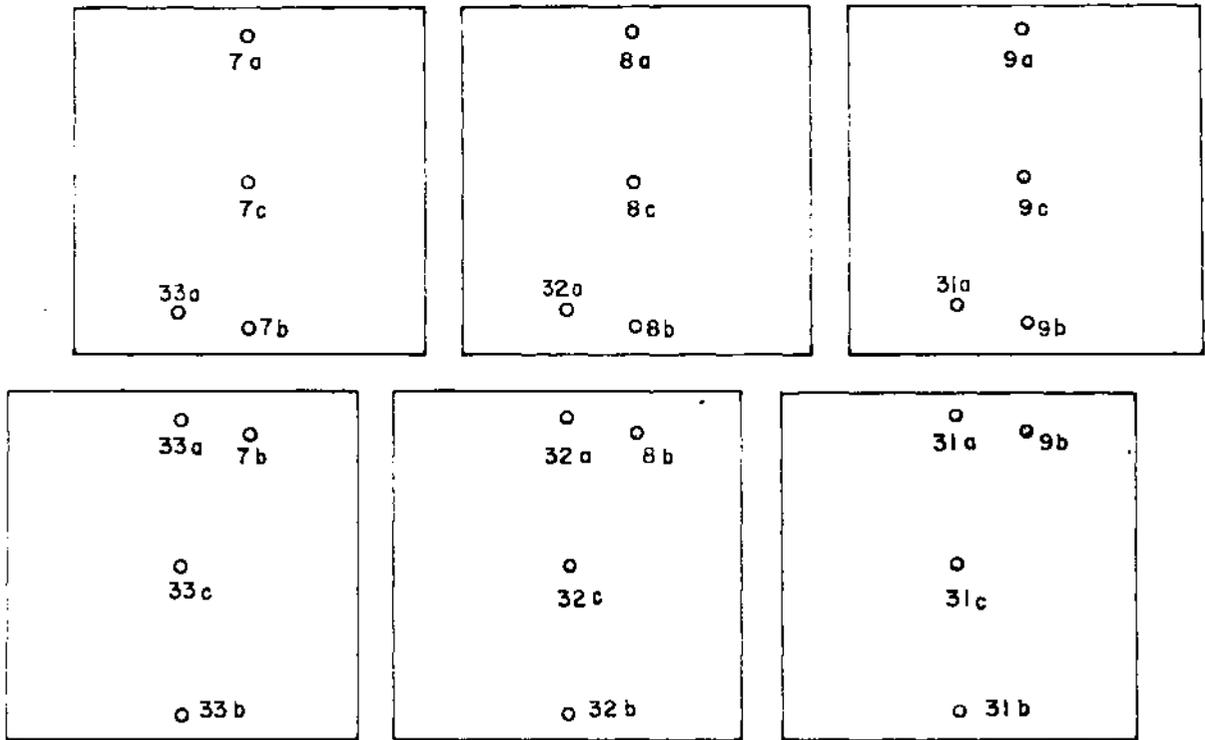
N° 3



N° 4



DIAPOSITIVAS PREPARADAS



DIAPOSITIVAS YA PREPARADAS

CASO EN QUE SE NECESITA MAS DE UN PUNTO DE LIGA
 POR FOTOGRAFIA ENTRE DOS LINEAS DE VUELO

III. TRIANGULACION AEREA

La triangulación aérea es un procedimiento fotogramétrico - que se emplea para extender el control terrestre, vertical y horizontal a todos los puntos de control fotogramétrico necesarios para la -- restitución. Es de gran importancia y básico en el desarrollo de la - Fotogrametría ya que, la obtención del control deja de constituir un obstáculo en el aspecto económico en los trabajos fotogramétricos, pues en lugar de hacer todas las mediciones en el terreno, la mayoría se realizan en gabinete sobre los modelos estereoscópicos formados por los fotogramas en instrumentos fotogramétricos de precisión.

Tipos de triangulación aérea.

Dentro de la triangulación existen dos tipos diferentes: los - métodos de triangulación radial que nos proporcionan solamente la po sición planimétrica (x, y) de los puntos de apoyo y los de triangulación aérea espacial en donde se determinan también las alturas.

En los primeros, la densidad de los puntos de control, comparándola con la densidad de los mismos puntos en los segundos, resulta elevada y en algunos casos se trata de métodos mecánicos o grá- ficos (triangulación radial mecánica) que dan una precisión bastante - baja. Por otro lado, en esta misma clasificación existe también la - triangulación radial analítica que da una precisión elevada ya que se emplea un instrumento "triangulador radial" que nos permite medir - los ángulos con precisiones del orden de uno a dos minutos; haciéndose todo el cálculo analíticamente; este método, resulta tan preciso o

más que la triangulación aérea espacial pero tiene la desventaja de - que tendría que combinarse con otro método que nos determinara los datos altimétricos.

Ahora bien, dentro de la triangulación aérea espacial existen dos tipos diferentes: la llamada propiamente triangulación aérea que se realiza en instrumentos analógicos y la triangulación aérea analítica.

En la primera, los modelos se forman dentro de un instru--mento analógico, es decir, un instrumentos que nos permite formar un modelo estereoscópico con similitud al terreno en donde se efectúan las mediciones. En cambio, la triangulación aérea analítica se realiza con ayuda de computadoras con los datos obtenidos en un comparador que nos da las coordenadas de los puntos medidos en el plano de las diapositivas.

Dentro de los métodos de triangulación aérea realizada en un instrumento analógico, destaca el de Aeropolígono, que consiste en - lo siguiente:

Si en un instrumento orientamos un segundo haz de rayos perspectivos con respecto a un primero, tendremos un modelo estereoscópico y si además este modelo está colocado en relación al sistema coordenado del aparato, podremos orientar un tercer haz de rayos con respecto al segundo y lograr que queden orientados relativamente y dentro del sistema del aparato. La transferencia de escala se logra igualando la altura del punto común en dos modelos, o bien igualando la - distancia entre puntos de pase comunes. Esta operación puede seguir-

se realizando con todos los haces de rayos correspondientes a una línea de vuelo. Esto puede reproducirse con mucha objetividad en un instrumento de varios proyectores (Múltiplex).

Además, estos modelos tendrán que relacionarse con su posición real respecto al terreno, pero como en una línea que se esté procesando entran errores sistemáticos y errores accidentales, será necesario tener puntos de apoyo dentro de la faja (si se está realizando el ajuste por fajas) que nos permitan conocer su deformación.

Además del método de Aeropolígono existen otros como la triangulación aérea por modelos independientes. En este último caso, los modelos se forman en un instrumento fotogramétrico donde las fotografías se puedan orientar relativa y absolutamente con precisión pero -- donde no se disponga de la posibilidad de cambio de base, y se concatenan en una computadora antes del ajuste de la triangulación aérea.

Este método hace que el operador dé un mayor rendimiento -- (cerca del 15%) aunque implica un poco más de tiempo de preparación de los datos para su proceso en computadora.

"Las fajas obtenidas pueden ajustarse a los puntos de control por medio de transformaciones polinómicas con resultados que pueden ser (en -- efecto extremadamente buenos). Por otra parte, aunque el ajuste final se realice por fajas o bloque, es muy recomendable una formación --- (y transformación) inicial de fajas para detectar errores en los puntos de apoyo terrestre y en los puntos de liga.

El presente escrito muestra cómo puede realizarse la formación numérica de fajas con ayuda de fórmulas extremadamente simples.

Las fórmulas han sido incorporadas en un pequeño programa FORTRAN.

El concepto Matemático.

La formulación matemática de la formación de fajas no ofrece - grandes problemas. El sistema de coordenadas del primer modelo de - una faja puede mantenerse como el sistema coordinado de la faja. Subse - cuentemente, cada siguiente modelo, puede transformarse a ese siste - ma conectándolo con el precedente en tres pasos:

- i. una traslación que hace que las coordenadas del centro de proyección común sean las mismas que en el modelo precedente,
- ii. una rotación que hace que la orientación de los vectores que van del centro de proyección común a los puntos comunes de los dos modelos sea la misma,
- iii. una puesta a escala que hace que la longitud de estos vectores, en - los dos modelos sea la misma (3).

Después de realizado el proceso de triangulación aérea y tener las coordenadas instrumentales de todos los puntos que interesan en cada una de las fajas, registrados en dos ocasiones por cada modelo en que -- aparezcan, se procede a una cuidadosa revisión, para detectar posibles errores de numeración, de cambio de escala, de origen, etc., con obje - to de corregirlos y estar en posibilidad de realizar un buen ajuste.

Esta revisión debe hacerse siempre, independientemente del método seleccionado para hacer la compensación.

Fuentes de error en la triangulación aérea.

A) Película

1. Deformación regular de la película.- Se manifiesta como desplazamiento hacia el centro o hacia afuera de todos los puntos de la imagen; produce un error de escala constante para las fotografías. Se elimina calculando la distancia focal de restitución. *

2. Deformación irregular de la película.- Generalmente - es un fenómeno de naturaleza muy compleja, es imposible de controlar; ** debe tenerse cuidado en el manejo del material para que este problema sea mínimo.

3. Falta de nitidez de la imagen.- Esta situación se presenta en la película, en muy raras ocasiones debido a defectos en la emulsión fotográfica, puede deberse a rollos en mal estado. De cual--

* Ver Capítulo I.

** Se llegan a corregir en fotogrametría analítica, - usando fotografías reticuladas.

quier forma, el material con problemas de falta de nitidez, debe rechazarse.

B) Cámara

1. Con certificados recientes de calibración y manejo cuidadoso del instrumento, se evitan muchos problemas con la distorsión. Siempre deberán tenerse bien conocidas las características de las cámaras.

2. Falta de nitidez de la imagen.- En las cámaras usadas actualmente en levantamientos fotogramétricos, generalmente no se presentan problemas de este tipo que se le puedan achacar al sistema óptico ya que siempre se trata de máquinas cuya resolución óptica máxima es del orden de 60 líneas por milímetro, pero en cambio se puede presentar este problema, debido a una succión defectuosa y en algunos casos, hasta debido al aceite lubricante de la cámara que se desliza entre los cuerpos ópticos de la lente. El material afectado por algunos de estos problemas, deberá rechazarse.

C) Instrumentos de triangulación aérea

Aunque siempre deben tenerse bien ajustados, existirán pequeños errores ópticos o mecánicos que afectan la precisión de la triangulación aérea; se manifiesta como errores sistemáticos o accidentales en la orientación; el control de estos últimos, en el proceso de aerotriangulación, es muy difícil.

D) Operador

Los errores de operación se presentan :

1. En el centrado de las placas y el cálculo de la distancia focal de restitución. (Desde luego, el error que se pueda cometer aquí, es de mucho menor orden que el que se trata de corregir con el cálculo).

2. En la orientación relativa de los modelos, si se acostumbra realizarla numéricamente, los errores además de menores serán siempre del mismo orden, hasta cierto punto independientemente del operador.

3. En la orientación absoluta, en la transferencia de escala entre modelos, al medir las coordenadas (x, y, z) de los puntos que interesan (por lo que resulta mejor trabajar con puntos fotogramétricos marcados artificialmente en las placas diapositivas).

Aún así, puede resultar que el operador se confunda al identificar algún punto de interés (no marcado). De cualquier manera, aunque el operador no tenga error en la identificación de los puntos, siempre tendrá su propio error de puntería o de observación que en ocasiones puede aumentar debido a la fatiga.

E) Curvatura de la tierra

Aparece al tratar de desarrollar una sucesión de modelos esteoreoscópicos en un plano, ya que en los instrumentos fotogramétricos en general las alturas se miden en un sistema cartesiano y no con base en una familia de esferas concéntricas.

Una fotografía aérea es una proyección central de una porción de la superficie terrestre sobre el plano de la imagen, y como ninguna superficie curva puede retratarse por proyección central sobre un plano sin ocurrir distorsión, toda fotografía aérea presenta distorsión por curvatura de la tierra.

En la triangulación aérea, la curvatura terrestre afecta muy poco a un modelo individual, ya que los puntos del modelo están obtenidos por la intersección de los rayos perspectivas que parten de las dos fotografías consideradas en su posición correcta de acuerdo con los datos de apoyo. En cambio, la curvatura terrestre afecta bastante cuando se trata de la triangulación aérea de una línea.

Tipos de errores

a) Errores sistemáticos

Errores de magnitud constante y que se producen en cada modelo.

En el primer modelo : errores en $x, y, z, \kappa, \varphi, \omega$ y errores en escala.

En los modelos sucesivos : error en $\kappa, \varphi, \omega, b_z, b_y, b_x, x, y, z$.

b) Errores accidentales

Después de que los errores sistemáticos han sido eliminados, quedan los errores accidentales de magnitud irregular y que para tratarlos matemáticamente debe suponerse que siguen una distribución normal (campana de Gauss). Los errores accidentales introducen,

deformación en las líneas de vuelo trianguladas y se presentan en :

$b_x, b_y, b_z, \kappa, \varphi, \omega, x, y, z.$

Métodos de ajuste en triangulación aérea.

El ajuste (compensación) de la triangulación aérea se puede hacer por faja o por bloque. Es realmente atractivo describir con algún detalle el método de ajuste por bloque, proceso más racional, económico y práctico, pero sólo se analizará el ajuste por faja que es el método empleado en este trabajo.

El ajuste por faja puede ser gráfico o analítico. Su fin principal es eliminar los errores sistemáticos que se hayan presentado en el proceso, aunque también es posible eliminar una buena parte de los errores accidentales.

El ajuste analítico dará, desde luego, una mayor precisión y por supuesto resultará más rápido el ajuste si se dispone de máquina computadora.

El ajuste gráfico se prefiere cuando no se tiene acceso a una computadora.

El ajuste analítico depende menos de una distribución específica de los puntos de control terrestre que el gráfico, sin embargo, la distribución de control que exige el ajuste gráfico es muy favorable y daría una mayor precisión para los puntos ajustados, si se empleara en un ajuste analítico.

El ajuste gráfico se prefiere también en terreno relativamen -

te plano.

Existen varios métodos gráficos, algunos como el de --- Zarzycki, consideran que la compensación de la triangulación aérea puede hacerse con curvas de segundo grado (parábolas).

Durante un tiempo, se pensó que los errores que se presentaban en la triangulación aérea eran principalmente errores sistemáticos y por tanto se pensaba que estos métodos funcionaban adecuadamente, pero en la actualidad y debido a que se ha estudiado la propagación de los errores accidentales dentro de las líneas, se han desarollado otros métodos de ajuste, por lo que ya no basta, por ejemplo en el ajuste altimétrico, con adaptar a tres secciones de puntos de control vertical una parábola, sino que es necesario manejar curvas de orden superior que nos permitan acoplar mejor a ellas nuestras líneas de vuelo.

Puede pensarse que ésto encarecería en ocasiones, el método fotogramétrico con puntos de control adicional, pero sobre todo si se trabaja en grandes extensiones de terreno, el incremento de -- control no resulta significativo y en muchos casos el control necesario disminuye ya que los puntos necesarios para ajustar una faja, nos son dados por las fajas adyacentes (método de ajuste en bloque).

Los métodos de ajuste en bloque para la triangulación pueden ser analógicos (Jerie) o analíticos (Schut). El primero, con desventajas, mucho trabajo, tiempo, pero también con grandes ventajas: sumamente objetivo y por lo tanto bueno para la enseñanza ya que per-

mite ir realizando las mediciones físicamente y darse cuenta de cómo afectan los puntos de control a todo el conjunto.

En este método el ajuste de la altimetría se hace por separado de la planimetría.

El segundo, es un método de ajuste cuyo programa se ha -- adaptado para computadoras medianas e incluso para algunas pequeñas, * aplica una transformación de semejanza a las líneas de vuelo y hace después una transformación polinómica de orden superior.

En cuanto a precisiones en la triangulación aérea, la precisión planimétrica puede ser absoluta o relativa.

La primera, se indica por el error medio cuadrático en posición con respecto a los puntos de control (puntos de coordenadas -- conocidas). Este error resulta del orden de 30 a 60 μ en el plano de la negativa y ya dependerá de la escala a que se encuentre la fotografía, si se desea expresar en otras unidades.

La precisión relativa (por ejemplo, entre puntos de liga) depende del error de observación sobre un objeto bien definido en el -- modelo; resulta del orden de 10 μ en el plano de la negativa.

En cuanto a la precisión altimétrica, va de 0.25 a 0.45 % de la altura de vuelo.

* En México la adaptación de este programa, para una IBM 1130 de - 8 K. la realizó el Ing. Luis E. Miranda V. (CETENAL).

BIBLIOGRAFIA

- [1] CETENAL. - Oficina de Restitución. - "Elementos de Fotogrametría" Apuntes. - México 1969
- [2] American Society of Civil Engineers "Technical Procedure for City Surveys" ASCE- Manual of Engineering Practice-No. 10, E.E.U.U. 1963
- [3] Schut, G.H. - "Formation of strips from independent models". - National Research Council of Canada. 1967.

FOTOGRAMETRIA APLICADA A LA INGENIERIA

Tema V.- Restitución

Precisión altimétrica

Precisión planimétrica

Exactitud de la representación

CARLOS S. GALINDO C.

Curso Intensivo
CENTRO DE EDUCACION CONTINUA
Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

R E S T I T U C I O N

Con los listados de coordenadas, resultado del ajuste de la triangulación, es posible preparar las hojas de película de una buena estabilidad dimensional, previamente cortadas al tamaño requerido, marcando todos los puntos que permitieran orientar los modelos que intervienen en ellas, durante la restitución.

Para realizar la restitución de un modelo, se colocan las placas en el instrumento, en que se vaya a trabajar. Se hace la orientación interior, relativa y absoluta del modelo con auxilio de los datos de los puntos que aparecen en la hoja preparada (identificación, posición y cota), se principia el trazo de todos los detalles planimétricos y altimétricos. (las curvas de nivel con la equidistancia adecuada a la escala a que se trabaja.)

La principal dificultad en la Restitución, podrá ser dependiendo del volumen de información por transferir del modelo a la carta, la altimetría en terreno montañoso o la planimetría en áreas densamente pobladas.

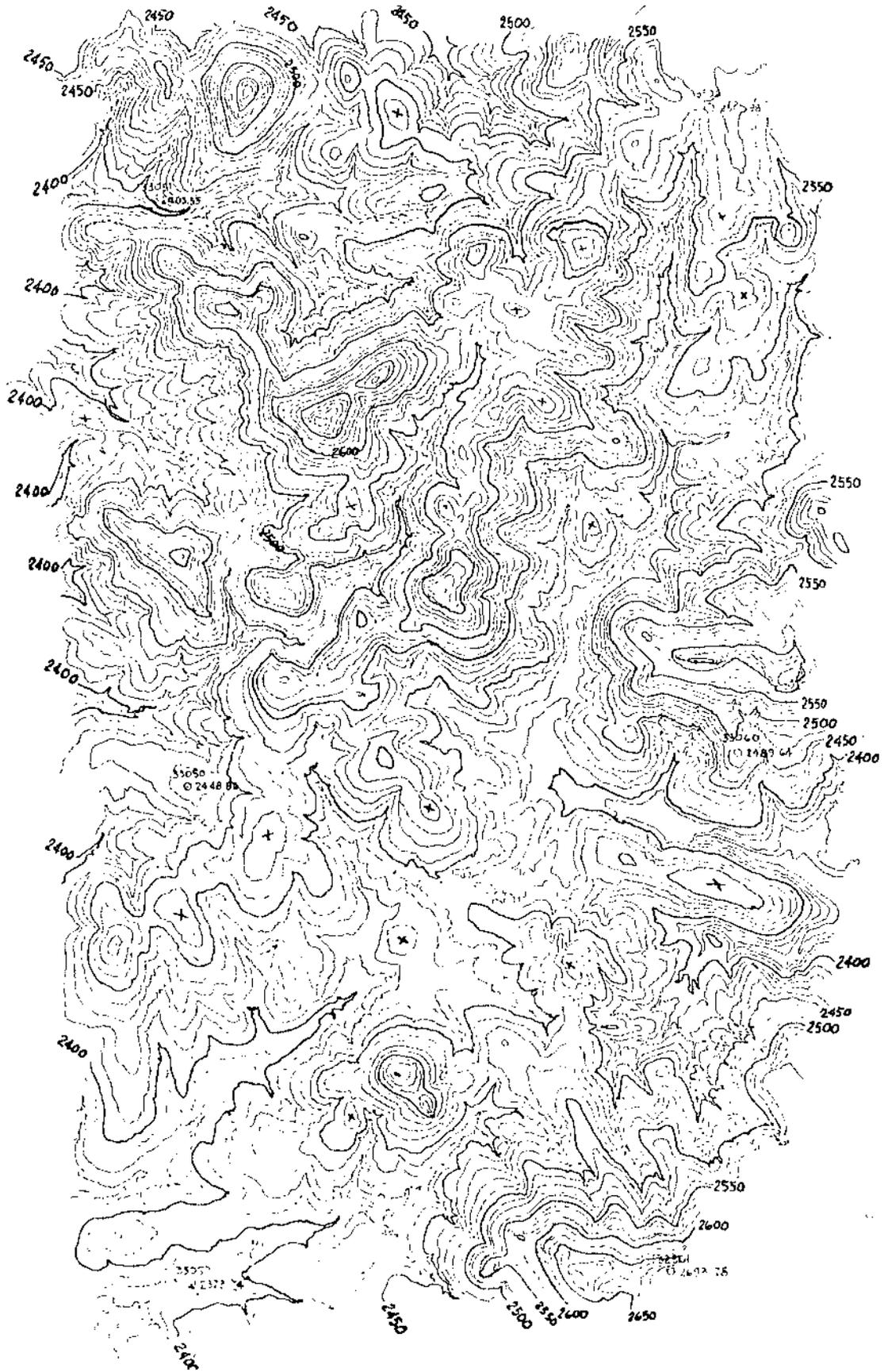
La restitución se hace generalmente trazando con mina en película para dibujo; posteriormente se realiza el grabado; en esta operación la persona que la ejecuta, generalmente sin experiencia como operador,

introduce otro tipo de error en la elaboración de la carta, redondea o pasa inadvertidos algunos detalles que el operador vió en el momento de tener su modelo estereoscópico en el instrumento de restitución. Ahora, es posible realizar el grabado de la altimetría directamente en el momento de restituir sobre material con superficie adecuada.

Al término del grabado, se contará con un negativo del que se pueden obtener todas las copias fotográficas necesarias para los procesos de edición.

Puede existir sobreposición de cada una de las hojas restituídas con las adyacentes, o bien, a tope en el caso de una carta topográfica referida a un caneavá o una cuadrícula por medio de la cual es posible garantizar la posición precisa de la información representada.

Ejemplo de Restitución altimétrica.



INSTRUCTIVO para supervisión de modelos en Restitución

ALTIMETRIA

- 1) En las ligas la unión deberá tener perfecta con tinuidad de líneas. En caso que no cumpla con es te requisito anotar en la BITACORA.
- 2) Al empezar el trazo de una curva no debe dejar-se caer la punta poroue perfora.
- 3) Cuidar que las puntas no maltraten la base, en-caso contrario, analizar el porqué.
- 4) Efectuar la liga entre hojas dentro de la zona-de 3 mm en los límites del canevá. Acotar alter-nadamente las maestras en el margen.
- 5) Checar cada dos modelos los calibres de las pun-tas. Anotar en la bitácora en qué modelo se hi-zo.
- 6) Que la unión de curvas cerradas sea aceptable.
- 7) Solo la curva de depresión de menor cota deberá indicarse con símbolo a lápiz.
- 8) Vigilar que los caminos tengan continuidad y - destino lógico.

PLANIMETRIA

- 1) Trazar las casas con mina, evitar trazo de ca-sas por golpeteo de bolígrafo porque éste defor-ma la película.
- 2) Todos los caminos (brechas, autopistas, vere-das) se marcan con c. En caso de caminos múlti-ples se anularán los secundarios.
- 3) Para dividir parcelas se hará en base a la foto de contacto, procurando que la división no sea-demasiado pequeña y tomando en cuenta los cami-nos principales y canales de riego que definan-el "patrón" de cultivo.
- 4) Cuidar que las parcelas no queden abiertas (ca-nales y caminos podrán considerarse como lími-tes de parcelas).
- 5) Poner únicamente linderos principales (largos y continuos).

(6) En el trazo de poblaciones tener precaución de - que las calles queden bien definidas trazándolas con la - marca flotante tangente por adentro de las manzanas. Se - asciuran solamente las áreas construídas.

(7) Las manzanas deben quedar cerradas y en caso de - parques indicarlos en verde. Hacer notar los edificios - principales; si es posible localizar iglesia y panteón.

(8) Cuidar que las construcciones aparezcan dentro - de sus manzanas.

HIDROGRAFIA.

(1) Los escurrimientos de más de 5mm de largo a - la escala de restitución.

(2) También se omitirán algunos de los escurrimien - tos cuando formen parte de patrones regulares muy densos (procurar que no disten menos de 4mm).

(3) No omitir masas de agua, delimitándolas por el - límite del agua en el momento de la toma de fotografía.

(4) En otros casos marcar el límite mas probable de - zonas sujetas a inundación.

(5) Las curvas de nivel no deberán aparecer dentro - de masas de agua, siempre que sea posible, los ríos y - arroyos se trazarán con doble línea indicando, en su ca - so, el lecho arenoso.

(6) Simbolizar los canales importantes plenamente - identificados.

Las discrepancias de orientación.- Deberán ano - tarse en el croquis de bitácora, respetando la posición - del modelo en el instrumento.

Zonas Verdes:

Cuidar que la liga entre hojas y entre modelos - sea congruente, indicar los claros.

LISTA DE PUNTOS A CHECAR CON FOTOGRAFIAS

O R I E N T A C I O N E S

Secuela de modelos restituidos
Orientación relativa
Orientación absoluta
Centrado de puntos
Registro del modelo
Puntos de control

A L T I M E T R I A

Cotas de curvas
Liga entre modelos
Curvas cerradas
(Depresiones, unión, omisiones)
Restitución hasta la liga
Calibre de puntas
Curvas auxiliares (10m)

P L A N I M E T R I A

Parcelas definidas
Linderos importantes
Continuidad caminos
Fuentes
Casas aisladas
Pistas de aterrizaje
Areas verdes
Cotas fotogramétricas (Presas y
Puentes)

C I U D A D E S

Manzanas bien definidas
Areas construidas
Edificios principales
Casas aisladas
Parques
Iglesia
Panteón

H I D R O G R A F I A

Ríos
Bancos de arena
Esgurrimientos
Flechas en escurrimientos
Presas
Tanques
Canales
Otros cuerpos de agua

INSTRUCTIVO PARA REVISION DE LA CARTA TOPOGRAFICA ESCALA
1: 50, 000

La sección de revisión tiene dos finalidades:

- I.- Checar la restitución altimétrica y planimétrica -
- II.- Integrar los datos de campo al mapa topográfico.

1.- Revisión de la hoja restituida: En primer lugar se toman los datos de líneas y fotografías que integran la hoja, a fin de actualizarlas cuando sea necesario.

2.- Ligs: Se anotan y checan las hojas que limitan al Norte, Sur, Este y Oeste de la hoja en revisión, para que exista continuidad de los datos altimétricos, planimétricos y toponímicos.

3.- Altimetría: La revisión de la altimetría incluye el trazo de las curvas de nivel y de los puntos de control.

a).- Curvas de nivel: Las curvas maestras deben estar acotadas; entre dos curvas maestras consecutivas debe haber cuatro curvas ordinarias.

Si existen áreas de sombra, se trazan curvas aproximadas.

Se localizan las áreas de depresión y se simbolizan

b).- Puntos de Control: Los puntos de control son de dos tipos; de control horizontal y vertical. El control vertical lo constituyen los bancos de nivel de precisión y topográficos. En el control horizontal se tienen los vértices de poligonal y los vértices geodésicos. De los puntos de control, se localizan y simbolizan aquellos que son mas representativos dentro de la hoja.

c).- Cotas fotogramétricas: Son las cotas leídas en el aparato en el momento de efectuar la restitución. Estas cotas aparecen en lugares perfectamente reconocibles en el terreno como: cerros, puertos, cruces de caminos etc.

4.- Planimetría: La revisión de planimetría abarca: vías de comunicación, poblados, construcciones, hidrografía y vegetación.

- a).- Vías de Comunicación: Se revisa con las fotografías respectivas, la continuidad en carreteras, ferrocarriles, brechas y veredas.
- b).- Poblados: Se revisa la delimitación de manzanas, - áreas construídas, áreas verdes (jardines), cons - trucciones especiales, como escuelas, hospitales, - cementerios, iglesias., etc.
- c).- Caseríos: Se debe tener especial cuidado en las - construcciones aisladas, que son más difíciles de - localizar.
- d).- Hidrografía: Se revisa la continuidad de la red hi - drográfica, así como la línea divisoria de las - aguas. Se revisa que no falte la restitución de pre - sas, bordos, lagos etc. Los detalles muy pequeños, como manantiales y pozos, se localizan por medio de las fotografías de campo.
- e).- Vegetación: Se delimitan las áreas verdes atendien - do a la densidad de la cubierta vegetal.

INTEGRACION DE LOS DATOS DE CAMPO A LA CARTA TOPOGRAFICA

Los datos de campo que se integran en la carta topográfica son:

- 1.- Nombres de poblados, con el número de habitantes.
- 2.- Nombres de ríos, arroyos, manantiales, presas, bordos, canales, lagunas y clasificación de los mismos en intermitentes y perennés.
- 3.- Nombres de accidentes topográficos: sierras, cerros lomas, bajíos, puertos, cañadas y cañones, etc.
- 4.- Localización de servicios en los poblados: Escuelas hospitales, iglesias, cementerios, etc.
- 5.- Líneas de transmisión: teléfono, telégrafo y electricidad.
- 6.- Clasificación de caminos:
 - a).- Carreteras pavimentadas.....PV, Nombres de Puentes
 - b).- Terracería con obras de arte....TCOA
 - c).- Terracerías sin obras de arte...TSOA
 - d).- Brechas.....BR
 - e).- Veredas.....VR
 - f).- Vía de ferrocarril y nombres de las estaciones.

Al integrarse la toponimia se debe evitar la duplicidad de nombres en la zona de traslape de las fotografías y la mala ubicación de los detalles; deben eliminarse los errores en cuanto a denominación genérica.

Una vez vaciados los datos de campo a la carta topográfica, ya es posible dar el nombre definitivo a la hoja, de acuerdo con el detalle que sea más visible: El poblado más importante, alguna presa, sierra o río.

Todos los datos por checar se llevan en una hoja especial de revisión.

REVISOR: _____
de _____ de _____ de _____ de _____ de _____

ESCALA _____ EQUIDISTANCIA _____ GRABADA _____ DUPLICADA _____
BOLIGRAFO _____ LAPIZ _____

ESQUEMA DE LA HOJA			LIGA	CLAVE	NOMBRE	ALT.	PLAN.	DATOS DE CAMPO
LINEAS	FOTOS	FECHA DE VUELO						
			NORTE					
			SUR					
			ESTE					
			OESTE					

ALTIMETRIA

CURVAS DE NIVEL	CALIBRE		TRAZO
	MAESTRAS		
	ORDINARIAS	0.18 a 0.15	
	APROXIMADAS	0.05 a 0.07	
	INTERMEDIAS		
	DEPRESIONES		
	COTA CERO		

PUNTOS DE CONTROL

VERTICAL	BANCOS DE NIVEL (9)	PRECISION TOPOGRAFICO	SIMBOLO	LOCALIZACION
			PUNTOS DE NIVELACION 0 COTAS TERRESTRES (5)	
HORIZONTAL	VERTICE TOPOGRAFICO (6)		△ NUM.	
	VERTICE GEODESICO		△ NOMBRE	
COTAS FOTOGRAFICAS	CERROS ACOTADOS			
	PUERTOS			
	CRUCES DE CAMINO			
	CORONA DE PRESAS			

PLANIMETRIA

VIAS DE COMUNICACION	CARRETERAS PAVIMENTADAS	CUOTA	ROTUL.	
		NUM. DE CARRILES	"	
CONSTRUCCIONES	TERRACERIA	FEDERAL	"	
	BRECHAS	ESTATAL	"	
	VEREDAS	T C O A	—X—	
	FERROCARRILES	T S O A	—X—	
	PATIOS FERROVIARIOS	BR	—X—	
	ESTACIONES	C	o	
	TUNELES	VFC		
	PUENTES			
	DUCTOS	SUPERFICIAL	ROTUL.	
	CONSTRUCCIONES	LINEAS DE TRANSMISION	SUBTERRANEO	"
CONSTRUCCIONES		CENTROS URBANOS	ELECTRICIDAD	EL
		IGLESIAS	TELEFONO	TL
		ESCUELAS	TELEGRAFOS	TG
		HOSPITALES	AREAS CONSTRUIDAS	
	CEMENTERIOS	AREAS VERDES		
POZOS	SERVICIOS			
TRAZO	SERVICIOS			
SERVICIOS				
CONSTRUCCIONES	AEROPUERTOS	AREA UTIL CONSTRUCCIONES		
	PISTAS DE ATERRIZAJE	INTERNACIONAL		
CONSTRUCCIONES	RIOS	LOCAL		
	ARROYOS	ADUANA		
		TERRACERIA	ROTUL.	
		PAVIMENTADAS	"	
		CLASIFICACION	INTERMITENTES PERENNES	
		TRAZO DIRECCION		

RAFIA

VEGETACION

	CLASIFICACION	INTERMITENTES PERENNES	
LAGOS	TRAZO		
	NOMBRE		
	CLASIFICACION		
MANANTIALES			
POZOS			
PRESAS	TRAZO		
	NOMBRE		
BORDOS	TRAZO		
	NOMBRE		
CANALES	TRAZO		
	NOMBRE		
CALINAS			
ENCUENTRO O SELVA			
CHARRAL			
MANGLAR			

NOTAS SOBRE NOMBRES GEOGRAFICOS

La expresión nombres geográficos es muy amplia, - abarca la denominación de accidentes geográficos como: - sierras, cerros, volcanes, cañones, ríos, arroyos, lagos, lagunas, mares, bahías, o aspectos humanos como nombres de ciudades, villas, congregaciones, ranchos, minas, - puentes, presas, etc.

La localización exacta de los nombres geográficos y su correcta escritura, tienen importancia desde el punto de vista funcional, ya que al consultar un mapa, si éste no tiene la información suficiente, clara y exacta, resulta un mapa carente de validez.

Al geógrafo le interesa la investigación de los nombres geográficos porque de su análisis puede inferir las características del paisaje natural y cultural.

Para una investigación de esta índole se requiere de amplia información, en fuentes muy diversas como son: históricas, lingüísticas, étnicas, antropológicas, demográficas, y geográficas en general, que permitan formarse un criterio para la denominación correcta de los lugares y su interpretación.

La técnica de investigación debe ser de gabinete y de campo, la primera para documentarse y la segunda para verificar el grado de confiabilidad de los datos.

TIPOS DE NOMBRES GEOGRAFICOS

Los nombres geográficos tienen influencia del medio natural y del cultural; del primero, está determinada por las características del clima, la vegetación, la fauna o rasgos físicos propios de la región.

Influencia del clima: se manifiesta generalmente en los nombres de los ríos, arroyos y poblados, por ejemplo: Arroyo Seco, Zac., Zoquite, Zac., el primero está indicado el clima predominante en la región y el segundo viene del nahuatl "Zoquitl" que significa lodo o barro, por lo que posiblemente sea un poblado con un drenaje deficiente, lo que origina la formación de este material durante las épocas de lluvia.

Influencia de la vegetación: los nombres geográficos derivados de la vegetación predominante están muy ge



neralizados, por ejemplo: Cerro El Mezquite, Arroyo El - Cuyonostle, San Antonio de los Nogales, San José de los-Sotoles. Este tipo de nombres geográficos es muy común - en San Luis Potosí, debido a la vegetación de zonas semi áridas.

Influencia de la fauna: la abundancia en alguna - época de determinadas especies faunísticas también deter- mina los nombres geográficos, por ejemplo: Cerro de las- Águilas, Cerro El Coyotillo, Cerro el Venado.

Influencia de los factores físicos:

- a) Presencia de aguas termales: Ahualulco, Aguascalien- tes.
- b) Actividad volcánica: Jalapa, Jalisco, Jaltepec, deri- vados del nahuatl "Xalli" que significa arena.

Jalapa: se deriva del Xal-a-pan, de las raíces: Xa lli, que significa arena; atl, agua; pan, en; o sea "en- agua arenosa".

Jalisco: proviene del Xal-ix-co; de Xalli, arena; ixco, en la superficie, o sea " en la superficie o llano de arena ".

Jaltepec: de Xal-tepe-c; de Xalli, arena; teptl, - cerro; c, en; " en el Cerro de Arena ".

Influencia cultural: incluye aspectos religiosos, - lingüísticos o históricos.

Influencia religiosa: San Antonio, San Isidro, San Mateo, etc..

Influencia lingüística: son los nombres derivados- de los grupos indígenas, especialmente el náhuatl, maya, tarasco y otros en menor grado, como el mayo y el seri.- Nombres de origen náhuatl, por ejemplo: Acapulco, Amácu- zac, Citlaltépetl, Chilpancingo, Ecatepec, Huajuapán, Ju chitán, Mixcoac, Nejapa, Ocotlán, Papaloapan, Soconusco, Taxco, Tlaltelolco, Usumacinta, Xochimilco, Zacatecas.

La influencia maya: se observa en los nombres geo- gráficos de la Península de Yucatán, por ejemplo: Campe- che: Sabancuy, Xcabcab, Xpujil, Sihochac, Edzná, Dzibal- chén, Hopelchén, Bolonchén, Calkiní.

Yucatán: Punta Nimún, Celestún, Maxcandú, Uxmal, Ticul, Kabah, Becanchén, Tzucacab, Tekax, etc..

Quintana Roo: Chetumal, Tulum, Kucicán, Nohoch-mul, Cozumel, Punta Concun.

Influencia tarasca: se manifiesta en el Estado de Michoacán, parte de Guanajuato y Guerrero. En Michoacán; Copándaro, Turundeo, Jacuaro, Zitácuaro, Cupatitzio, Ziracuaretiro, Pátzcuaro, Puruándiro, Tarimbaro, Tancítaro Tzaráracus.

En Guanajuato, Cuerémbaro, Acámbaro, Yuriria.

En Guerrero: Susupusto, Zirándaro, Carácuaro.

Influencia de los yaquis y mayos en Sonora y Sinaloa respectivamente.

En Sonora: Potan, Bicam, Torin.

En Sinaloa: Huatabampo, Agiobampo, Topolobampo.

En Chihuahua: los tarahumaras: Río Papigochic, Guachiochic.

La influencia de los nombres indígenas, es muy notable en México, teniendo predominio el náhuatl.

Influencia histórica: algunos nombres de poblaciones han cambiado por el de algún personaje histórico, - ejemplo: Ciudad Cuauhtémoc, Ciudad Sahagún, Hidalgo, Morelos, etc..

Precisión. Debe tomarse en cuenta que un mapa es un producto gráfico y como tal, su precisión no será mayor que la que proporciona el dibujo y la estabilidad del material en que se presente, por lo que, independientemente de la escala, se tendrá fijo el error de dibujo que es del orden de 0.3 mm y que a las escalas del plano darán los errores anotados a continuación: (4)

Esc. del plano	error de dibujo
1: 500	0.15 m
1: 1,000	0.30 m
1: 2,000	0.60 m
1:10,000	3.00 m
1:50,000	15.00 m

Estas precisiones pueden lograrse con los métodos-fotogramétricos actuales y disminuirse desde luego, por razones económicas.

Todos los errores mencionados en los apuntes sobre triangulación aérea intervienen en la precisión final de las cartas.

Precisión planimétrica del levantamiento. Se ha anotado que en un plano, la precisión gráfica de un punto es del orden de 0.3 mm y que a la escala 1: 2,000 esto representaría 0.60 m. en el terreno, o sea que en el plano se tendría un error medio cuadrático en posición de 0.3 mm.

En los Estados Unidos (5) exigen una precisión - planimétrica para cualquier punto del plano topográfico - que pueda identificarse sobre el terreno, de 0.5 mm. medidos en la carta.

La versión original del National Accuracy Estandars como se estableció el 10 de junio de 1941, indica en relación a las escalas 1:62,500, 1:24,000 y 1:12,000 unas tolerancias de 1/50" o sea 0.508 mm., 1/40" o sea 0.635 mm. y 1/30" o sea 0.85 mm. en posición horizontal para las escalas indicadas o sea para 1:12,000, 10 m., para 1:24,000, 15.25 m. y para 1:62,500 tendremos 31.50 m. De 1947 a la fecha, se tiene:

Para mapas a escalas mayores de 1:20,000 no más del 10% de los puntos verificados podrán tener un error mayor que 1/30" medida en la carta.

Para mapas a escala menor de $\frac{1}{20,000}$ tendrán $\frac{1}{50}$ en puntos de posición bien definida.

Caso particular para escala 1:50,000 tendremos - 25.4 mts.

En fotogrametría los puntos bien definidos son - aquellos que puedan ser fácilmente identificables en la fotografía y en el terreno (vértices topográficos o geodésicos, bancos de nivel, intersecciones de caminos y - F.F.C.C., esquinas de grandes predios o estructuras, - etc.).

Precisión Altimétrica.

Una de las formas para expresar la precisión de las curvas de nivel, son las fórmulas de Koppe:

$$E_h = a + b \operatorname{tg} \alpha$$

$$E_p = b' + a \operatorname{cotg} \alpha$$

E_h = Error de altura

E_p = Error planimétrico

a = Error medio cuadrático altimétrico en todo el sistema fotogramétrico.

b = Error medio cuadrático planimétrico en todo el sistema fotogramétrico.

α = Angulo de inclinación del terreno.

En los levantamientos fotogramétricos actuales el error medio cuadrático es del orden de 0.3 por 1,000 de la altura de vuelo. En Estados Unidos (5) la precisión vertical debe ser tal que el 90% de las elevaciones mostradas en el plano estén dentro de 1/2 del intervalo de curvas de nivel y el 10% restante puede tener errores hasta de una equidistancia .

Atendiendo a problemas que se presentan en la restitución de modelos con vegetación y a diversas escalas de las cartas, Tracy modifica la clasificación de la siguiente manera:

Escala de la carta menor que :	Altimetría % de puntos con errores de 1/2 equidist.	Planimetría a la Esc. del dibujo.
1/10,000	90%	0.3 mm.
$\frac{1}{5,000}$	80%	0.3 mm.
$\frac{1}{1,000}$	70%	0.3 mm.

En Europa se usa la fórmula de Koppe para dar valor al error medio de los puntos y al error máximo admisible.

em = error medio

em = a + b tg α

error máximo admisible = 3 em.

Existe la tendencia de que se tengan varias especificaciones dependiendo del uso que se dé a las cartas.

Si son cartas destinadas a investigación, habrá que elaborar especificaciones para cada proyecto.

Destinadas a planeación e Inventarios, se considera que sirven las especificaciones Norteamericanas.

Destinadas a Ingeniería, se deben usar especificaciones que estén de acuerdo con el costo total del proyecto.

B I B L I O G R A F I A

- (4) Blachut T.J.- "La ayuda cartográfica al estudio de la planeación urbana ".- Reunión de cartas - especiales I.P.G.H., Ottawa, Canadá 1965.
- (5) Inventory Center.- Corps of Engineer: U.S. Army, Manual No. 1 AID/RIC,P.12 Resources E.E.U.U. -- 1963.
- (6) American Society of Photogrammetry "Manual of - Photogrammetry" 3rd Edición E.E.U.U. 1966.

TEMA NUM. VII

SISTEMAS DE REDES DE COORDENADAS PLANAS.-PRO-
YECCIONES DE MAPAS Y CUADRICULAS.- SISTEMAS _
ESPECIFICOS DE CUADRICULAS.- AZIMUTES Y ANGU-
LOS DE LA CUADRICULA.- CALCULO DE LA CUADRICU
LA.

ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA.

E. S. I. A.

A LOS ASISTENTES

Los conceptos que se citan en el temario son tan amplios y complicados que difícilmente se pueden concentrar en un intento de tan corto tiempo. Es por ello que he preferido, con el extracto de algunos capítulos de los tratados de Cartografía, motivar a los asistentes con el fin de que surjan discusiones tendientes a un aprendizaje mutuo.

SISTEMAS DE REDES DE COORDENADAS PLANAS. PROYECCIONES DE MAPAS Y CUADRICULAS.

Las proyecciones y cuadrículas de cualquier tipo, constituyen las redes de coordenadas que sirven de base para el dibujo de: MAPAS. Es por ello que se ha creído justo hacer un recordatorio acerca de lo que es un mapa y de algunos de sus antecedentes.

Un mapa es una representación convencional de la superficie terrestre, esto es, de su contenido; y pueden ser mapas generales y mapas específicos. Entre los primeros se pueden citar los mapas del mundo, mapas cartográficos y mapas topográficos; y entre los segundos se cuentan los mapas políticos, urbanos, mapas de comunicaciones, mapas económicos y estadísticos, para la navegación marítima, para la navegación aérea, mapas catastrales, para representar la integración parcelaria de alguna zona y sus propietarios, mapas geológicos, hidrológicos, edafológicos, etc. etc. Cada uno de los mapas citados debe estar confeccionado e integrado de acuerdo con el sistema de proyección, de acuerdo con la escala y con la finalidad; siendo los elementos representados mediante símbolos, dibujos y colores que puedan variar de un país a otro y de un estado a otro en el mismo país.

Un paso más avanzado en el estudio de la cartografía lo constituye la preparación de mapas especiales y la de globos y relieves.

La confección de mapas precede a la escritura, según información comprobatoria por exploradores y viajeros, de que varios pueblos primitivos que no llegaron a emplear ni conocer la escritura y que fueron muy hábiles en el trazado de mapas; y en una observación general de todos los viajeros por todas las partes del mundo que, preguntado un native por el camino que conduzca a cierto lugar, tomará una varita y dibujará en el suelo un esquema del camino, completándolo con pequeños objetos para indicar la ubicación de algún punto notable.

Los pueblos primitivos que vivían como guerreros y como cazadores, debían conocer la dirección y las distancias de sus recorridos, pues el desconocimiento de ello era cuestión de vida

e muerte; por lo que sintieron la necesidad de comunicarse unos a otros el conocimiento del terreno y así nacieron los primeros mapas.

Quizá los mapas prehistóricos más interesantes sean las cartas marinas hechas por los indígenas de las Islas Marshall, formadas por conchas dispuestas sobre un enrejado de fibras de palma. Véase figura No. 1

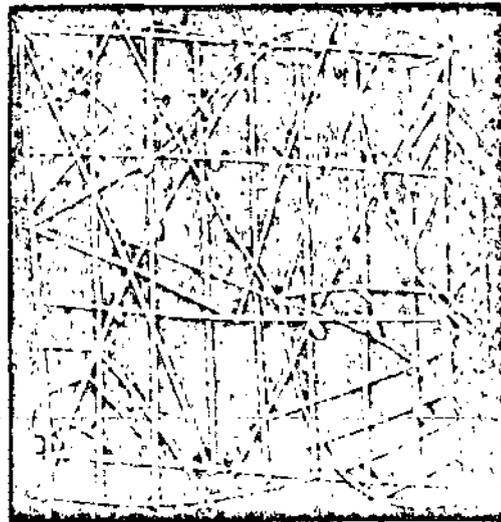


FIG. 1.—Cartas de los indígenas de las islas Marshall, que están representadas por conchas; el enrejado de fibras de palma sirve, en parte, para soporte de las conchas, y, en parte, para indicar la curvatura predominante de los frentes de olas.

Fueron los antropólogos los que descubrieron que se trataba de cartas usadas para la navegación; y dedujeron que las líneas en cuadrícula ortogonal, representaba el mar abierto, las conchas las islas y las curvas los frentes predominantes de las olas.

MAPAS ESQUIMALES

En seguida se habla de los mapas esquimales confeccionados con gran habilidad, como le demuestra el hecho de un mapa de las islas Belcher dibujado por un esquimal de la Bahía de Hedson, carente de instrucción y de instrumentos y que coincide de manera sorprendente con las mejores cartas hidrográficas de la región. Véase la fig. No. 2

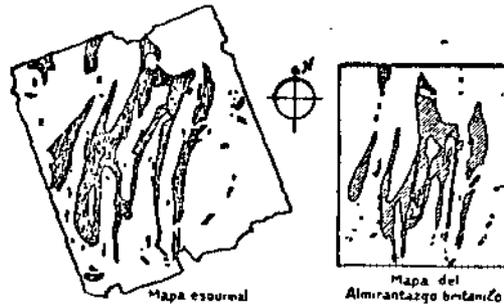


FIG. 2. — Mapa esquimal de las islas Belcher, en la bahía de Hudson; la longitud del archipiélago es de unos 150 kilómetros.

MAPAS INDIOS Y AZTECAS.

Aunque de modo diferente a los esquimales, los mapas aztecas son muy interesantes, pues en ellos se representaron, más que detalles topográficos, hechos históricos, con dibujos y figuras talmente realistas. Véase la fig. No. 3.

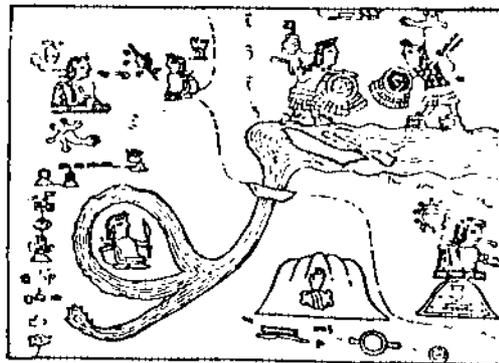
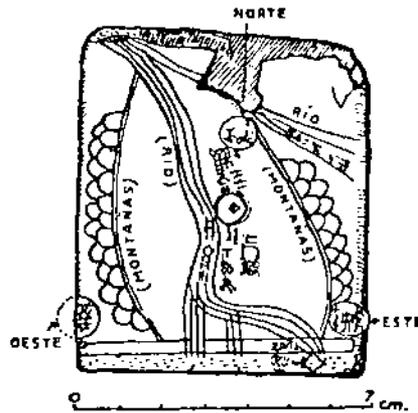


FIG. 3. — Mapa azteca en el que se indican los viajes de una tribu. Los caminos van señalados, frecuentemente, con huellas de pies. Adviértanse la canoa y el remo.

MAPAS BABILINICOS

El mapa más antiguo existente en el museo Semítico de la Universidad de Harvard, fué hallado en una excavación de las ruinas de la Ciudad de Ga Sar, al norte de Babilonia y que consiste en una placa de barro cocida que representa el valle de un río, seguramente el Éufrates, con montañas a cada lado en forma de es camas. El río desemboca por un delta de tres brazos en un lago en el mar. En el mapa de referencia los puntos cardinales están representados por círculos con descripciones, lo cual indica que aquellos como los actuales, ya estaban orientados. Véase fig. no. 4



EL MAPA MÁS ANTIGUO

*Tableta de arcilla procedente de Ga-Sar,
del año 2500 a de J. C.*

FIG. 4. — El mapa más antiguo del mundo. Es una pequeña placa de barro que se conserva en el Museo Semítico de la Universidad de Harvard.

En el museo Británico, hay varias placas semejantes a la anterior, que representan de un modo primitivo, fincas, poblaciones y toda Babilonia.

La importancia que para nosotros tienen estas placas no es triba en su mérito representativo, sino en la prueba evidente que proporcionan sobre la gran antigüedad del arte cartográfico.

A los babilonios, por otra parte, se debe la obra que aún se conserva y que consiste en la división del círculo en grados sexagesimales.

MEDICIONES DE LOS EGIPCIOS

Hasta los antecedentes vistos, todavía no se habla de distancias y sólo se tienen expresiones gráficas, pues la medición del terreno empezó con los egipcios con fines tributarios, pues se dice que los enormes gastos de los faraones y los sacerdotes se cubrían principalmente con los impuestos sobre la tierra; así fué como se midieron y registraron cuidadosamente las propiedades rústicas, señalando sus linderos, esto sucedió en el gran imperio del Valle delta del Nilo.

PRIMEROS MAPAS CHINOS

Los cartógrafos Chinos coordinan mejor sus mapas locales y sientan ciertos principios cartográficos, tal como: divisiones rectilíneas, cuadrícula para localizar los diversos lugares, la orientación para indicar exactamente la dirección de uno a otro lugar, indicación precisa de distancias, señalamiento de las altitudes, anotación de los ángulos a la derecha y a la izquierda para las curvas de los caminos; en tales condiciones y en la época primitiva alcanzaron cierto nivel científico. Ver figuras 5 y 6.

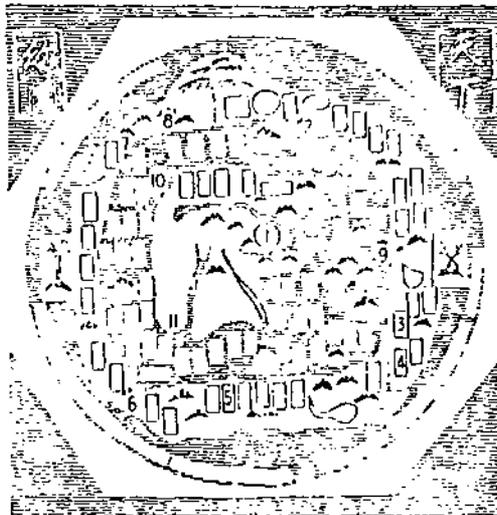


FIG. 5 — Mapa antiguo que representa a China como imperio central, y todos los demás países como pequeñas islas a su alrededor.



FIG. 6.— El mapa chino más antiguo que se conoce es una placa de piedra grabada el año 1137 d. de J. C., basado probablemente en el mapa de Chia Tan del año 801. En este mapa se ve la Gran Muralla, que cruza el río Amarillo.

GRECIA

El principio de nuestro sistema actual cartográfico se ha atribuido a los griegos, quienes aceptaron la forma esférica de la Tierra, con sus polos, su ecuador y sus trópicos, introdujeron nuestro sistema de longitudes y latitudes y construyeron las primeras proyecciones y calcularon el tamaño de la tierra e hicieron un mapa de ella con todos los mares y ríos. Afirmaban por otra parte, que el mundo habitable era de forma oblonga con el eje Este Oeste de doble longitud que el Norte Sur y de ahí nuestros términos "Longitud y Latitud".

Siguiendo un orden cronológico, tendríamos mucho de que asombrarnos y mucho qué admirar, hasta llegar al principio fundamental de la Cartografía; y que consiste en el establecimiento de un sistema de coordenadas al cual pueda referirse cualquier punto de la tierra. Ya tenemos apuntadas las principales direcciones de referencia, que son el Norte, Sur, Este y Oeste, así como los elementos para el sistema de paralelos y meridianos equidistantes -- que está en uso.

SISTEMA DE COORDENADAS DE MERIDIANOS Y PARALELOS.

El principio fundamental de la Cartografía consiste en el establecimiento sobre la superficie de la Tierra de un sistema de coordenadas al que pueda referirse cualquier punto de la misma, teniendo como referencia las direcciones: Norte, Sur, Este y Oeste.

El sistema coordinado de la Tierra se compone de dos elementos de características muy diferentes: meridianos y paralelos fundados en la rotación de la Tierra.

PARALELOS.— Entre el ecuador y cada polo hay 90 paralelos de latitud, que son círculos menores paralelos al ecuador, cada uno de los cuales corresponde a un grado, dividiéndose éste en 60 minutos y cada minuto en 60 segundos.

La longitud del arco de meridiano comprendido entre cada dos paralelos no es exactamente igual para todos ellos, sino sólo de manera aproximada. La latitud de un lugar se puede determinar, lo sabemos, midiendo la altura de la estrella Polar o del Sol sobre el horizonte. Si la tierra fuera una esfera perfecta, la distancia entre dos paralelos cualesquiera consecutivos sería siempre la misma, pero por ser un elipsoide su curvatura varía rápidamente cerca del ecuador que de los polos y, por consiguiente, también la altura de las estrellas más en las latitudes bajas que en las altas. Así que para observar una variación de 1° en la altura de la estrella Polar hay que recorrer en las proximidades del ecuador una distancia menor que cerca de los polos. -- Véase fig. No. 32

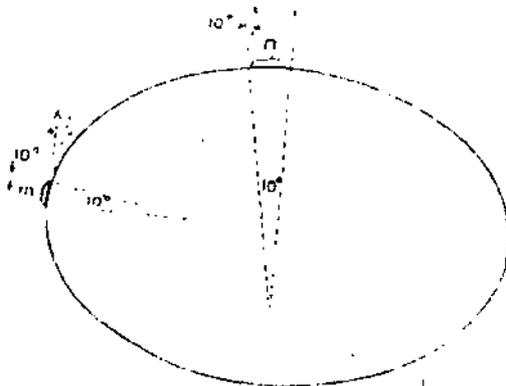


Fig. 32. — Cerca del ecuador, a una variación de 10° de altura de la Polar, corresponde un arco menor que cerca del polo. Cerca del ecuador, el grado de latitud es más corto que en los polos.

La longitud de 1° de latitud es de 110.51 Km. cerca del ecuador; y de 11.70 en los Polos. Por lo que para mediciones de exactitud, tomando como forma de la tierra el esferoide de Hayford, se aplica la ecuación siguiente:

1° de latitud = $111.1312 - 0.5690 \cos. de 2 \varnothing + 0.0012 \cos 4 \varnothing$ en Km., en que \varnothing es la latitud en grados, minutos y segundos.

MERIDIANOS.- La otra serie de coordenadas terrestres consiste en 180 círculos máximos que pasan por los polos y que forma ángulos iguales entre sí; dividen por lo tanto el ecuador y los paralelos en 360° de longitud. En cartografía se consideran como círculos perfectos el ecuador y los paralelos; y como iguales los arcos interceptados por los planos meridianos.

La longitud de 1° de longitud varía desde 11.29 Km. en el ecuador, hasta 0° en los polos. Es de gran importancia conocer la longitud de un grado de longitud en cualquier paralelo. Si suponemos esférica la tierra, el radio de un paralelo es: $r = R \cos \varnothing$, siendo R el radio de la Tierra y \varnothing la latitud.

Los radios de los paralelos guardan entre sí la misma relación que sus circunferencias, o que 1/360 de sus circunferencias, que es 1° de longitud.

$$1^\circ \text{ longitud} = 1^\circ \text{ latitud} \cos \varnothing$$

Las longitudes se determinan hallando la hora local por medio del paso o del Sol; se compara esta hora con la del primer meridiano por un cronómetro o por las señales horarias dadas por radio; así la diferencia entre la hora local y la de Greenwich es la longitud, teniendo en cuenta que a una hora de diferencia corresponden 15° de longitud. A dicha diferencia hay que sumar o restar, según el caso, la ECUACION DE TIEMPO, la cual está dada por la diferencia entre la hora solar observada y la hora media dada por el reloj.

Se acostumbra tomar como meridiano inicial por todas las naciones, el meridiano del observatorio de Greenwich en Londres, por el mérito que revisten los cálculos de longitudes hechos -- por el Almirantazgo inglés.

Las latitudes se refieren al Norte y al Sur del ecuador, y las longitudes al Este y al Oeste del meridiano de Greenwich, desde 0° hasta 180°. Con los elementos anteriores, ya es posible situar un punto cualquiera de la Tierra.

Por la fórmula anterior, se ve que la longitud varía con el coseno de la latitud ϕ ; y este hecho es el principio de la teoría de las proyecciones en los mapas que debe tenerse muy en cuenta.

En el caso de una latitud de 60°, se ve fácilmente en la fig. No. 33, que 1° un grado de longitud es precisamente la mitad de largo que en el ecuador.

El ecuador no es un círculo exacto; y por ello en los cálculos de precisión se utiliza el esferoide de Hayford.

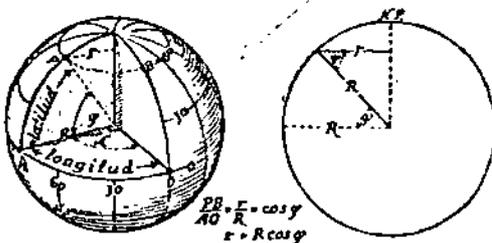


FIG. 33. — La longitud varía con el coseno de la latitud. Este es el principio fundamental en la construcción de mapas

$$1^\circ \text{ de longitud en Km.} = 111.4164 \cos \phi - 0.0950 \cos^3 \phi + 0.0012 \cos^5 \phi.$$

Existen tablas que dan las equivalencias de longitudes de un grado de meridiano y de un grado de paralelo, así como el valor de los cosenos en las diferentes latitudes.

PROYECCIONES

Se puede entender por proyección a la representación gráfica del sistema de paralelos y meridianos terrestres en un plano, en cuyo reticulado se puede dibujar un mapa. Tal representación requiere un estudio especial en virtud de que la superficie esférica no puede desarrollarse sobre un plano sin que se deforme o se rompa; salvo cuando se trate de zonas comprendidas entre 250 y 300 Km² en que las deformaciones no tienen influencia; en cambio en grandes extensiones el problema se resuelve aplicando, de varios métodos, el sistema más apropiado para cada caso de aplicación.

Se dice que una proyección es EQUIVALENTE O AUTALICA, cuando una zona o extensión cualquiera, grande o pequeña, tiene la misma superficie tanto en el plano como en la esfera, independientemente de las deformaciones que se presentan.

Las proyecciones CONFORMES U ORTOMORFAS son aquellas en las que cualquier parte de la tierra de no mucha extensión, tiene la misma forma tanto en el plano como en la esfera; aquí la relación entre las longitudes de meridiano y paralelos en el plano es igual a la misma relación en la esfera; y a pesar de ello, se dice que no hay proyección que sea a la vez Equivalente y Conforme. Así es como se ha preferido una proyección intermedia entre las dos mencionadas. Por lo antes dicho, al construir una proyección es muy importante saber cuales son las líneas verdaderas y que son las primeras que se deben trazar.

CLASIFICACION DE LAS PROYECCIONES

Las proyecciones se clasifican según la forma de obtenerlas, en: Cilíndricas, si la superficie de proyección es un cuadro proveniente de un cilindro; cónicas si la superficie de proyección proviene de un cono cortado a lo largo de la generatriz; o acimutal si la superficie es un plano. Véase la fig. No. 1 con los 3 casos.

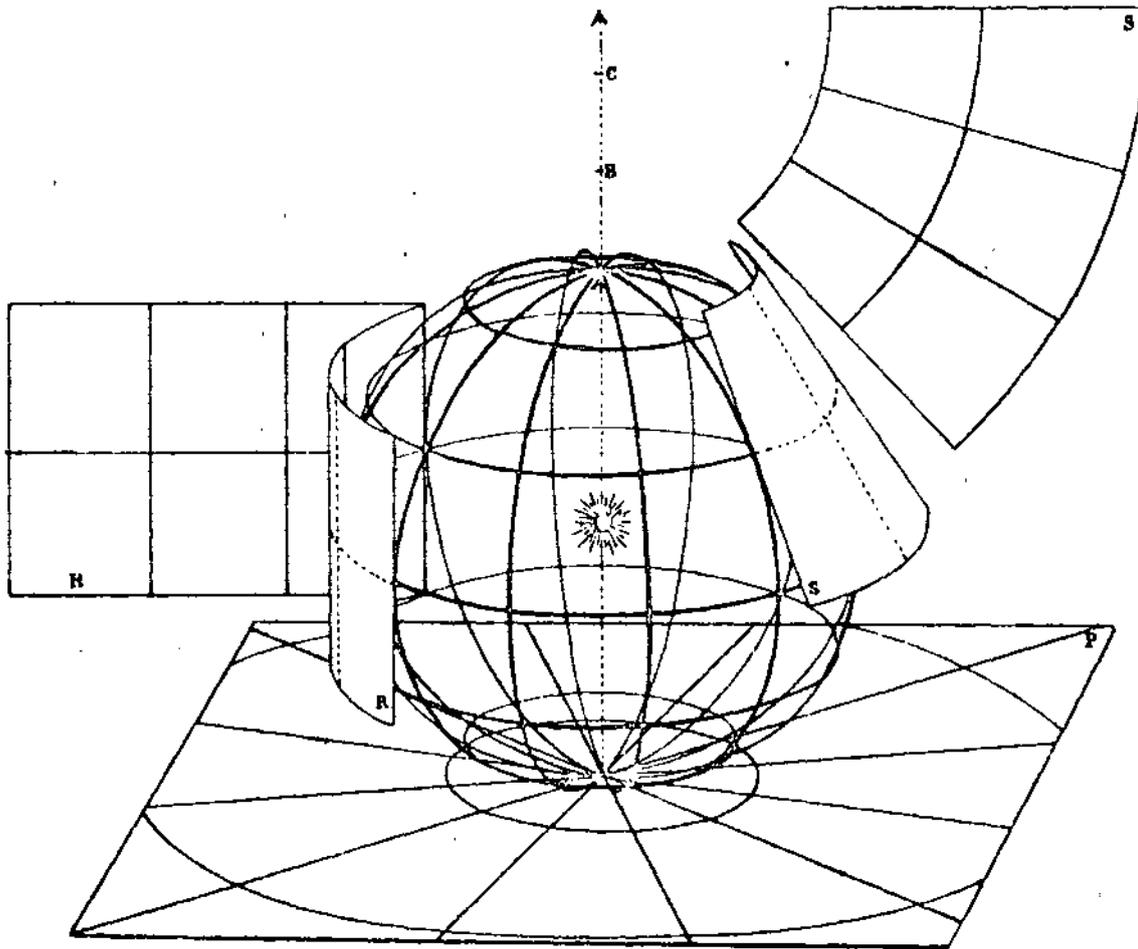


Fig. 1

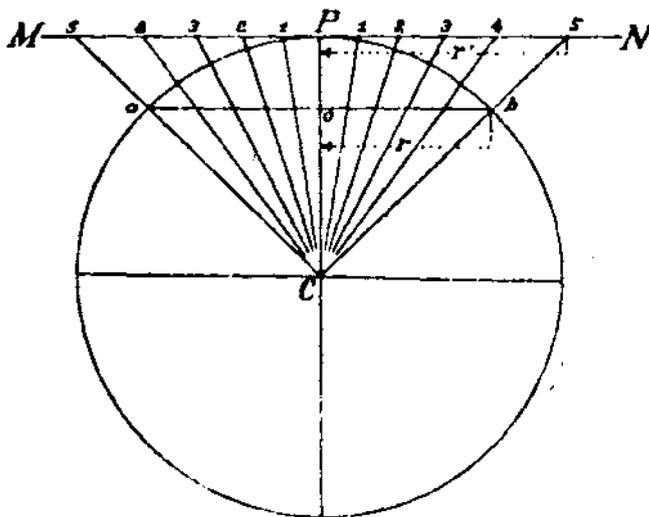


Fig. 2

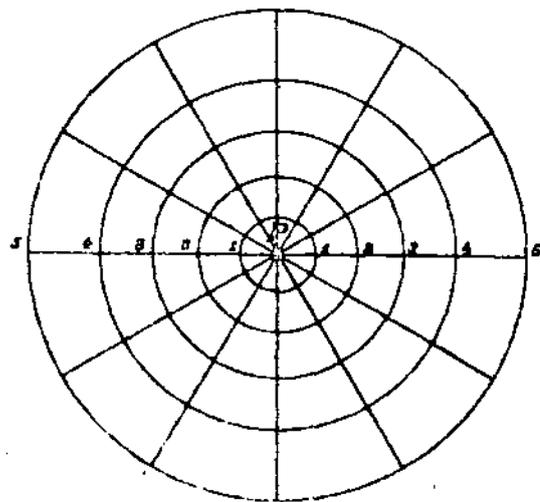


Fig. 3

No se tiene la certeza de la clasificación anterior, por lo que se han agrupado en: Proyecciones con paralelos horizontales; Proyecciones cónicas; Proyecciones Acimutales y Análogas y en Proyecciones convencionales.

PROYECCIONES CILINDRICAS.- En esta clase de proyecciones, los paralelos están representados por líneas rectas horizontales y los puntos de la tierra de igual latitud aparecen en el mapa a la misma altura sobre el paralelo que se toma como referencia.

PROYECCION: EQUIRECTANGULAR.- Es la proyección más sencilla y consiste en una retícula de líneas verticales o meridianos a igual distancia unas de otras y de líneas horizontales o paralelos, también equidistantes entre sí. El paralelo central se toma como base y se divide a escala, en partes iguales de magnitud verdadera, lo mismo que en un globo terráqueo de idéntica escala. En el globo, la longitud de 1° de longitud a la latitud ϕ es:

$$1^\circ \text{ de longitud} = 1^\circ \text{ de latitud} \times \cos \phi. \text{ Véase fig. No. 39}$$

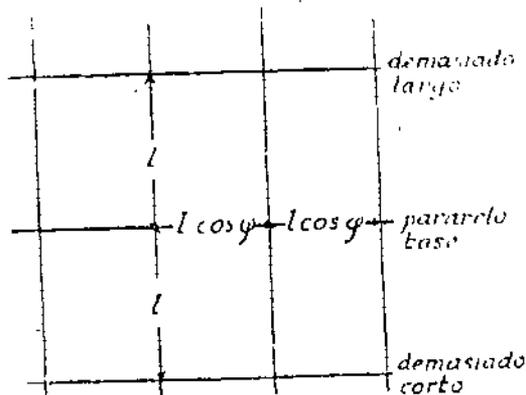


FIG. 39 — En la proyección equirectangular la escala es exacta en el paralelo central y en todos los meridianos, pero los demás paralelos son demasiado largos o demasiado cortos.

PROYECCION MERCATOR.- Esta proyección se funda en paralelos horizontales y meridianos verticales equidistantes entre sí, cuyos meridianos equidistantes están colocados de tal modo que, en Ecuador esta equidistancia está representada en verdadera magnitud a la escala correspondiente. Los paralelos por otra parte, están dispuestos de tal manera que, en una zona de dimensiones pequeñas, la relación entre dos distancias tomadas respectivamente sobre meridianos y paralelos es igual a la relación entre las longitudes homólogas en el globo terráqueo. Véase en la fig. No. 41 el mapamundi de Mercator.

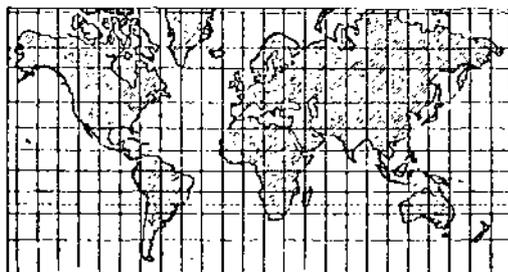


Fig. 41. — En la proyección Mercator están muy exageradas las superficies en las altas latitudes. Solamente en el ecuador las dimensiones son exactas.

Algunas características de la proyección Mercator son: es una proyección conforme, esto es, en superficies reducidas, la forma de la parte representada es igual a la red sobre la Tierra; y la más importante que consiste en ser el único sistema en que todos los rumbos o loxodrómicos son líneas rectas y que sobre el globo terráqueo tienen rumbo constante y cortan a todos los meridianos formando ángulos iguales.

El empleo de esta proyección obedece a la facilidad de construcción y por las ventajas de los paralelos horizontales y los meridianos verticales.

Debido a la gran cantidad de proyecciones que existen, es obvio decir que no es posible hablar de ellas en esta exposición

con tan limitado tiempo, es por ello que, sólo se agregan otros -- conceptos que ayudarán a motivar la investigación de cada uno de -- nosotres, en los tratados correspondientes.

Elección de la clase de proyección.- Para la elección de -- una proyección, es esencial conocer los fundamentos de las mismas, para que tal elección sea conciente de acuerdo con la finalidad -- o destino de los mapas. Por ejemplo: como caso general para mapas simplemente ilustrativos, es conveniente emplear proyecciones con paralelos horizontales y meridianos verticales; para mapas esta-- dísticos, una proyección equivalente; en mapas continentales, la -- proyección ortográfica oblicua y para mapas de mayor precisión -- nos aconsejan las proyecciones cónicas, etc. A continuación se da una tabla de la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos para la identificación de las proyecciones. Hoja siguiente.

CONSTRUCCION DE UN CANEVA

Para la construcción del caneavá de una hoja, en la Dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos existen tablas de las proyecciones policónicas para la República Mexicana; en ellas están hechas las interpolaciones para cada 15 minutos con los valores de las XX e yy . En una de las tablas se hallan valores hasta de 3° del Meridiano Central y en otras, de los 3° a los 6° de su origen, tie-- nen también ordenados los valores de los arcos de meridiano para -- cada quince minutos. Fueron preparadas dichas tablas para cartas -- que abarquén más de 2° de longitud y divididas por meridianos es-- paciadados a menos de 1° .

Las tablas calculadas por la dirección de Estudios Geográficos y Climatológicos, están preparadas para las latitudes de la República y por lo mismo satisfacen por completo cualquier trabajo de cartografía del Territorio Mexicano.

Las 32 cartas del Atlas Geográfico de la República Mexicana, las Cartas murales del Valle de México, las del Distrito Federa-- l, la Carta General de la República Mexicana 1/500 000; así ce--

IDENTIFICACION DE LAS PROYECCIONES

Los meridianos son:	Los paralelos son:	Otras características	Proyecciones
Rectas paralelas y equidistantes.	Rectas paralelas	Los espaciamentos de los paralelos y de los meridianos son iguales.	Cilíndrica simple o equidistante. (Fig. 63)
		Los espaciamientos de los paralelos son iguales entre sí y mayores que los de los meridianos.	Cilíndrica con dos paralelos tipos. (Fig. 64)
		El espaciamento de los paralelos decrece hacia los polos.	Cilíndrica equivalente. (Fig. 65)
		Los espaciamientos de los paralelos crecen hacia los polos. Las distancias de los paralelos al ecuador crecen como las tangentes de las latitudes.	Cilíndrica perspectiva. (Fig. 66)
		Los espaciamientos de los paralelos crecen hacia los polos y varían sensiblemente en razón inversa del coseno de su latitud media.	Cilíndrica de Mercator (Fig. 67)
Rectas paralelas cuyas distancias crecen a partir del meridiano central.	Curvas.	Las curvas son hipérbolas cuyos ejes son el meridiano central y el ecuador.	Gnomónica ecuatorial (Fig. 14)
Rectas concurrentes.	Círculos concéntricos equidistantes	El punto de concurso de los meridianos es el centro del círculo que representa el polo. Los ángulos entre los meridianos quedan disminuidos	Cónica equidistante, con uno o dos paralelos tipos (Figs. 38, 44 y 45).
		Los ángulos de los meridianos se conservan.	Azimutal equidistante polar. (Fig. 61).
	Círculos concéntricos, cuyas distancias aumentan hacia el polo.	El polo es el punto de concurso de los meridianos. Los ángulos que forman éstos se conservan.	Ortográfica polar. (Fig. 29). Azimutal polar equivalente de Lambert. (Fig. 77).
		El polo es el punto de concurso de los meridianos. Los ángulos entre los meridianos están disminuidos	Cónica equivalente de Lambert.
	Círculos concéntricos, cuyas distancias decrecen hacia el polo.	El polo es el punto de concurso de los meridianos. Se conservan los ángulos entre éstos.	Polares: Gnomónica (Fig. 13), estereográfica, (Fig. 24), Henry James, La Hire y Breusing.
Círculos concéntricos, cuyas distancias crecen hacia uno y otro lados del paralelo patrón.	El polo es el punto de concurso de los meridianos. Los ángulos entre éstos son menores que los verdaderos.	Cónica ortomórfica de uno o dos paralelos tipos.	

Los meridianos son:	Los paralelos son:	Otras características	Proyecciones
Rectas concurrentes.	Círculos concéntricos, cuyas distancias disminuyen a un lado y otro a partir del paralelo central.	El polo es un círculo cuyo centro coincide con el punto de concurso de los meridianos. Los ángulos entre éstos quedan disminuidos.	Cónica equivalente de Albers, con dos paralelos tipos. (Fig. 46).
	Curvas de segundo grado	Los meridianos concurren en el polo. Los ángulos entre los meridianos son menores que en la esfera.	Gnomónica oblicua. (Fig. 16).
	Arcos de círculo que se van abriendo al alejarse del meridiano central.	A la escala en que se emplea generalmente es difícil distinguir esta proyección de la cónica equidistante.	Policónica modificada de Lallemand. (Fig. 54).
Líneas curvas.	Rectas paralelas equidistantes.	Los meridianos dividen a cada paralelo en partes iguales. Los meridianos son sinusoides.	Sanson-Flamsteed o Sinusoidal. (Fig. 49).
	Rectas paralelas cuyas distancias decrecen hacia los polos.	Los espaciamientos de los meridianos en su cruzamiento con cada paralelo son iguales.	Mollweide y Goode. (Figs. 82 y 85).
		Los espaciamientos de los meridianos en su cruzamiento con los paralelos decrecen al alejarse del meridiano central.	Ortográfica meridiana (Fig. 31).
	Arcos de círculo concéntricos y equidistantes.	El polo no es el centro de los arcos de círculo. Los meridianos dividen a cada paralelo en partes iguales.	Bonne. (Fig. 48).
		El polo es el centro común de los paralelos. Los meridianos dividen a cada paralelo en partes iguales.	Werner. (Fig. 50).
	Arcos de círculo que se van abriendo al separarse del meridiano central.	El meridiano central y los paralelos quedan divididos en partes iguales.	Policónica. (Fig. 53)
		El meridiano central queda dividido en partes iguales, lo mismo que el paralelo patrón. El cruzamiento de los meridianos con los paralelos es en ángulo recto.	Policónica rectangular.
Las divisiones del meridiano central y las del paralelo medio crecen a partir del centro. Los meridianos son también arcos de círculo y su cruzamiento con los paralelos es un ángulo recto.		Estereográfica meridiana y oblicua. (Figs. 25 y 28).	
Las divisiones del meridiano central y las del ecuador son iguales. Los meridianos son arcos de círculo concurrentes en los polos.		Globular (Fig. 81).	
Arcos de elipse que cortan a los meridianos, excepto el central, oblicuamente.	Las divisiones del meridiano central y las de los paralelos son mayores hacia el centro del mapa.	Ortográfica oblicua. (Fig. 38).	

Los meridianos son:	Los paralelos son:	Otras características	Proyecciones
Líneas curvas.	Líneas curvas.	Los espaciamentos en el meridiano central son iguales.	Azimutales equidistantes: oblicua y meridiana.
		Los espaciamentos en el meridiano central crecen del centro hacia uno y otro lados.	Intermedias de Breusing: oblicua y meridiana.
		Los espaciamentos de los paralelos en el meridiano central decrecen del centro hacia el N. y el S.	Azimutal equivalente de Lambert, oblicua (Fig. 78).
		Los espaciamentos en el meridiano central y en el Ecuador, que es línea recta, decrecen del centro a uno y otro lados.	Aitoff y azimutal equivalente de Lambert, meridiana. (Figs. 84 y 79).
		El mapa se extiende en una dirección oblicua respecto a la línea Norte-Sur y la mejor representación se localiza a lo largo de una zona que sigue dicha dirección oblicua.	Cónica y policónica oblicuas
		La proyección abarca una región polar, y el meridiano central y el normal son líneas rectas.	Mercator, transversal, polar. (Fig. 70).
La región representada es pequeña, en general, y el cenúv es comparable a una fracción próxima al meridiano central del cenúv de la proyección transversal de Mercator.	Cassini o por coordenadas rectangulares (Fig. 73).		

me la de los estados de: Sonora, Durango, San Luis Potosí, Chihuahua y México, se han publicado con la proyección Pelicónica.

El uso de las tablas es como sigue: Se traza en el medio de la hoja la línea recta que representa el meridiano central, cuya magnitud se encuentra a escala de la primera columna de la tabla correspondiente, entre los límites que marcan las latitudes de la segunda columna. Por sus dos extremos se trazan normales sobre las cuales como ejes de las abscisas y a partir del meridiano como eje de las ordenadas, se construyen por medio de las coordenadas que se encuentran en las columnas 4a, 5a y 6a los puntos de longitud de 1° , 2° y 3° para la escala 1:1 000 000, o los de longitud de $0^\circ 30'$, y $1^\circ 00'$ y $1^\circ 30'$ para la escala de 1:500 000.

Estos puntos unidos entre sí por una línea curva define los paralelos extremos. Los puntos correspondientes de estos paralelos a la misma longitud, unidos por líneas rectas definen los meridianos.

Estos meridianos divididos en 4 partes iguales dan los puntos de cruzamiento con los paralelos intermedios, los cuales serán las curvas que pasan por tales puntos.

Teóricamente las partes en que se dividen los meridianos no deben ser iguales, pero a estas escalas y dentro de los límites de estas hojas no son sensibles las diferencias.

Si se tienen que construir canevas que abarquen extensiones más grandes, en las cuales las diferencias entre los espaciamentos de los paralelos pueden llegar a ser gráficamente sensibles, se procede en la forma indicada hasta antes de dividir los meridianos en partes iguales con el fin de marcar puntos por donde deben pasar los paralelos, pues éstos deberán trazarse independientemente; para lo cual se divide el meridiano central según las magnitudes que resultan al aplicar las fórmulas que para tal caso se encuentran en los Apuntes sobre Cartografía de la misma dirección antes mencionada. Y aplicando las tablas de coordenadas correspondientes. Véanse las tablas siguientes.

Tablas para la Carta de la República.

Escala 1:1 000 000.

Proyección policónica de Lallemand.

Esferoide de Clarke 1866

Meridiano Central	Latitudes	COORDENADAS			
			$\lambda = 1^\circ$	$\lambda = 2^\circ$	$\lambda = 3^\circ$
m m		x	m m.	m m.	m m.
442.3	12	y	108.9 0.2	217.9 0.8	326.8 1.8
442.5	16	x	107.1 0.3	214.1 1.0	321.2 2.3
442.6	20	y	104.7 0.3	209.3 1.2	314.0 2.8
442.9	24	x	101.8 0.4	203.6 1.4	305.3 3.3
443.2	28	y	98.4 0.4	196.8 1.6	295.2 3.6
443.5	32	x	94.5 0.4	189.0 1.7	283.5 3.9
	36	y	90.2 0.5	180.4 1.9	270.5 4.2

Para el uso de esta tabla, véase página 109.

Tablas para la Carta de la Republica.

Escala 1:500 000.

Proyección policónica de Lallemand.

Esferoide de Clarke 1866.

Meridiano Central	Latitudes	COORDENADAS			
			$\lambda = 0^{\circ}30'$	$\lambda = 1^{\circ}00'$	$\lambda = 1^{\circ}30'$
m. m.		x	m. m.	m. m.	m. m.
442.5	14	y	108.0 0.1	216.1 0.5	324.1 1.0
442.6	16	x	107.1 0.1	214.1 0.5	321.1 1.2
442.7	18	x	105.9 0.1	211.8 0.6	317.7 1.3
442.8	20	x	104.7 0.2	209.3 0.6	314.0 1.4
442.9	22	x	103.8 0.2	206.5 0.7	309.8 1.5
443.0	24	x	101.8 0.2	203.5 0.7	305.3 1.6
443.1	26	x	100.1 0.2	200.3 0.8	300.4 1.7
443.3	28	x	98.4 0.2	196.7 0.8	295.1 1.8
443.4	30	x	96.5 0.2	193.0 0.8	289.5 1.9
443.6	32	x	94.5 0.2	189.0 0.9	283.5 2.0
	34	x	92.4 0.2	184.8 0.9	277.2 2.0

Para el uso de esta tabla, véase página 109.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

NUEVAS TECNICAS DE INTERPRETACION

LA PERCEPCION REMOTA Y SUS APLICACIONES A LA INGENIERIA

Ing. Jorge F. Vaca Hinojosa (*)

INTRODUCCION:

A medida que aumenta la demanda de recursos naturales, debido al crecimiento de la población y a la elevación de los niveles de vida, se hace más importante conocer y manejar con eficiencia esos recursos. La tarea - requiere que se realicen periódicamente inventarios exactos. Hasta la generación anterior, estos inventarios se hacían en su totalidad desde la superficie de la tierra.

El desarrollo de la fotografía aérea representó un gran paso hacia adelante. En los últimos años, además de las fotografías aéreas se ha trabajado en nuevas técnicas, en las cuales la percepción se hace simultáneamente - en varias bandas del espectro electromagnético. El nombre comunmente dado a esta técnica es de "percepción remota". La percepción remota, en los términos más simples, consiste en la detección y/o evaluación de objetos, sin entrar en - contacto directo con ellos.

Esta técnica abarca rangos del espectro desde longitudes de onda muy cortas, en las que se emiten los rayos gama, hasta las longitudes comparativamente grandes en las que opera el radar. De esta manera, se puede conseguir información adicional acerca del área, además de la obtenida con fotografía

(*) Sub-jefe del Depto. de Fotointerpretación CETENAL.

convencional, que está limitada a la porción visible del espectro luminoso.

La percepción remota puede hacerse desde aviones o naves espaciales, incluyendo satélites automáticos, empleando diversos sensores. Los datos obtenidos por los sensores pueden ser procesados e interpretados automáticamente, hasta cierta extensión, y así puede manejarse con rapidez un gran volumen de información.

La información obtenida es utilizada por investigadores en numerosas disciplinas.

Se debe tener en mente, que los datos obtenidos con sensores remotos son solamente herramientas que ayudan a los técnicos a tomar decisiones adecuadas en su trabajo. Las informaciones provenientes de sensores no constituyen una panacea. Existen limitaciones obvias en el contenido de la información. Sin embargo, puede obtenerse el máximo de utilidad de la información proporcionada por los sensores, en términos significativos para la evaluación de recursos, solamente si la información puede ser correlacionada precisamente con datos suplementarios obtenidos en el campo.

Los estudios llevados a cabo en el campo, así como los realizados desde aviones y utilizando los datos espaciales, indican que las técnicas relacionadas con las imágenes de sensores remotos son los métodos más aceptables y aplicables para la mayoría de los investigadores de recursos terrestres. Sin embargo, la información no sólo se refiere a las imágenes que proporcionan, sino también a la información de apoyo que no es de subestimar.

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

La radiación electromagnética (luz) fué considerada como - corpúsculos por Newton y como ondas por Huygens.

La radiación electromagnética del sol pasa a través de la - atmósfera y cae sobre la superficie de la tierra, donde interactúa con los suelos, rocas, agua, objetos fabricados por el hombre y la cubierta de vegetación. La naturaleza de la interacción depende de la frecuencia, intensidad y polarización de la radiación electromagnética y de las propiedades del sólido o del líquido con que la radiación electromagnética está interactuando.

Ocurren dos interacciones principales: 1) La reflexión de la - radiación electromagnética, y 2) la penetración o absorción de la radiación - electromagnética.

La reflexión puede ser total o parcial. De ser parcial, la totalidad o algunas frecuencias pueden ser absorbidas, reflejándose la porción restanante. La radiación electromagnética que penetra en el material sólido o líquido, puede ser reflejada desde los límites entre las capas de diferentes propiedades, o puede ser disipada en forma de calor, o una combinación de ambos.

La radiación electromagnética que produce el calor, es teóricamente rerradiada. Pero la radiación puede tener una frecuencia diferente, puede ser demasiado pequeña para ser detectada sin mayores dificultades, o bien - puede ocurrir más tarde.

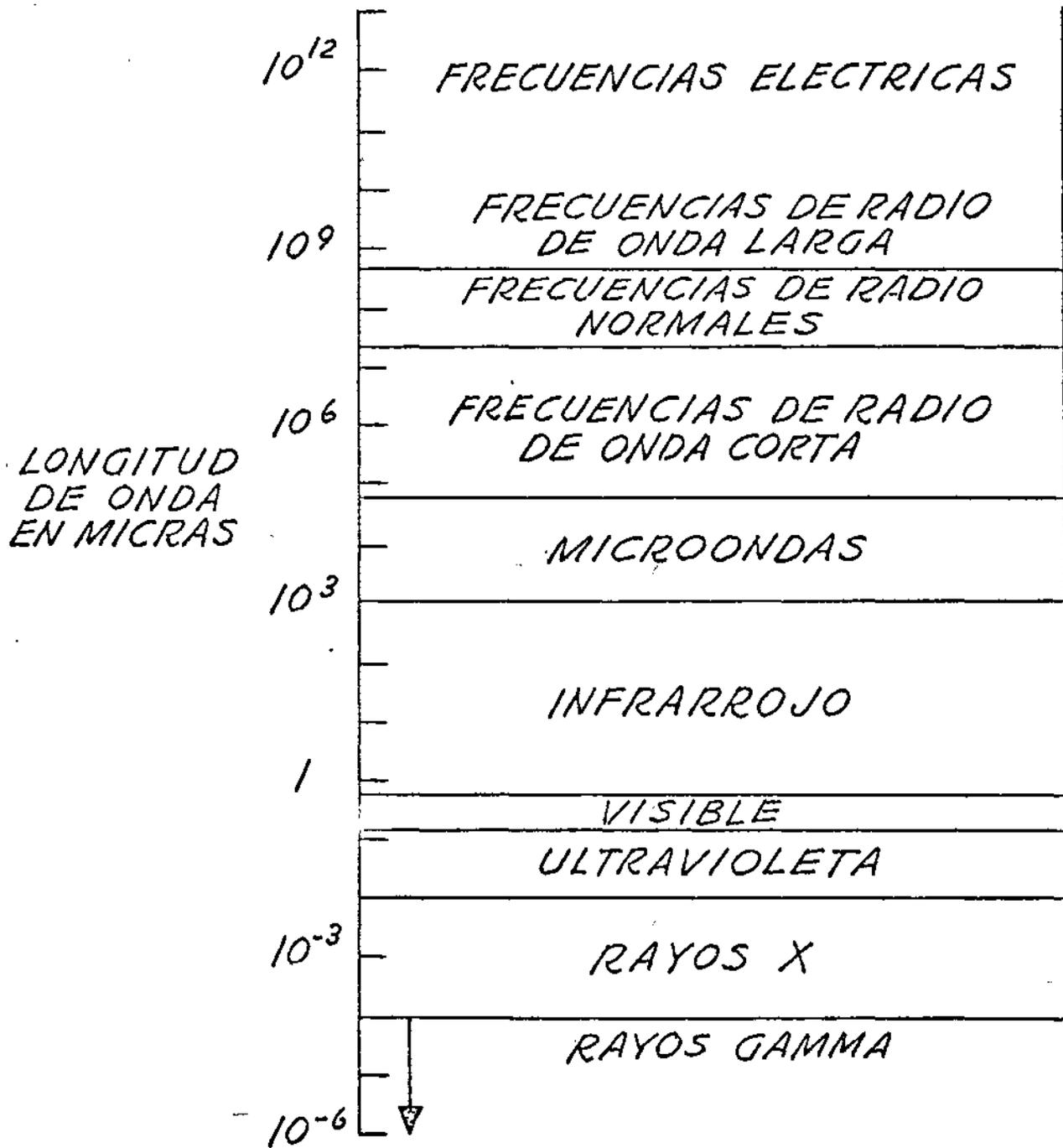
Frecuentemente la radiación electromagnética no interactúa con la roca y el suelo de la litósfera, sino con la cubierta vegetal. Mientras más densa sea esta cubierta, y mientras mayor sea la frecuencia de la onda electromagnética, menor será la posibilidad de que exista penetración e interacción de la radiación electromagnética con el suelo y la roca.

El hecho de que la mayor parte de la radiación electromagnética sea reflejada de la superficie, depende de la frecuencia de la onda electromagnética, y de la composición química y del estado físico de los materiales que forman la superficie. En raras ocasiones, la totalidad o la mayor parte de la radiación es reflejada por la superficie. Sin embargo, es habitual que una parte de ella penetre en el material de superficie. Las cantidades relativas de radiación electromagnética reflejada y absorbida dependen primordialmente del coeficiente dieléctrico del material.

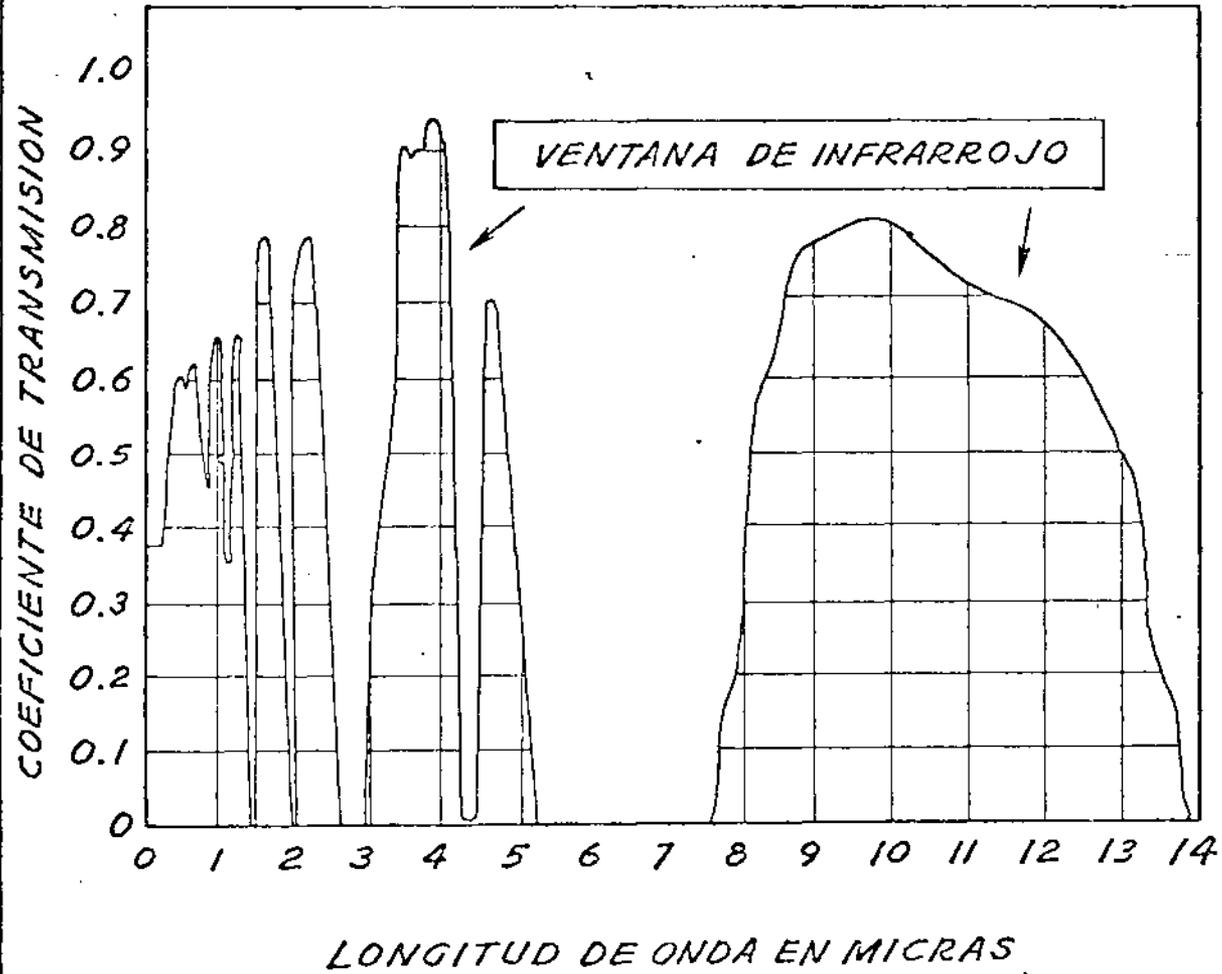
El espectro electromagnético consiste en la disposición ordenada de la radiación, de acuerdo con las longitudes de onda. Se ha podido establecer, tanto experimental como teóricamente, que el espectro electromagnético comprende ondas de todas las longitudes, desde micrones hasta kilómetros.

No existen instrumentos ni mecanismos para detectar todo el espectro, por lo que necesariamente éste se ha dividido arbitrariamente en varias regiones. Los motivos para establecer estas subdivisiones han sido determinadas por los diversos medios a nuestro alcance para generar, aislar y detectar la energía del espectro electromagnético de interés.

EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



ZONAS DE TRANSMISION DE LA ATMOSFERA



(6)

EQUIPOS DE PERCEPCION REMOTA

Entre los numerosos tipos de equipo desarrollado para percepción remota, seis han demostrado su valor al efectuar inventarios de recursos naturales. Ellos son:

1. - Cámara aérea convencional.
2. - Cámara Panorámica.
3. - Cámara multibanda.
4. - Barredor óptico mecánico.
5. - Radar oblicuo aéreo.
6. - Espectrómetro de Rayos Gamma.

CAMARA AEREA CONVENCIONAL

La cámara aérea convencional se vió ya con detalle en otras - clases de este curso. Registra longitudes de onda que percibe el ojo humano - (0.4 a 0.75 micras).

Se pueden usar los siguientes tipos de película.

- a) Pancromática en blanco y negro.
- b) Infrarroja en blanco y negro.
- c) Color natural.
- d) Infrarroja de color.

CAMARAS PANORAMICAS

La cámara panorámica hace posible que se fotografíe una gran

área en una sola exposición, con alta resolución, obteniéndose un alto grado de fidelidad y nitidez en la imagen en cada porción de la fotografía. La cámara cumple esta necesidad, pero crea problemas especiales. Con el objeto de obtener una imagen nítida al fotografiar grandes áreas el campo angular es angosto para minimizar las aberraciones de la lente. Dicho campo está provisto en la cámara panorámica de una ranura angosta en una persiana opaca cerca del plano focal de la cámara.

La ranura es paralela a la línea de vuelo de la plataforma de la cámara. Con dicha ranura se toman fotografías de fajas angostas de terreno, a menos que el tren óptico de la cámara esté equipado para barrer, o moverse de lado a lado, a medida que el avión avanza.

El tren óptico de la cámara panorámica está diseñado para realizar dichos movimientos.

Para que la cámara panorámica mantenga un foco claro y uniforme a medida que el avión avanza, el cuadro de la película que está siendo expuesto debe sujetarse en forma de arco, en lugar de mantenerlo plano como en las cámaras convencionales. Con la película en arco la escala fotográfica es progresivamente menor a medida que la distancia de los objetos en tierra aumenta a la izquierda o a la derecha de la trayectoria de vuelo.

En algunas aplicaciones los problemas escalares contrapesan la ventaja de la vista panorámica del campo, haciendo preferible el uso de una cámara convencional.

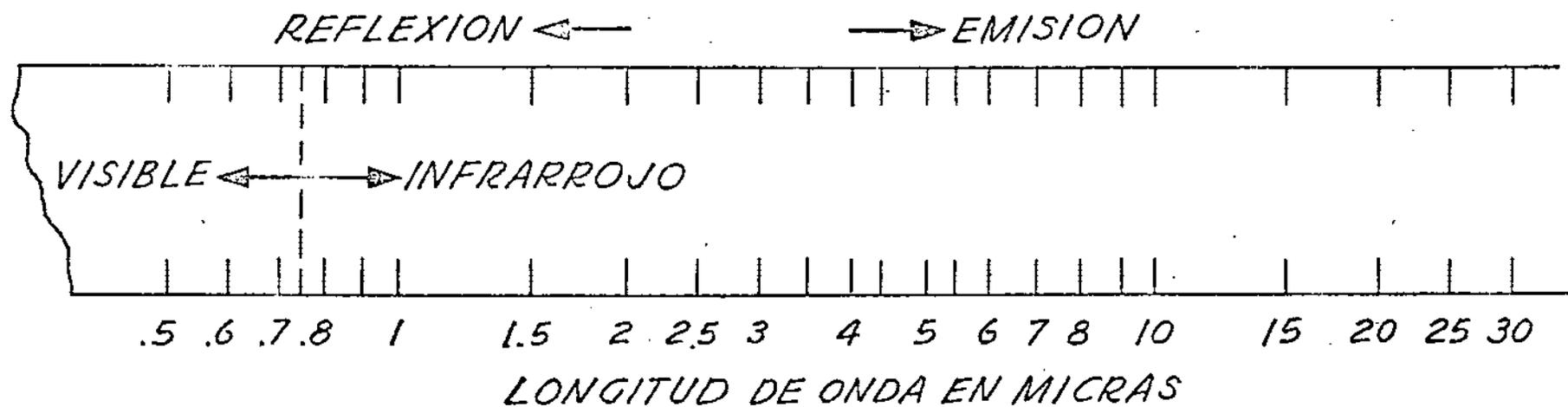
CAMARA MULTIBANDA

La cámara multibanda toma fotografías simultáneas en varias bandas del espectro. Esencialmente está provista de una variedad de lentes, - filtros y películas combinadas para obtener la máxima información de cada -- banda en particular. Una cámara de esta clase puede tener nueve de dichas combinaciones. La operación conjunta de los lentes permite a la cámara cubrir el - rango de longitudes de onda desde 0.4 a 0.9 micras, es decir, todo el espectro visible y el infrarrojo cercano. Los nueve obturadores actúan simultáneamente, produciendo nueve fotografías, cada una con valores tonales que son característicos de su porción del espectro. El estudio en las nueve fotografías de una misma área, capacitan al intérprete para determinar las características de cada - tipo de objeto. Como resultado, obtiene una gran información acerca de los re- cursos naturales del área, superior a la que obrendría de una sola fotografía.

BARREDOR OPTICO-MECANICO

El barreror óptico-mecánico satisface la necesidad de percibir la zona de infrarrojo, comunmente llamada región térmica infrarroja. La película fotográfica ordinaria, no es sensible a las longitudes de onda de la región in- frarroja térmica. Sería posible cubrir una película de material sensitivo para dichas longitudes de onda, pero entonces surgiría el problema de protección de la- película, contra la energía térmica emitida por la cámara. Así como la cámara convencional debe ser a prueba de luz para mantener la película protegida, la - cámara infrarroja térmica deberá ser a prueba de calor para proteger la película. De hecho, la caja deberá ser enfriada continuamente.

REFLEXION Y EMISION EN LA REGION INFRARROJA

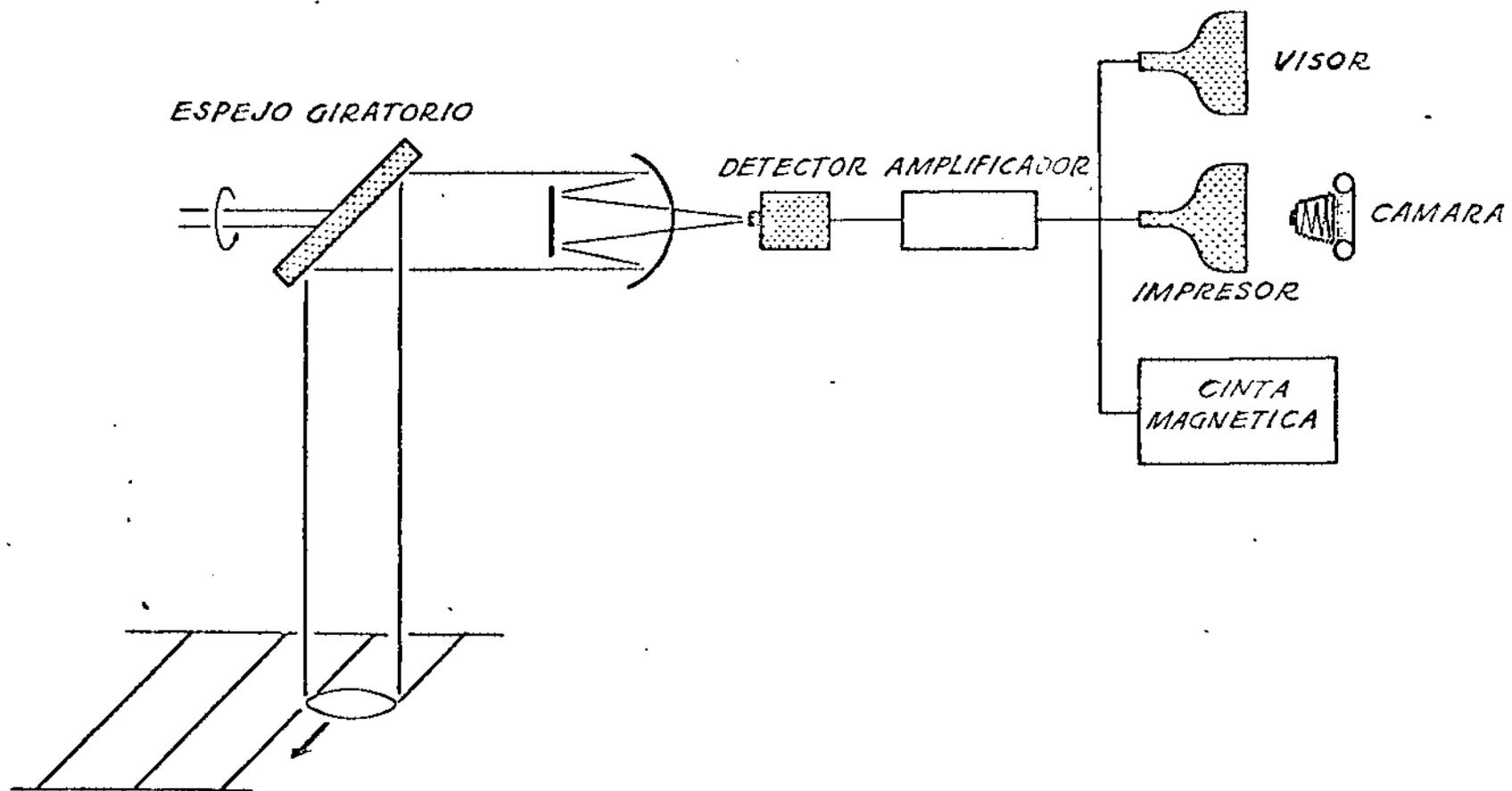


7-A

Una cámara que convierta la energía térmica directamente a la película está fuera de todo proyecto. Es posible, sin embargo, obtener imágenes fotográficas indirectas de energía térmica, y esto es lo que el barredor óptico mecánico realiza. El barredor utiliza un detector que consiste de un revestimiento de algún material sensible al infrarrojo, como el germanio con impurezas de oro o cobre, en el extremo de un conductor eléctrico. El material cubre un área no mayor que la cabeza de un alfiler. Es posible, aún en un sistema aéreo, enfriar este pequeño detector con nitrógeno líquido, para hacerlo sensible a longitudes de onda de tres a seis micras, y con helio líquido, para longitudes de onda mayores (de 8 a 14 micras).

Un espejo giratorio dirige hacia el detector la energía que emana del terreno. En todo instante el espejo "ve" únicamente un pequeño segmento del terreno. Fotones infrarrojos, incidiendo en el detector, generan una señal eléctrica, que varía en intensidad de acuerdo a la cantidad de energía térmica proveniente de la parte del terreno que está siendo "vista" por el espejo. La señal, convertida a un haz de electrones, puede generar luz visible, consistente en un punto luminoso en movimiento en un tubo de rayos catódicos. El punto varía en brillantez en relación directa a la intensidad del haz de electrones. Una imagen de luz es registrada en una película fotográfica y el analista obtiene un mapa térmico de la tierra.

El barredor no se limita a percibir la región infrarroja térmica del espectro. Puede también producir imágenes en diversas regiones del espectro, desde el ultravioleta cercano, la zona visible y la región fotográfica de --



ESQUEMA DE UN BARREDOR OPTICO-MECANICO DE INFRARROJO

infrarrojo, hasta el infrarrojo térmico. En las fotografías tomadas con este instrumento, la configuración general de las características de la tierra son esencialmente las mismas en cada banda, y así las imágenes pueden ser superpuestas o comparadas fácilmente.

EL RADAR DE VISTA LATERAL.

El radar de vista lateral, (Side Looking Airborne Radar, - SLAR) añade a la percepción remota atributos valiosos como son su utilización para cualquier condición atmosférica, sea de día o de noche, y la habilidad de penetrar en la vegetación (con longitudes de onda bastante grandes).

Debido a que el radar opera a longitudes de onda mucho mayores que el barredor de infrarrojo, presenta dificultades en lo que se refiere a la obtención de alta resolución. Estudios recientes como radar lateral-dotado de un sistema de "apertura sintética" aportan grandes mejoras en la calidad de las imágenes.

En el sistema SLAR una antena transmisora montada en el avión envía lateralmente al exterior un pulso corto de energía de microondas. La energía incide en tierra en un área semejante a un círculo y la antena receptora en el avión capta la energía reflejada. A mayor distancia entre el avión y el blanco, mayor tiempo emplea el haz en regresar al avión. Así, con una medida precisa del tiempo empleado, el radar diferencia los ecos recibidos desde varios círculos concéntricos pequeños.

Las imágenes del radar se transforman en imágenes fotográficas, de la misma manera que las producidas por el barredor óptico - mecánico. La energía de microondas es convertida en un haz electrónico - que opera un tubo de rayos catódicos, y la luz es registrada en una película. La densidad en cada porción de película expuesta, está en proporción - a la brillantez de la señal de radar recibida del punto correspondiente en - el terreno.

ESPECTROMETRO DE RAYOS GAMMA

El espectrómetro de rayos gamma opera en longitudes de onda muy cortas, un millonésimo de micra o menos comparado con mil millones de micras o más, en que operan el radar y otros sensores de microonda. El espectrómetro es excelente para localizar substancias radio-activas, aún cuando se opera a varios miles de pies de altitud.

Es por lo tanto, util en la prospección de minerales. Más aún, el espectrómetro de rayos gama puede ser diseñado para operar hasta 400 canales diferentes, o longitudes de onda diferente, Así la habilidad del instrumento para diferenciar cada uno de los minerales radio-activos es considerable.

ANALISIS DE LOS DATOS

La percepción remota de recursos naturales, se basa en el hecho, de que cada característica del terreno, emite o refleja energía electro-magnética a diferente y específica longitud de onda. El analista no puede esperar grandes logros en la forma de interpretar los datos, hasta en -

tanto se tome el tiempo necesario para determinar que patrón o clave especial deberá recibir para una característica dada. La mejor manera de lograr esto, es instalar un sitio de prueba, en el cual, cada tipo de característica que se desea identificar por percepción remota sea exhibido.

Por el estudio de imágenes multibanda obtenidas en el sitio de pruebas, el analista se capacitará para reconocer, por sus patrones de respuesta espectral únicos, las características que le son de interés en una misión de percepción.

Por lo menos un sitio de prueba deberá ser incluido en cada vuelo de percepción, con fines de calibración.

Eventualmente puede ser posible identificar todas las características en una área dada. La técnica de percepción en una variedad de longitudes de onda promete acelerar el progreso hacia el objetivo. Cuando el número de bandas espectrales usado en percepción remota aumenta, la identificación de los patrones de respuesta, para cada recurso natural, será más completa y confiable.

Al mismo tiempo que el número de bandas espectrales percibidas aumenta, el trabajo de analizar los datos obtenidos crece y puede llegar a ser excesivo, a menos que el analista cuente con el equipo que lo ayude a correlacionar las imágenes multibanda. El problema es que se confrontan varias imágenes en blanco y negro, cada una con distinto tono para

una misma característica particular. Puede encontrarse confusión si se interpreta una imagen, se pasa a la siguiente, se hace referencia de la anterior y así se continúa a través de un número de imágenes.

Una forma de tratar el problema es construir con varias imágenes blanco y negro multi-espectrales una sola imagen de color compuesto. La técnica usual es proyectar cada imagen de blanco y negro a través de un filtro de color. Utilizando una batería de proyectores en forma tal, que todas las imágenes queden superpuestas simultáneamente en la pantalla.

En esta imagen compuesta el tono o brillantez de una característica de tierra, como fué registrada en cualquier banda espectral dada, es utilizada para gobernar la intensidad de uno de los colores usados en la imagen compuesta. Variando la selección de los filtros de color, el analista puede variar los contrastes en la composición. Por este medio, encuentra que una combinación de filtros proporciona, la mejor interpretación para una característica dada, mientras que otros filtros proporcionan mejor interpretación de otras características.

Una segunda forma de correlacionar las imágenes multibanda, es la de utilizar una batería de sensores fotoeléctricos que barren simultáneamente todas las imágenes en blanco y negro. Los sensores registran grados de brillantez. Para cada punto barrido, los sensores automáticamente determinan un rasgo tonal, el cual, en teoría será identificado con algún rasgo específico establecido desde el sitio de prueba. Con estos medios el analista puede -

identificar que características detectó el equipo de percepción remota, en tierra.

En su última forma, la técnica dará una cinta grabada, indicando los objetos y condiciones encontradas en cada punto de las imágenes multibanda. El Método no ha sido desarrollado en toda su extensión, pero en su estado actual de desarrollo, es capaz de proporcionar suficiente análisis automático de imágenes, para reducir considerablemente el trabajo a realizar por el analista.

En una tercera técnica el sistema de percepción multibanda registra en una cinta magnética, más bien que una película fotográfica, la intensidad de señal, de cada objeto, en cada banda del espectro. De ahí en adelante, el procedimiento es esencialmente igual a la técnica seguida para el barrido fotoeléctrico. El tercer método proporciona un inventario completo, un momento después de que los sensores remotos han volado sobre el área de interés. También hace posible el análisis de la intensidad de la señal emanada directamente de los objetos percibidos mientras que, el segundo método de análisis es de señales que pueden haber sido degradadas, en el proceso de formación de imágenes multibanda de los objetos.

ALGUNAS APLICACIONES DE LA PERCEPCION REMOTA
INTERPRETACION CON FOTOGRAFIAS AEREAS
EN COLOR

Principales ventajas:

Para estudios detallados de suelos a escala 1: 5 000 desde el punto de vista de ingeniería y geología es mas barato usar fotografías aéreas a color natural, por los ahorros que se tienen en la fotointerpretación.

Para estudios de geología y suelos tanto para determinar derrumbes como para localizar suelos blandos; las fotografías aéreas a color son mejores. Para escalas mas grandes que 1:10.000 son mas efectivas las fotografías a color que cualquier otro tipo de película.

En varios sitios de prueba de los E. U. A., los geólogos pudieron interpretar y hacer un análisis correcto de las condiciones de los suelos y de las rocas, a escala 1:20.000, usando fotografías aéreas a color e infrarrojo en color, sin haber visitado antes las zonas de trabajo.

Según Fischer, U. S. Geological Survey, las diferencias de color permiten que ciertos rasgos geológicos sean más fácilmente identificables en las fotografías de color que en las pancromáticas y según Minard, con fotografías a color se pueden separar las unidades geomórficas en forma más adecuada.

La ventaja de las fotografías a color sobre las de blanco y negro para el mapeo geológico depende de la habilidad de diferenciar e identificar un gran número de materiales superficiales por su color.

Especialistas de E. U. A., consideran que con las fotografías aéreas a color se obtuvo una mayor información en todas las disciplinas.

Las fotografías aéreas a color son sumamente útiles para determinar los sitios en donde hacer los pozos a cielo abierto para muestreo de suelos. Con este tipo de película las fronteras entre los suelos se pueden marcar mejor y la interpretación es mas exacta.

A los ingenieros especializados en mecánica de suelos las fotografías aéreas a color e infrarrojas a color a escala 1: 20 000 les permiten identificar correctamente los tipos de suelos, desde el punto de vista de la ingeniería.

Para localizar las fallas o deslizamientos, las fotografías aéreas a color natural son las más adecuadas ya que dan mayor contraste que las fotografías pancromáticas o infrarrojas a color.

Las fotografías aéreas a color son muy usadas por los ingenieros de caminos debido a su superioridad para interpretación, ya que el número de colores que se distingue es muy superior al número de tonos de gris que se observan en una fotografía pancromática.

En la Secretaría de Obras Públicas se considera que las fotografías aéreas a color son las más adecuadas para fotointerpretación.

Según H. T. Rib, Purdue University E. U. A., la película que proporciona mas datos sobre suelos y sus condiciones es el color natural (en transparencias). Se obtiene mayor información con las variaciones de tonos que con cualquier otro tipo de película. También el color natural permite el mayor aumento y se puede evaluar la mayor cantidad de detalle para una escala dada.

En Australia, en las disciplinas de uso de la tierra, estudios forestales, irrigación, minería, geomorfología, etc., se han encontrado más útiles las fotografías aéreas a color que las fotografías pancromáticas.

Para el Departamento de Agricultura de E. U. A., para estudios forestales, tanto las fotografías aéreas a color como las de infrarrojo son superiores al blanco y negro.

La interpretación de tipos de vegetación es más exacta con fotografías a color que con fotografías pancromáticas. El intérprete además necesita datos sobre el vigor de las plantas y el probable rendimiento de la cosecha; y con las fotografías a color le será fácil conseguir información para tal fin.

Para realizar un inventario de la cantidad de madera en una zona lo mejor es usar fotografías aéreas a color o infrarrojas a color. Para los estudios de suelos es superior el uso de fotografías a color o infrarrojo a color.

Las fotografías aéreas a color son muy útiles para estudios de contaminación de cuerpos de agua y obtener información bajo el agua.

En estudios del recurso agua, la fotografía aérea a color es usada por su capacidad de penetración del agua.

Las fotografías aéreas a color e infrarrojo a color combinadas son muy útiles en los estudios de contaminación de las aguas.

En la Secretaría de Recursos Hidráulicos se considera que las fotografías aéreas en color o infrarrojas a color son las mejores, ya que el número de colores que puede distinguir el ojo humano es mucho mayor

que el número relativamente reducido de los tonos de gris en las películas pancromáticas. Específicamente para suelos son mejores las fotografías aéreas en color.

Principales limitaciones de las fotografías aéreas en color:

- a) Costo de tomas y de película mayor que no siempre se puede compensar con lo que se gana al tener mayor información.
- b) Mayores problemas de exposición que con películas pancromáticas.
- c) El film y las copias no tienen la estabilidad necesaria si las fotografías se van a usar como un record permanente.
- d) A alturas grandes hay un cambio de color (poco contraste), excepto para días muy claros, que son raros.
- e) Los fotointérpretes entrenados con fotografías pancromáticas se llevan un cierto tiempo para usar con ventaja el elemento de color.

Interpretación con fotografías aéreas infrarrojas en color:

Principales ventajas: La principal ventaja al usar las fotografías aéreas infrarrojas en color es la localización rápida y segura de la vegetación. Para estudios de suelos esta ventaja no es definitiva.

Las fotografías de infrarrojo en color proveen al fotointérprete con mayor información sobre la cubierta vegetal que las fotografías en blanco y negro y le dan mayor seguridad en la interpretación.

La interpretación realizada con fotografías aéreas de infrarrojo en color requieren de un veinticinco por ciento del tiempo menos del que se necesita para hacer inventarios de vegetación que con fotografías aéreas en blanco y negro.

Las fotografías en infrarrojo de color se consideran superiores para reconocimiento de especies vegetales.

Algunas enfermedades de la vegetación (no todas) se pueden localizar con fotografías aéreas infrarrojas a color.

Otra ventaja de las fotografías infrarrojas a color es que muestra las condiciones relativas de humedad mejor que las fotografías pan cromáticas.

En estudios del recurso agua, la fotografía infrarroja a color es usada por su excelente discriminación de los indicadores del agua, tales como la vegetación.

Las fotografías aéreas a color natural e infrarrojo a color combinadas son muy útiles en los estudios de contaminación de las aguas.

Para determinar las áreas con exceso de humedad lo mejor son las fotografías infrarrojas a color.

Para realizar un inventario de la cantidad de madera en una zona lo mejor es usar fotografías aéreas a color o infrarrojas a color.

Para el Departamento de Agricultura de E. U. A., para estudios forestales, tanto las fotografías aéreas a color como las infrarrojo son superiores al blanco y negro.

Las principales desventajas son:

- 1.- Con el infrarrojo a color se produce una exageración de tonos, sombras y contrastes.
- 2.- El infrarrojo no muestra detalles bajo las superficies de agua.
- 3.- Debido a la alta sensibilidad de los materiales no se puede almacenar la película por un tiempo largo y se deberá procesar inmediatamente después de la exposición. La película de infrarrojo es muy sensible a los cambios de temperatura.
- 4.- Tienen un costo más alto que las fotografías pancromáticas.

Comparación entre las fotografías aéreas a color y las pancromáticas.

Al comparar las fotografías aéreas a color y las infrarrojas en color contra las fotografías pancromáticas, se llega a las siguientes conclusiones:

- 1.- Las fotografías a color proporcionan una forma más rápida y segura para identificar el uso de la tierra y los rasgos culturales.

2.- Las fotografías aéreas a color permiten una mejor - diferenciación de suelos y una mejor identificación del tipo de cultivos.

3.- Las fotografías aéreas a color le dan al fotointérprete más confianza en sus decisiones.

4.- La mejor fuente de información para estudios de suelos es la fotografía aérea a color natural. Permite tener una interpretación más rápida y más exacta. El costo más alto de color se compensa con las economías que resultan del uso de los mapas detallados de suelos obtenidos con fotos a color.

5.- Las fotografías aéreas a color tomadas a alturas bajas serán mejores y se podrán interpretar más fácilmente que las fotografías aéreas tomadas a mayor altura, en donde el contraste se ha disminuido por la columna de aire que contiene polvo y calina. Aún así las fotografías aéreas a color tomadas a mayor altura permitirán obtener mayor información del terreno que una fotografía que solo registra los tonos de gris.

6.- Para escalas de 1:20 000 a 1:60 000 se tiene el problema de que no es fácil diferenciar los colores, debido a la pérdida de contraste de color, que es causada por absorción y dispersión de la luz cuando hay polvo y calina. Este problema no se presenta en días excepcionalmente claros.

7.- Aunque los colores de las fotografías aéreas a color no sean los mismos que los del terreno, las variaciones de color son muy importantes para la fotointerpretación.

8.- Las fotografías aéreas en color ofrecen un contraste visual que es más fácil de interpretar que en las fotografías en blanco y negro.

9.- Las fotografías infrarrojas en color son superiores para la identificación de cuerpos de agua, especialmente para separar zonas azolvadas, ya que definen muy bien los contactos de los cuerpos de agua.

10.- Las fotografías infrarrojas en color son las mejores para diferenciar la vegetación, el suelo sin cultivar y las cosechas incipientes.

11.- Las fotografías aéreas infrarrojas a color también pueden usarse para discriminar rasgos del terreno: en tal forma que un fotointérprete que conoce la zona puede interpretar las fotografías con exactitud y confianza.

12.- Con las fotografías en infrarrojo se logra una mejor penetración en las zonas con sombras, lo que permite una mejor separación de especies vegetales.

APLICACIONES DE FOTOGRAFÍAS TOMADAS DESDE SATELITES

Es posible hacer una interpretación de las fotografías e imágenes tomadas desde satélites que pueden ser usadas para el estudio y manejo de los recursos naturales.

Se puede hacer una interpretación geológica para diferenciar tipos de rocas, estructuras, fallas, tipos de suelos; se pueden señalar además diferentes tipos de vegetación, etc.

Técnicas avanzadas sobre satélites y nuevas formas de aerotriangulación en el espacio que se están desarrollando han logrado una reducción en el apoyo terrestre con fines cartográficos.

El uso de fotografías tomadas desde satélites con fines geográficos ha permitido corregir errores en cartas ya existentes y hacer cartas en zonas en donde no se cuenta con ellas.

Se están usando con éxito para estudios y predicciones meteorológicas los satélites enviados con tal fin.

En julio de este año se lanzó al espacio el satélite ERTS-1 que está enviando imágenes de la tierra en diferentes longitudes de onda. México tiene 14 sitios de prueba en donde los técnicos de diferentes dependencias del gobierno están realizando investigaciones para el mejor uso de estos materiales.

BARREDOR DE INFRARROJO

Con los barredores ópticos-mecánicos de infrarrojo se obtienen imágenes de la temperatura de la superficie terrestre, de tal forma que es factible el conocer en forma cuantitativa la diferencia de temperatura entre dos puntos de interés.

Las principales aplicaciones de este sensor son las -
siguientes:

- Localizar las zonas de falla de la corteza terrestre.
- Estar pendientes y vigilar los volcanes activos.
- Estudios geológicos para determinar los diferentes tipos de roca.
- Estudios para localizar petróleo .
- Localizar las zonas de suelos con materia orgánica.
- Localizar las fuentes de agua superficiales y subterráneas.
- Localizar zonas de energía geotérmica.
- Efectuar estudios de vegetación.
- Realizar estudios de tránsito y de estacionamiento.
- Realizar estudios sobre el uso de la tierra.
- Detectar las zonas de contaminación.
- Localizar diferencias de temperaturas en el agua.
- Realizar censos de animales.
- Localizar enfermedades en las cosechas y en los árboles.
- Identificación de los diferentes tipos de cultivos.
- Estudiar la transpiración y evaporación del agua en estudios agrícolas e hidrológicos.
- Investigar el contenido de agua de los suelos.
- Localizar las zonas de incendios.

RADAR

Con respecto al radar su uso se considera adecuado para estudiar la geología regional de una zona y determinar los sistemas de fallas y fracturas,

así como las estructuras geológicas.

Se recomienda usarla en los casos en que un cubrimiento de nubes durante gran parte del año no permite obtener fotografías aéreas. En el caso de México se puede usar con ventaja en el sureste del país.

Un ejemplo de la aplicación del radar para resolver problemas de ingeniería se tiene con el levantamiento hecho en el Tapón del Darién, en Panamá. La imagen de radar ha sido usada para la localización de la Carretera Panamericana en esa zona, que no ha sido posible construir, por falta de datos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

APLICACIONES DE LAS TECNICAS DE LA FOTOINTERPRETACION

A LA INGENIERIA CIVIL
(continuación)

Ing. Jorge F. Vaca Hinojosa *

LOCALIZACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.

Para fines de este estudio los materiales de construcción son - aquellos que ocurren como resultado de procesos naturales y que pueden ser usados en la construcción con un ligero tratamiento o pequeñas modificaciones de tipo físico.

Se incluyen en esta categoría a la roca, grava, arena, limos, arcillas inorgánicas, materiales para relleno bien graduados, madera y -- otros materiales especiales.:

Para usar estos materiales el ingeniero primero deberá localizar los, después deberá estimar su cantidad y determinar si se pueden aplicar para el uso deseado. Se necesita además evaluar su accesibilidad. Frecuentemente deberá analizar la economía de su explotación.

La fotointerpretación puede ser usada con éxito para localizar -- sitios con materiales que tengan las características deseadas.

La técnica consiste en una aplicación inteligente de los conocimientos de geología, geomorfología y suelos.

Sub-jefe del Depto. de Fotointerpretación (CETENAL)

Se debe hacer uso del concepto de unidad geomórfica mencionada en la clase anterior. Al final de este capítulo se dá una lista de los mate riales que se pueden encontrar en cada una de las unidades geomórficas de importancia para la ingeniería.

Con las fotografías aéreas se puede estimar la cantidad de los ma teriales que se presentan en los taludes y en bancos sobre el terreno como fragmentos de roca, grava, arena, limo y arcilla.

Las cantidades de madera también pueden estimarse a partir de - las fotografías aéreas.

Si los bancos de materiales están enterrados o únicamente afloran se podrá estimar únicamente el área superficial que ocupan. Sin embargo en estos casos es más fácil delinear o al menos predecir, las fronteras - bajo la superficie del banco por medio de fotografías aéreas que trabajan do por medios terrestres. Esto es debido a la perspectiva general y geológica que proporcionan las fotografías.

El acceso a un banco puede evaluarse por medio de la fotointerpre tación como se indicó en el capítulo anterior sobre elección de ruta.

Se deberá además estimar la forma de ataque del banco. Habrá que estudiar el espesor del despalme, los tipos y densidad de la cubierta vegetal, la altura máxima de los frentes de trabajo, posibilidades de derrum - bes, pendientes de los taludes, la profundidad del nivel freático, las --

posibles filtraciones, el contenido de agua natural, el tipo de equipo a usar, si se deben de emplear explosivos y de que tipo, etc. La calidad del banco dependerá de la estratificación y variación de los materiales en sentido horizontal y vertical, de su graduación, de las características mineralógicas, químicas y físicas de los materiales. Se deberá estudiar si el material está intemperizado, si no presente reacción para usarse en concretos, angulosidad, resistencia al desgaste, etc.

La fotointerpretación solo dá valores cualitativos tanto para la forma de ataque como de la calidad de los materiales del banco. La determinación de los parámetros indicados en los párrafos anteriores deberá hacerse por medio de muestreo en sondeos y pozos a cielo abierto. Las muestras deberán enviarse al laboratorio.

Se pueden usar las fotografías aéreas para estimar las condiciones de trabajo y la calidad de los materiales entre dos diferentes bancos, indicando prioridades de estudio, ya que se puede señalar cual de los bancos ofrece mejores condiciones. Se pueden usar para la localización de los sondeos y pozos a cielo abierto en los bancos seleccionados.

La fotointerpretación presta poca ayuda para analizar la economía de la explotación del banco. Sin embargo, como el interprete ha usado las fotografías en otras etapas del estudio, tiene mas información y datos comparativos para hacer los cálculos.

Se puede resumir el valor de la fotointerpretación para el estudio de materiales de construcción en la localización, en la ubicación y en la evaluación del acceso.

También proporcionan información que indica la forma de ataque del banco y la calidad de los materiales, indicando por lo tanto la prioridad de la investigación de campo. Sin embargo, la fotointerpretación por si sola no resuelve el problema de la forma de ataque y de la calidad.

MATERIALES MAS COMUNES ASOCIADOS A LAS UNIDADES GEOMORFICAS

En una gran parte la localización de bancos de materiales depende de la correcta identificación de las unidades geomórficas. A continuación se indican cuales son los materiales mas comunes asociados a las diferentes unidades.

1.- Rocas Igneas

1.1.- Rocas intrusivas. Granito y rocas asociadas.

Como material superficial se puede tener afloramiento de roca o una cubierta muy profunda de suelos, dependiendo básicamente de las condiciones climáticas y el contenido de cuarzo y feldespato de los granitos. El perfil de suelos que se desarrolla en suelos húmedos consiste de unos centímetros de arena limosa sobre varios metros de arcilla arenosa compacta. Bajo la arcilla encuentran fragmentos de roca en cantidades mayores hasta que se llega a la roca sana.

En climas áridos se encuentran suelos mas arenosos y no plásticos.

Se necesitan explosivos para atacar la roca. El granito intemperizado es fácil de atacar pero los fragmentos de roca residuales de gran tamaño necesitarán de equipo pesado para moverse. Las rocas graníticas son una fuente muy pobre para agregados de concreto ya que se intemperizan rápidamente. Proporciona buen material para bases y subbases.

1.2.- Rocas Intrusivas.

1.2.1.- Basalto

Se encuentran arcillas limosas o roca sana. La profundidad del suelo depende de la edad del flujo y de las condiciones climáticas. Los suelos más profundos se encuentran en zonas tropicales. Cuando se desarrolla una capa de suelo se forman arcillas plásticas que deberán ser manejadas con cuidado.

La estructura columnar de la roca facilita la extracción. Las variedades densas de esta roca son buenas para agregados ya que las variedades porosas toman un alto porcentaje de asfalto y de humedad.

1.2.2.- Piroclásticos y flujos interestratificados.

Cuando se encuentran los flujos de lavas en la superficie se tienen arcillas limosas o roca sana dependiendo de la edad del flujo y del clima.

El desarrollo de los suelos alcanza su máximo espesor en zonas tropicales húmedas. Donde las brechas o las tobas predominan se forma un perfil de suelos arcillosos con una delgada capa de arcilla limosa en la superficie.

El ataque de la roca cuando predomina el flujo es a base de explosivos y en donde predominan las tobas el ataque puede hacerse con arado.

Los tipos densos de la roca andesítica proporcionan buenos agregados. Las rocas piroclásticas por lo general no son buenos materiales para agregados.

1.3.- Volcanes y diques.

Generalmente los materiales que se encuentran en los volcanes son cenizas, tobas, brechas y rocas basálticas. Los diques están formados generalmente por materiales resistentes; normalmente son buenos para agregados.

2.- Rocas Sedimentarias.

2.1.- Areniscas.- Solamente se desarrolla una capa muy delgada de suelo arenoso en este tipo de rocas.

Las areniscas se tienen que atacar con explosivos aunque las fracturas y las juntas de la roca pueden facilitar su ataque.

Cuando la arenisca está formando capas gruesas que están bien cementadas son muy útiles para agregados y para mampostería.

2.2.- Lutitas.- Se desarrollan arcillas limosas sobre el material parental. El perfil de suelos en climas áridos es muy delgado y en climas húmedos llega a tener un metro o mas de espesor.

Esta roca es generalmente muy suave y tiene capas muy delgadas lo que la hace poco útil para agregados y cualquier otro uso en la construcción.

2.3.- Calizas.- En zonas húmedas se presenta un perfil formado por suelo limoso de 50 cm. a 1 metro de espesor sobre arcilla limosa de 3 a 5 metros de espesor. La arcilla es plástica aunque presenta una buena permeabilidad en su estado natural. En zonas áridas el suelo es -- mucho más delgado pero tiene características similares.

El material superficial puede excavar se fácilmente pero la roca requiere de explosivos. La cabeza ofrece un excelente fuente de materiales para agregados y para mampostería.

2.4.- Carst.- En los montículos de las zonas de carst se encuentra la roca aflorando y en las partes bajas se encuentran materiales finos que han sido arrastrados por el agua. El suelo está formado por partículas arcillosas.

Se necesita atacar la roca con explosivos aunque se puede avanzar bastante con un pico. Los montículos son una buena fuente de materiales

para agregados en la construcción de carreteras y aeropuertos. Sin embargo, no se encuentra material intemperizado para su uso como agregado de concreto.

2.5.- Coral.- En la mayor parte de las zonas donde se encuentra esta roca no se encuentran suelos, ya que el coral no ha estado sujeto suficiente tiempo al intemperismo. Cuando se desarrolla un suelo éste es de naturaleza arcillo-limosa y plástica, pero se drena rápidamente.

El coral se puede atacar por medio de bulldozer o palas y es un material muy bueno para la base de carreteras y aeropuertos.

2.6.- Rocas interestratificadas en posición horizontal.- En las zonas donde afloran las areniscas se encontrarán suelos muy delgados con muchos fragmentos rocosos. Las características de los suelos cuando se encuentran lutitas y calizas en la superficie ya se han mencionado en párrafos anteriores.

Las capas de caliza son buenas fuentes de agregados, o en su caso se pueden usar areniscas. Generalmente no se encuentran gravas.

2.7.- Rocas interestratificadas plegadas.- Se forma un suelo muy delgado en las partes altas y en suelo plástico profundo en los valles sobre las lutitas y las calizas. En la base de las partes altas se puede encontrar una acumulación de bastante espesor de material de talud.

La excavación en las partes altas requerirá de explosivos. Las mejores fuentes de agregados son las calizas o las areniscas densas y cementadas.

3.- Rocas Metamórficas

3.1.- Gneis.- En zonas húmedas se forma un suelo profundo de mediana plasticidad. En zonas áridas se desarrolla un suelo más delgado y de textura mas gruesa.

La roca requiere de explosivos para su ataque. El gneis es un material adecuado para agregados, aunque no tan durable como el granito. Se usa también con propósitos decorativos.

3.2.- Esquisto.- Como resultado de su estructura finamente laminada, los esquistos se intemperizan rápidamente produciendo suelos de gran espesor, generalmente arcillosos en climas húmedos y suelos más delgados pero de características similares en zonas áridas. Debido a sus características estas rocas no deben usarse como material de construcción.

3.3.- Pizarra.- El suelo que se forma es muy delgado y se presenta mezclado con fragmentos de pizarra.

La roca se necesita atacar con explosivos aunque la foliación permite su ataque. La pizarra se usa en ocasiones como material para techar. No tiene uso como agregados en la construcción.

3.4.- Serpentina. El material superficial varía de arcilla limosa a roca. La profundidad del suelo depende de las condiciones climáticas. En zonas húmedas el suelo varía de uno a tres metros de espesor y en zonas tropicales se pueden encontrar más de 10 metros de suelo en terreno plano. La roca es fácil de excavar debido a sus características estructurales. Este material no debe usarse en la construcción porque presenta muchos planos de deslizamiento.

4.- Materiales Depositados por el agua.

4.1.- Planicies de inundación.- La profundidad de estos materiales no consolidados varía con el tamaño del valle del río; mientras mayor sea el valle, los suelos serán mas profundos. Generalmente el depósito se presenta como una serie de capas estratificadas de limos, arenas, y posiblemente gravas a profundidad.

En las planicies de inundación en donde se forman meandros y en las barras de los ríos se encontrarán depósitos de arenas gruesas. En las planicies de inundación en donde el río tiene sus bordos bien formados se encontrarán materiales finos en toda el área con excepción de arenas finas en los bordos naturales o en el fondo del río. En esta unidad generalmente no se encuentran gravas gruesas pero se pueden encontrar arenas limpias y gravas finas.

4.2.- Terrazas.- Los materiales superficiales de las terrazas tienen una gran variedad en profundidad, en propiedades y en textura. Lo

normal es encontrar de uno a dos metros de suelo sobre arenas y gravas, pero se pueden tener suelos de 10 o mas metros de profundidad. - Los suelos superficiales pueden consistir en arcillas, arcillas limosas, limos o limos arenosos , bajo estos suelos se encuentran mezclas de gravas y arenas, con algo de limo y arcilla aunque generalmente en pequeña proporción.

La excavación no ofrece ninguna dificultad. Donde el despalme no es muy grueso se pueden explotar económicamente bancos de materiales granulares para agregados. Sin embargo, generalmente se necesitarán lavar y cribar antes de que se puedan usar como agregados para concreto.

4.3.- Valles rellenados.- Son depósitos profundos de materiales sueltos o parcialmente cementados. Se presenta un pequeño desarrollo del suelo en las zonas áridas y el material varía de arenas gruesas y gravas cerca de las montañas a limos finos y arcillas en la parte central del valle. Se encuentran por lo general suficientes fuentes de agregados en los valles aunque por lo general los materiales bien graduados son raros. Mezclando materiales de la misma unidad se puede tener cualquier graduación que se desee.

4.4.- Aluvión Continental.- Se desarrolla un suelo delgado y limoso sobre material estratificado y semi consolidado de todas las texturas. En general hay una falta de buenos materiales de construcción. Sin embargo, se pueden encontrar algunos depósitos de grava en los ríos cercanos a las montañas. La gran profundidad del acarreo sobre la roca hace -

que quitar ese despalme no sea económico.

4.5.- Abanicos Aluviales.- En regiones áridas se encuentran arenas y gravas no consolidadas menores de 3 cm. En éstos abanicos, se encuentran bolsones de limos y arcillas. Normalmente hay grandes bloques de roca mezclados con los otros materiales. Por lo general los materiales mas gruesos se encuentran cerca del origen del cono, y los materiales más finos cerca de la parte plana. En las regiones húmedas, en los conos intemperizados se encuentran porcentajes mas altos de limos y arcillas.

Los conos de talud están compuestos de fragmentos de roca y son buenos lugares para instalar plantas de trituración.

Los conos en general son una excelente fuente de agregados para relleno o concreto. Generalmente estan compuestos de materiales gruesos limpios y angulosos. Las bolsas de limo y arcilla pueden estar mezcladas con partículas mas gruesas que proporcionan una mezcla que se puede compactar muy bien.

Los materiales finos para mezclar con otro tipo de materiales gruesos se encuentran cerca de la parte baja.

4.6.- Deltas.- Los deltas son grande depósitos de materiales no consolidados. Son depósitos estratificados de material que varia desde arcilla a grava. En los deltas en forma de arco se encuentran arenas gruesas y gravas, y en los deltas de pata de ave se encuentran limos y arcillas.

Los deltas en general son unas fuentes pobres de materiales bien graduados. Algunos deltas en forma de arco se pueden utilizar como materiales para relleno o agregados para concreto.

4.7.- Fondos de lago.- Son depósitos muy gruesos de materiales no consolidados y están compuestos de arenas finas, arcillas y limos mezclados con alcalis. Los limos, las arcillas y las sales abundan cerca de la superficie mientras que las arenas y las gravas se encuentran a profundidad. Generalmente no se desarrollan suelos debido a las condiciones de climas áridos. Los fondos de lagos y las playas no contienen materiales para agregados sin embargo, cerca de las orillas de las playas se encuentran conos aluviales que pueden proporcionar materiales adecuados para la construcción en la zona. Los materiales que se pueden obtener de los fondos de los lagos se pueden utilizar como cementante en cuanto se va a compactar.

4.8.- Líneas de playa.- Generalmente desarrollan un perfil de suelos delgados y están formadas principalmente por arena y grava. Un examen cuidadoso de las partes altas dará más detalle acerca de los materiales, por ejemplo: las líneas formadas generalmente por arena se presentan erosionadas por el viento y presentan zonas claras de fácil identificación.

En contraste, las líneas de playas formadas por arenas y gravas se conservan en buen estado. Tanto las líneas de playa pequeñas como las grandes son magníficas fuentes de arena y grava. Una combinación de estos

materiales con los suelos finos encontrados en las zonas bajas proporcionan buenas mezclas para caminos secundarios.

4.9.- Planicies Costeras.- Los suelos de planicie costera son muy variables, están compuestos de capas interestratificadas de arcillas, limos y arenas. Las propiedades de los suelos cambian rápidamente en distancias verticales muy cortas aunque son uniformes horizontalmente en grandes áreas.

Es común encontrar en las planicies costeras material arenoso y fino con graduación uniforme. En ocasiones es necesario transportar algunas arenas y gravas de graduación escogida para formar mezclas. También es posible encontrar depósitos de arcilla arenosa que puede usarse en la construcción de carreteras. La grava es generalmente escasa aunque se puede encontrar en líneas de playa tierra adentro.

4.10.- Zonas sujetas a mareas (Albuferas).- En estas zonas se tiene materia orgánica en el suelo. Se pueden encontrar limos y arcillas lejos de los canales o en zonas elevadas entre canales. En el fondo de los canales se depositan limos y arenas. Los sedimentos están mezclados y varían de lugar a lugar. Las zonas de ciénagas están formadas de materiales orgánicos en descomposición con profundidad de 2 a 5 metros. Las zonas con influencia de mareas tienen poco valor como material de construcción debido al alto contenido de materia orgánica.

4.11.- Ciénagas y pantanos.- Están formados por arcillas y limos con materia orgánica lo que las hace inútiles como bancos de materiales.

5.- Materiales depositados por el viento.

5.1.- Dunas.- Las dunas están formadas generalmente de arena cuarzosa. La composición promedio de las dunas es un material del cual el 98% pasa la malla No. 40 y el 10% pasa la malla No. 200. Esta variación tan pequeña en los granos de arena sumado al hecho de que son redondeados, restringen el uso de estos materiales.

5.2.- Loess.- Los depósitos de loess son muy uniformes en su textura de suelos y en sus propiedades. El suelo está formado del 50 al 90% por limo.

Se puede usar en mezclas para lograr la graduación necesaria aunque es necesario transportarlo grandes distancias.

ESTUDIOS HIDROLOGICOS

El especialista en hidrología tiene el problema de determinar -- "cuanta agua y de que tipo de ocurrencia estará en un punto dado, en un tiempo determinado". El campo de la hidrología se puede separar en 5 grandes divisiones que son:

Precipitación

Evapotranspiración e intercepción

Filtración

Agua subterránea

Escurrimiento

PRECIPITACION. - Las técnicas de la fotointerpretación tienen pocas aplicaciones en el estudio de la precipitación. Se pueden sin embargo - localizar en las fotografías aéreas y en mosaicos las estaciones meteorológicas.

EVAPOTRANSPIRACION E INTERCEPCION. - Las pérdidas de agua se - pueden definir como la diferencia entre la precipitación y el escurrimiento. Son causadas por evaporación de la tierra y de las superficies de agua existentes, por transpiración por las plantas, por intercepción en las hojas de dichas plantas y por infiltración que va a alimentar los acuíferos - subterráneos.

Por medio de la fotointerpretación es posible en forma rápida y - económica marcar las superficies de lagos, de arroyos y de ríos, ciénagas y pantanos, que tienen una oportunidad de evaporación de un ciento - por ciento.

Estas áreas cuando se miden con cuidado pueden influir en un alto porcentaje en los cálculos de evaporación en una cuenca ya que pueden evaporar mas de lo que se puede precipitar en ellas. Este efecto combinado - requiere una medida cuidadosa de las áreas que producen una gran evaporación y a menos que existan mapas detallados, estas medidas solamente se pueden hacer por medio de las fotografías aéreas .

La interpretación también se puede usar para separar áreas que - tienen diferentes tipos de vegetación y diferentes densidades y marcar la - posible acción de transpiración e intercepción de las plantas.

A través del estudio detallado de las unidades geomórficas y conociendo la relación roca-suelo-planta, se pueden hacer estudios de pérdidas de agua con el grado de detalle que se desee. Es necesario después realizar una verificación de campo en forma detallada.

INFILTRACION .- Para tener datos sobre infiltración es necesario conseguir información realista. Por medio de la fotointerpretación es posible dividir una zona en sus varios componentes de infiltración. Esta división se puede hacer inicialmente sobre la base de las condiciones de roca, (profundidad, textura, etc.), cubierta vegetal, uso de la tierra, red de drenaje superficial y topografía. Se pueden señalar también los factores que afectan la recarga de un acuífero subterráneo. Una vez realizada la separación en gabinete por medio de estereoscopia se deben escoger áreas representativas para checarlas en el campo y si es necesario hacer pruebas de infiltración en dichas áreas.

AGUA SUBTERRANEA.- La distribución de las reservas del agua subterránea y/o de los acuíferos está controlada principalmente por las condiciones geológicas. El estudio de estos factores requiere de una interpretación de la geología superficial, más un razonamiento deductivo y gran experiencia para estimar los rasgos del subsuelo.

Por fotointerpretación se pueden delimitar en los materiales consolidados los siguientes rasgos: tipo de la roca, si es porosa o impermeable, masiva o estratificada. Si es masiva, si tiene juntas, fracturas o fallas. -

Si está estratificada se indica si las capas tienen un fuerte echado o están horizontales.

En el caso de los materiales no consolidados las técnicas de la fotointerpretación proporcionan datos de las características geomorfológicas, la historia de la depositación y su formación, la presencia o ausencia de arena permeable o capas de grava y su posible profundidad, la expresión topográfica de las estructuras subterráneas y la presencia de indicadores del agua como la vegetación.

Si la información obtenida por fotointerpretación es estudiada por un experto en hidrología subterránea, el resultado deberá ser una evaluación correcta de la potencialidad del área bajo estudio para explotar el agua subterránea.

El contar con datos adicionales como mapas geológicos, edafológicos, climatológicos y reportes hidrológicos, además de informes sobre el funcionamiento de algunos pozos que existan en la zona obviamente llevará a un detalle más acertado de las condiciones de la zona. Sin embargo por medio de fotointerpretación se puede hacer una evaluación inicial de gran ayuda cuando no existen otros datos. Además puede servir como una base adecuada para formular un programa de exploración de una área desconocida.

ESCURRIMIENTO. - Es probablemente el elemento más importante de la hidrología. El escurrimiento causa las inundaciones, la erosión del suelo, problemas de drenaje y de sedimentación.

Proporciona el agua para abastecimiento de las poblaciones, - industrias, irrigación, generación hidroeléctrica, navegación y recreación. El agua subterránea es también importante para cada uno de estos propósitos a veces en forma dominante, pero el escurrimiento superficial deberá siempre considerarse.

Para cuencas pequeñas, menores de 250 Km. cuadrados se puede usar el método "racional", que relaciona el escurrimiento con factores tales como la vegetación, tiempo de concentración, áreas, e intensidad de la lluvia. En algunos casos se introducen factores adicionales - como son la forma de la cuenca, pendientes y rugosidad del canal.

El método analítico más común para evaluar el escurrimiento se basa en los informes proporcionados por las estaciones de aforo.

Las principales aplicaciones de los métodos de la fotointerpretación al estudio del escurrimiento son: la formación de la red de drenaje superficial, la determinación de la cuenca, la geometría del río, la determinación de los complejos de infiltración y el estudio de sedimentación. La información obtenida de estas determinaciones puede usarse para preparar una estimación del escurrimiento por los métodos arriba mencionados.

Otra aplicación importante de la fotointerpretación es la selección del sitio de las estaciones de aforo para un estudio de campo mas completo. Se pueden localizar zonas con ancho uniforme y en una parte recta del río, con el fondo de roca y con condiciones estables de las márgenes. El sitio debe estar libre de sedimentación o de influencias de los tributarios.

Si el estudio principal del proyecto es seleccionar las estaciones de aforo y se van a tomar fotografías aéreas, se deberá escoger una escala relativamente grande. Sin embargo como con estas fotografías se estudiaría el régimen del río y la sedimentación se propone una escala 1:10 000 a 1:15 000.

En los casos en que los gradientes del río sean pequeños y los detalles complejos, se deberá usar una escala de fotografías de 1: 5000 a 1: 10 000. Para realizar estos estudios si se cuenta ya con fotografías tomadas para otros fines, las escalas de 1:20 000 a 1: 25 000 pueden ser usadas satisfactoriamente.

ESTUDIOS DE SUELOS CON APLICACIONES A LA INGENIERIA

Se pueden hacer estudios de suelos con fines agrológicos, de uso potencial, de ingeniería civil, etc., En este caso nos referiremos únicamente a las aplicaciones de la fotointerpretación para estudios de suelos en la ingeniería civil.

Como ya se mencionó en la parte correspondiente a materiales de construcción, el ingeniero deberá identificar las unidades geomórficas, para conocer el tipo de materiales que se pueden encontrar en cada una de ellas y los problemas que se pueden presentar según la obra por construir.

De los elementos de la fotointerpretación que se usan para la identificación de la unidad geomórfica, la erosión es indicativa del tipo de suelos.

El estudio se hace por medio del análisis de las cárcavas. -
 Las cárcavas son el resultado de la erosión del suelo por el escurri-
 miento superficial del agua. Se desarrollan donde el agua no puede in
 filtrarse en el terreno sino que fluye en la superficie del suelo formando
 pequeños riachuelos. Las cárcavas tienen una forma característica se
 gún el material parental. Debido a este hecho, ciertos tipos de cárcava-
 vas se asocian con determinadas unidades geomórficas y condiciones -
 del suelo. Para el fotointerprete el reconocer un determinado tipo de -
 cárcavas significa que se puede interpretar correctamente el tipo de -
 suelo.

Los materiales finos como las arcillas y los limos que son rela-
 tivamente impermeables tienen muchas cárcavas desarrolladas en su -
 superficie, mientras que las arenas y las gravas siendo bastante permea-
 bles tienen poca o ninguna cárcava. Hay otros factores que gobiernan el
 desarrollo de las cárcavas en una zona, como son el clima, la vegetación,
 la pendiente del terreno y prácticas locales de cultivos. Sin embargo, -
 la intensidad de las cárcavas no es tan importante para revelar las condi-
 ciones del suelo como es la forma y el gradiente de cada una de ellas. -
 Es necesario que haya cárcavas por estudiar para identificar los tipos de
 suelos. Si no hay cárcavas se deberá recurrir a otro de los elementos de
 la fotointerpretación como es el cono, el cuál se mencionará más adelante.

En todos los casos una cárcava sirve como un indicador confiable
 del tipo de suelo superficial. Cuando la cárcava corta el suelo superfi-
 cial también dá un indicador de material que esta bajo de él. Deberá -

recordarse que el análisis de una cárcava en particular indica las características del suelo en la zona inmediata a ella únicamente. Esta área pueden incluir toda la zona dentro de las fronteras de una misma unidad geomórfica pero no deberá incluir terreno con topografía u otras características completamente diferente.

La cohesión y el tamaño de las partículas del suelo tienen una gran influencia en la planta, perfil, y sección transversal de una cárcava.

MATERIALES COHESIVOS.- Las arcillas y arcillas arenosas generalmente se encuentran en los fondos de los lagos, en las terrazas marinas y en las zonas de lutitas. El perfil y la sección transversal de una cárcava típica se indican a continuación:



Los suelos arcillosos son impermeables y cohesivos, por lo tanto presentan un sistema de cárcavas bien desarrolladas. Estas cárcavas tienen un gradiente suave y uniforme y una sección transversal redondeada en forma muy suave.

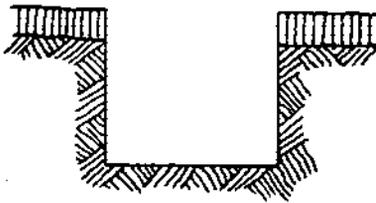
MODERADAMENTE COHESIVOS.- Se trata de suelos arcillo-arenosos ligeramente cementados. Son una mezcla de arcillas cohesivas y arenas no cohesivas. Se presenta en planicies costeras y sobre muchos tipos de roca.

Horizonte de suelo intemperizado con un poco de arcilla 23.
 Suelo o roca - intemperizada



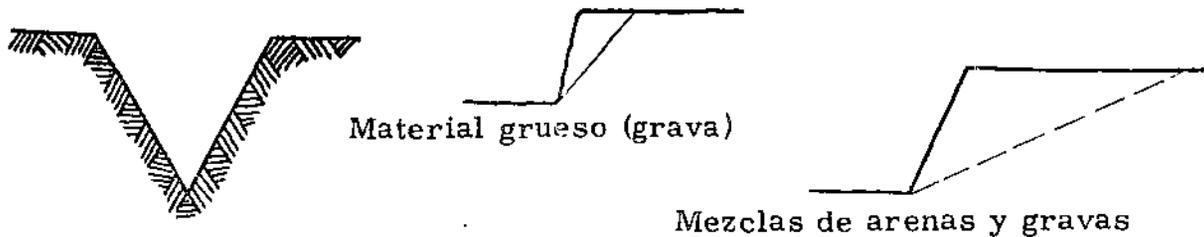
Las cárcavas desarrolladas en estos materiales tienen un gradiente similar al de los limos, casi vertical al inicio de la cárcava pero se nivela rápidamente a un gradiente muy suave. La sección transversal es en forma de "U" teniendo un fondo redondeado en comparación con el fondo plano de los limos moderadamente cohesivos.

Los suelos limosos que se encuentran en los loess en los depósitos aluviales y las zonas de cenizas volcánicas finas presentan el siguiente tipo de cárcava:



Los limos en los depósitos de loess y en las terrazas limosas tienen un desarrollo de cárcavas sumamente impresionante. La sección transversal de estas cárcavas toma la forma de una "U" con paredes ver ticales y el fondo plano. Tienen un gradiente compuesto, siendo muy fuerte cerca de la cabeza de la cárcava y muy suave a una distancia muy corta de esta. Se encuentran pináculos o zonas remanentes cerca del inicio de la cárcava.

MATERIALES NO COHESIVOS. - Se trata de materiales granulares que se encuentran normalmente en terrazas.



Las cárcavas en las gravas, arenas o mezclas bien graduadas de arcilla, limo y arena están generalmente bien definidas y la sección transversal es en forma de "V". En el perfil se presenta un gradiente uniforme, correspondiendo a gradientes más inclinados a los materiales con depósitos más gruesos.

Uso del elemento "tono" para identificar a los suelos

Las condiciones superficiales también se pueden analizar por el estudio del elemento del tono o el color en las fotografías a colores. Sin embargo, la precisión está limitada por factores como son la calidad de las fotografías y la obstrucción de la vegetación.

Es importante el estudiar la variación del color de los tonos de gris, en una área dentro de un modelo estereoscópico y de preferencia en la zona central.

En general los tonos claros están asociados con suelos gruesos y drenados, mientras que los tonos oscuros indican la presencia de suelos finos y con una cierta humedad. Sin embargo, la vegetación y la influencia climática tienden a modificar estas generalidades.

Las condiciones de uniformidad de los tonos, ya sean claros u oscuros indican que las condiciones de los suelos son uniformes.

Una zona con tonos moteados indica que las condiciones de los suelos los cambian rápidamente de un lugar a otro.

Es muy importante también el anotar si el cambio de tono es - en forma brusca gradual. Los cambios bruscos indican materiales grue sos y permeables, mientras que los cambios graduales indican materiaia les finos en los cuales el agua se mueve lentamente.

El fotointerprete deberá tener cuidado en no asociar los cambios de tono a las prácticas de cultivo o a otras actividades humanas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA

APLICACIONES DE LAS TÉCNICAS DE LA FOTOINTERPRETACIÓN

A LA INGENIERÍA CIVIL
(continuación)

Ing. Jorge F. Vaca Hinojosa*

ESTUDIOS COSTEROS

Los estudios costeros se orientan a determinar la erosión, transporte y depositación de los materiales de playa a lo largo de la costa al igual que los efectos prácticos que producen en las barras, canales, islotes, etc. Para la ingeniería estos estudios son esenciales para la localización y diseño de estructuras protectoras como muelles, diques, rompeolas y para localizar los emisores de drenaje, boyas, balizas, faros, estaciones de comunicación, sitios para establecer aforos de las corrientes en los canales, etc.

Los estudios de puertos en forma similar se dedican a determinar la erosión, transporte y depositación de los sedimentos minerales dentro del puerto actual o en proyecto, además de estudiar las características de las olas y de las corrientes dentro de ellos.

Los resultados de estos estudios se usan para mejorar, aumentar la capacidad o proyectar los puertos; localizar y diseñar estructuras protectoras y de regulación adecuada, y construir muelles, almacenes, etc.

(*) Sub-jefe del Depto. de Fotointerpretación CETENAL.

2.

Los estudios costeros y de puertos tienen que analizar - unidades de transición entre la tierra y aguas marinas o lacustres, generalmente complicadas por acción fluvial. Debido a esto, los estudios son muy complicados e intervienen muchas variables. Las principales de - estas variables son las siguientes:

Dirección, velocidad, fetch, duración y persistencia de - los vientos; rasgos subterráneos que protegen las unidades superficiales; frecuencia, duración, velocidad, carga y dirección del flujo de los ríos - y canales con influencias de mareas; localización y tipos de fuentes de - sedimentos; altura, frecuencia, longitud, forma, dirección y refracción - de las olas; corrientes naturales y la naturaleza del sedimento transpor - tado, etc.

Es difícil el estudio de estas variables por métodos normales y pocas pueden evaluarse en forma sencilla con instrumentos. Por lo tanto, no es sencillo el correlacionar las estructuras propuestas de los - puertos a las variables o combinaciones de variables que las afecta.

Las técnicas de la fotointerpretación pueden contribuir a - obtener información de valor para los estudios mencionados. Además, de bido a las razones señaladas en el párrafo anterior, cualquier dato que se pueda sacar de las fotografías, consistente con los objetivos, los costos y el tiempo para desarrollar el proyecto, deberá obtenerse. Esto no significa que las fotografías aéreas siempre deban de usarse. En ocasiones no pueden

tener ningún valor, no existen las fotografías, son muy caras, o son -- impracticables por otras razones. Pero bajo circunstancias favorables pueden proporcionar mucha información de valor, tanto de la tierra, del - agua, como de las variaciones de corrientes y del oleaje. Algunos de los factores que se pueden estudiar con las fotografías aéreas y que tienen un significado importante con respecto a los estudios de puertos y costeros - son:

1. - Detalles del perfil de la playa, como es el ancho de las playas, pendientes, etc.

2. - Detalles de las olas, como la longitud, frecuencia, forma, altura, dirección, refracción; efecto del viento, efecto de los rompeolas, etc.

3. - Tonos grises, indicativos de las arenas de playa, de las profundidades relativas, concentraciones de plantas marinas, zonas turbias, etc.

4. - Detalles de las corrientes, localización, dirección, velocidad, etc.

5. - Detalles ambientales como islotes, barras, boca del río, marcas de oleajes, etc.

6. - Efectos de inundación de las mareas.

A ésto hay que agregar el factor importante de la topografía bajo agua que todavía no se hace en forma precisa, aunque se están dedicando muchos esfuerzos para lograrlo. Al igual que con otros fenómenos de naturaleza transitoria hay tantas variables que interfieren, que los resultados no pueden usarse con confianza. Lo mejor que se tiene hasta el momento para la determinación de profundidades bajo el agua, es la fotografía aérea a color; con las que se observan áreas con diferentes profundidades, sin indicar la profundidad correcta. Se debe tener mucho cuidado de que la exposición de la fotografía sea adecuada, que el proceso de color sea correcto y que se tome la fotografía en el tiempo adecuado con respecto a las zonas turbias, al ángulo del sol y al oleaje.

El poder indicar cuáles son las áreas con diferente profundidad tiene interés de tipo cualitativo, pero también se puede usar para hacer un programa batimétrico. De hecho, es uno de los puntos de mayor utilidad de la interpretación en los estudios costeros.

Debe mencionarse que la fotografía aérea para este tipo de estudios debe de hacerse en forma repetitiva. Se deben examinar las fotografías tomadas en diferentes épocas del año y no concretarse a estudiar las fotografías que se han tomado por una única vez. El ambiente marino y las fuerzas que lo forman son dinámicas y no deben examinarse en forma estática. El costo de hacer el estudio en forma de secuencia es mayor, pero debe tomarse en cuenta la información que se puede obtener es de mayor calidad.

PROBLEMAS DE EROSION Y SALINIDAD

Las zonas que tienen erosión incipiente o potencial, pueden ser estudiadas por medio de la fotointerpretación. El peligro relativo a las estructuras y la pérdida económica si continúa la erosión se puede evaluar. A partir de este estudio se puede realizar un programa de control de erosión. El análisis de la erosión es uno de los trabajos más sencillos de la fotointerpretación.

Las áreas con alta salinidad y corrosión pueden determinarse con un estudio detallado del nivel freático, de las condiciones del drenaje y de la localización de los depósitos orgánicos. La fotointerpretación en este caso debe ser hecha con cuidado y complementarse con una verificación de campo igualmente detallada.

PLANEACION DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

Las fotografías aéreas se deben usar al máximo en la planeación y ejecución de los trabajos de campo de todos los tipos. La razón de esto es la siguiente: las fotografías son un medio incomparable que permite una perspectiva general en donde se muestra todo lo relativo al ambiente y las cuales, cuando están interpretadas correctamente, proporcionan información que reducirá el tiempo y el costo de los estudios de campo. De la investigación de campo debe esperarse que se obtenga mejor información tanto porque tiene datos preliminares obtenidos de las fotografías y debido a que fué programada en una forma más adecuada de acuerdo con las condiciones del terreno.

Independientemente de la naturaleza del proyecto, ya sea elección de ruta, elección del mejor sitio, estudios hidrológicos, estudios costeros, ingeniería geológica, agricultura, etc., las fotografías aéreas deberán usarse para programar los estudios y sondeos en el campo. El hecho de no usarlas es simple negligencia.

Las compañías que va a ejecutar un trabajo y a las cuales se les ha asignado un juego de planos y de las especificaciones de trabajo, con objeto de que presenten una cotización de la obra, es conveniente que realicen una interpretación de las condiciones del terreno y de los factores que influyen en el costo total de la obra, como son: fuentes de materiales, afloramientos de roca, drenaje adverso, filtraciones en las laderas, tipos de suelo, acceso a la construcción, desmonte, etc. En este caso el estudio de fotointerpretación deberá dar por resultado que bajen los costos o que se incrementen las ganancias para los contratistas.

En los grandes proyectos de ingeniería debe hacerse un uso adecuado de la fotointerpretación. La localización de los campamentos de construcción, de las rutas de acceso al campamento, localización de sitios de abastecimiento de agua, materiales, puentes, y operaciones de construcción, pueden ser evaluadas con anticipación antes de que se empiece la obra. El resultado de esta planeación es reducir el costo de la obra.

Si se toman las fotografías aéreas en secuencia y con el auxilio de la fotogrametría se puede verificar el progreso de muchas actividades en las grandes obras.

Se pueden usar también las fotografías tomadas con un -
cierto intervalo para realizar inventarios, materiales existentes en la
obra como asfalto, agregados, grava, arena, etc.

Debe señalarse que las fotografías sirven como un récord
legal en muchos de los aspectos importantes de una obra, como cumplir
con el calendario de trabajo, cantidades de obra ejecutada, etc. El uso -
adecuado de las fotografías deberá disminuir los litigios en la construc-
ción.

ESTUDIOS DE DESLIZAMIENTOS

Las fotografías aéreas se han usado como una herramienta
muy adecuada en la investigación de deslizamientos, tanto para la preven-
ción como para propósitos de control.

El estudio de las zonas potenciales de deslizamiento requiere
de un alto grado de interpretación; mientras que la investigación de desli-
zamientos que ya ocurrieron es una operación mas sencilla. El objeto de-
la investigación es el de determinar el alcance y la causa o causas del des-
lizamiento y el formular programas para la investigación de campo y pro-
poner medidas correctivas.

Por el estudio de las fotografías aéreas, se puede investi -
gar cuales fueron las causas de la falla, incluyendo las condiciones topo -
gráficas, climáticas, de suelos, geológicas, de drenaje superficial y ---

subterráneo y de las actividades humanas. Además en las fotografías - se muestra claramente la extensión del deslizamiento.

El hecho de contar con las fotografías antes y después - del deslizamiento, permite realizar un estudio comparativo que puede ser de gran ayuda desde un punto de vista técnico y legal.

Hay algunas limitaciones al análisis de las fotografías - aéreas que no deben pasarse por alto; el tamaño del deslizamiento es a veces una limitación. Mientras que los deslizamientos de gran tamaño - son muy fáciles de reconocer, el localizar los deslizamientos pequeños requiere de un exámen cuidadoso y de un entendimiento claro de las condiciones locales. El desarrollo urbano es en ocasiones una limitación - para el estudio de las fotografías aéreas con fines de deslizamientos, ya que altera o cubre condiciones naturales del terreno.

La escala de las fotografías aéreas que se van a usar - es muy importante. Las escalas más comunes que se pueden adquirir - son del orden de 1:20 000 a 1: 25 000. Esta escala es buena para evaluar las unidades mayores, pero en ocasiones es muy pequeña para una investigación detallada. Para estos estudios detallados es necesario una escala de 1: 5 000. Si se pueden conseguir fotografías aéreas a escalas pequeñas y grandes a la vez, el exámen de ambas dará los mejores resultados.

Cuando la escala de la fotografía es suficientemente grande, los rasgos que sirven para identificar a los deslizamientos son los siguientes:

El escarpe o quiebre donde se inicia el deslizamiento - que generalmente tiene forma de herradura; la topografía desordenada, un sistema de drenaje no formado en la masa alterada, y una serie de tonos diferentes. Además, las características de la vegetación son diferentes entre el área que ha sufrido un deslizamiento y el terreno estable en ambos lados. Todas estas características se hacen menos acentuadas con el transcurso del tiempo.

El reconocer ciertas unidades geomórficas facilitará grandemente la investigación, particularmente en los casos de deslizamientos pequeños que no se observan fácilmente en las fotografías.

Las zonas potenciales de deslizamientos incluyen áreas atacadas por corrientes de los ríos, zonas con pendientes muy fuertes y taludes con filtraciones. Las unidades geomórficas más vulnerables a los deslizamientos incluyen a las lutitas arcillosas, las rocas sedimentarias plegadas, los derrames basálticos y las planicies costeras erosionadas. Se deberá dedicar una atención especial a ese tipo de zonas potenciales y unidades geomórficas, tanto en la fotointerpretación como en la verificación de campo.

Las zonas que presentan deslizamientos antiguos son zonas en donde se presentaban inestabilidades y requieren de un examen cuidadoso. Sin embargo, las condiciones inestables que se presentaron en el pasado podrían no existir en el presente si las condiciones han cambiado.

INGENIERIA DE TRAFICO

Todo conductor de automóviles ha experimentado los -
problemas que originan el dar la vuelta a las zonas en donde se está -
construyendo un proyecto, la dificultad para el circular en las calles y
carreteras que están congestionadas y la cantidad de tiempo que se pierde
de en trasladarse de un lugar a otro. Los resultados de estos problemas -
son, la congestión del tránsito, ciertas áreas en las ciudades que -
sufren depreciación, y daños y muertes debido a accidentes. La misión
del ingeniero de tráfico es el medir el flujo de los vehículos de motor, -
definir y analizar los problemas, recomendar soluciones para que se -
realice un movimiento ordenado y seguro, proporcionar el espacio adecuado
para estacionamientos y terminales.

Algunos ingenieros de tráfico han usado las fotografías -
aéreas con gran ventaja, pero la fotointerpretación no ha sido plenamente
aceptada como una técnica en la investigación de tráfico.

La fotografía aérea es una evidencia permanente del volumen
de tráfico a cualquier momento y elimina gran parte del trabajo que
se pierde en medir el tiempo, y la distancia entre vehículos además de -
realizar un conteo de estos.

Los ingenieros que están estudiando el tráfico deberán -
convencer a las autoridades y al público de que las fotografías son un método
adecuado para presentar los problemas de tráfico y proponer soluciones.

Todos se impresionan cuando se les presenta una fotografía a gran escala de una ciudad conocida o un suburbio cercano y fácilmente la pueden entender. A escalas de 1:10 000 o mayores, se observan claramente las calles, edificios y el uso de la tierra; además de que los coches y los congestionamientos de tráfico se distinguen perfectamente.

El programar un tráfico eficiente en una área urbana comprende elaborar planes maestros de las calles, sistemas de calles y avenidas de un solo sentido, sistemas de vías rápidas, y un sistema municipal amplio de estacionamientos. Los mapas bases para diseñar estas estructuras pueden producirse por métodos aéreos o métodos terrestres, pero el levantamiento terrestre no iguala al aéreo en el costo, velocidad o exactitud.

Los conteos de vehículos y otros estudios de tráfico especiales se hacen en forma más rápida y más exacta por medio de fotografías aéreas, que por un observador terrestre. El observador terrestre puede enviarse a diferentes puntos estratégicos, pero solamente podrá analizar el tráfico desde un sitio a la vez. Si se quiere una cobertura de un área o de toda una ciudad, se necesita emplear a un gran número de observadores y hacer una serie de suposiciones difíciles de justificar. Si se toman dos o más fotografías aéreas con diferentes intervalos de tiempo se registra el flujo de vehículos y se puede hacer un conteo de ellos en las fotografías en la forma que se desee. Se pueden realizar conteos de

vehículos cada minuto o cada dos minutos, o hacer conteos horarios o cada día. Este método es de una exactitud adecuada para propósitos de planeación y es mucho mejor que realizar el conteo en el terreno.

El estudio de accidentes por sitios y según el tipo, se facilita utilizando fotografías aéreas. Si se hacen ampliaciones de estas fotografías se pueden usar como diagramas de las condiciones de intersecciones y de otras zonas de dificultad. De este tipo de ampliaciones el investigador puede preparar un diagrama de "colisión" adecuado en donde se indica la dirección, la velocidad y el lugar del accidente. Las fotografías no libran al investigador de visitar el sitio del accidente pero reducen el tiempo requerido para la observación en el terreno. Las fotografías muestran detalles que no pueden obtenerse por otros medios y pueden dar la clave que permitan al investigador prevenir accidentes similares en el futuro. Las fotografías usadas para diagramas de colisión tienen escalas de 1: 500 o mayores.

Los estudios de tráfico a lo largo de carreteras necesitan de fotografía continua aunque se puede usar fotografías aéreas verticales formando un mosaico a lo largo de la carretera. Toda la información con respecto a las velocidades en los diferentes tramos la carretera puede transferirse al mapa. Las velocidades promedio y las velocidades con las cuales se pueden tomar con seguridad las curvas horizontales pueden obtenerse en fotografías que se toman con intervalos de tiempo relativamente cortos. Se pueden identificar sitios de accidente y marcarse en el mapa.

Las curvas en las cuales hay que bajar la velocidad y otras zonas peligrosas pueden detectarse en las fotografías y colocarse señales adecuadas en el terreno.

Los problemas de estacionamiento también pueden atacarse por fotointerpretación. Las fotografías aéreas muestran donde la gente está estacionando sus autos, cuantos carros están estacionados en una zona dada, que tan eficientemente se están usando los estacionamientos y con que severidad se están aplicando las sanciones contra estacionamientos en zonas prohibidas. El reunir toda esta información en las fotografías, ahorra mucho tiempo de investigación de campo y permite elaborar un programa de construcción de estacionamientos.



Fecha 11 Agosto 1971

CONO

LENTES

Tipo: RC8

Tipo: Aviogón

Núm. 419

Núm. UAg 419

Tamaño: 9" x 9"

f = 152 mm

Máxima apertura: f:

Cámara calibrada con filtro 419

DISTORSION EN MILIMETROS

La distorsión dada es la media aritmética entre las 4 semidiagonales. Los valores positivos indican desplazamientos de la imagen hacia afuera.

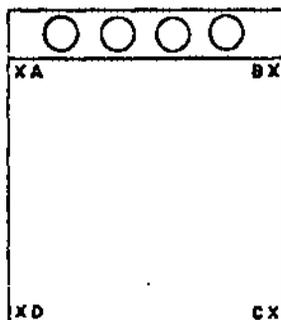
Distancia focal calibrada: 152.71

El desplazamiento del Punto Principal de Autocolimación de la intersección de las diagonales (Centro Fiducial) es de +0.001 mm.

La tolerancia es de ± 0.020 mm.

Las coordenadas del punto de óptima simetría son: DB (+0.010)
 CK (+0.005)

Radio	20	40	60	80	100	120	140	148
Distorsión	0.004	0.007	0.005	0.000	-0.004	-0.009	-0.006	0.001



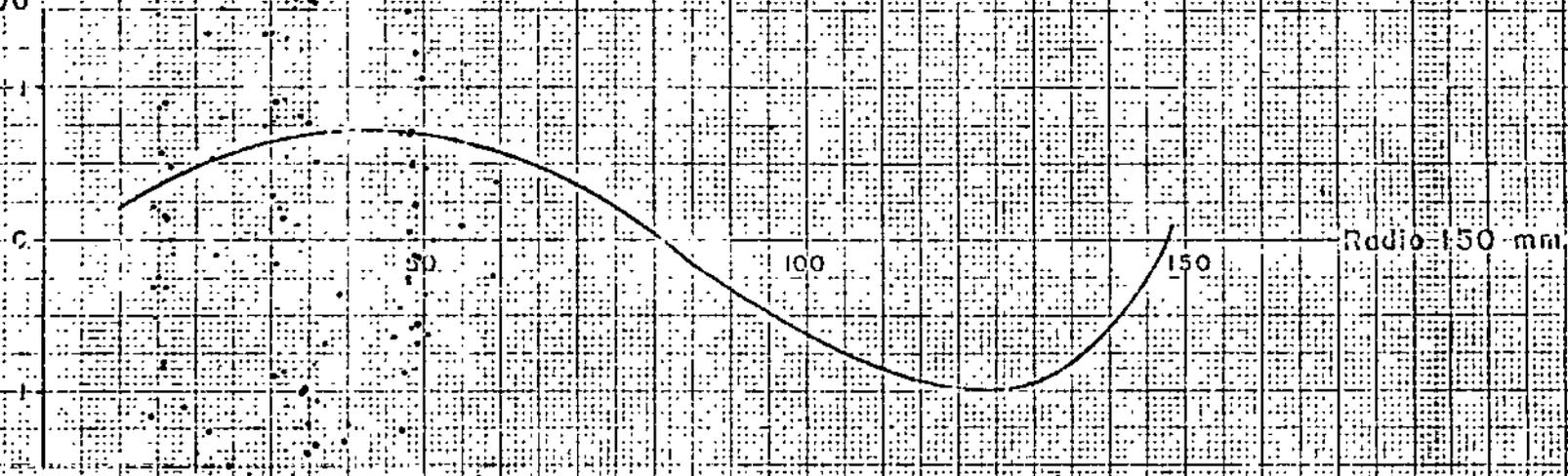
Cámara vista desde arriba

Distancia entre
marcos fiduciales

- A - B = 211.995
- B - C = 211.999
- C - D = 211.995
- D - A = 212.003
- A - C = 299.790
- B - D = 299.804

Wild: 263 Avignon 5"X5" UAG 419 f=152.71

Distorsión
100 mm.



Wild RC8 Aviogon 9"X9" UAg 419 $f=152.71$

Distorsion

$\frac{1}{100}$ mm.

+1

0

-1

50

100

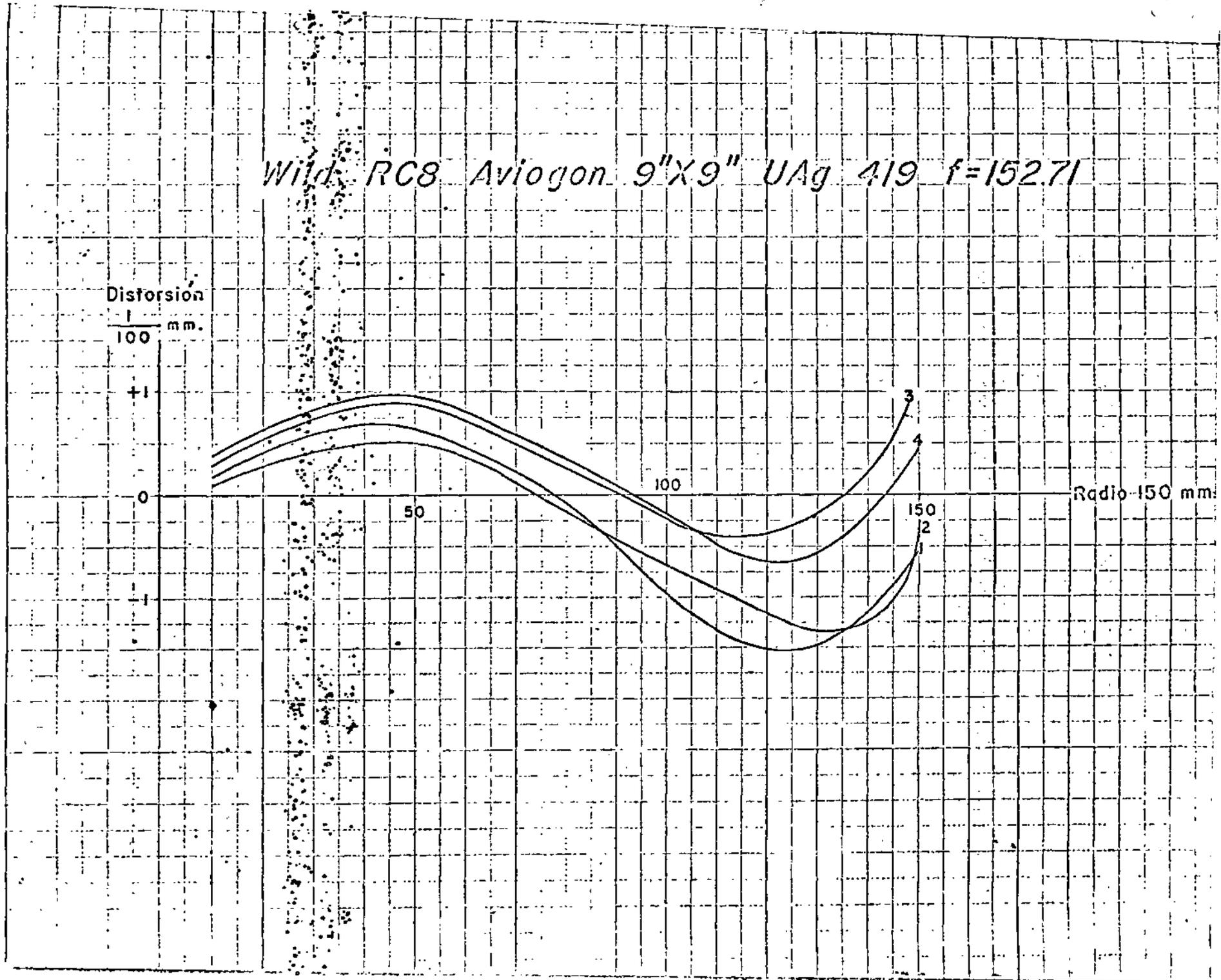
150

Radio 150 mm.

3

4

2



mencionan con el mayor esmero algunas de ellas, atendiendo a la finalidad del curso.

1.- Posibilidad de levantar en poco tiempo, con todo detalle grandes extensiones de terreno.

2.- Facilita un levantamiento rápido de regiones peligrosas e inaccesibles al reconocimiento previo a todo trabajo topográfico.

3.- Conservación fiel y constante de todos los elementos del terreno, lo que permite, sin nuevos trabajos de campaña, volver a restituir en gabinete y en cualquier momento, las mismas zonas para verificaciones o para la formación de nuevos planos y cartas a diferentes escalas de las primitivamente escogidas, siempre que se respete la relación de imagen y dibujo correspondiente. Ahora, como es natural en todos los aspectos técnicos así como en los comunes, existen desventajas ya que pueden presentarse casos en los cuales el levantamiento fotogramétrico no satisfaga todas las condiciones adecuadas por quedar partes del terreno cubiertas por otros accidentes y por consecuencia sin fotografiar; en cuyo caso y para corregir esta eventualidad, habrá que recurrir a trabajos complementarios. Son todavía problemas críticos la vegetación y los tiempos malos para los vuelos.

DIVISION DE LA FOTOGRAMETRIA

La fotogrametría se divide, según el sitio de toma de las fotografías, en FOTOGRAMETRIA TERRESTRE Y EN FOTOGRAMETRIA AEREA O AEROFOTOGRAMETRIA.

En Fotogrametría Terrestre el sitio de toma está en la tierra firme, cuyo acceso es relativamente fácil por medio de transportes sencillos; asimismo, por ser el sitio una posición invariable, se puede disponer del tiempo necesario para la exposición favoreciendo con ello al empleo del equipo de toma y al material fotográfico de exposición. Por el sitio de toma y por la posi--

ción horizontal del eje óptico de la cámara, es como se denomina también FOTOGRAMETRIA TERRESTRE O DE EJE HORIZONTAL.

Siendo el fundamento principal de cualquier tipo de fotografía la perspectiva central, formada por el haz de rayos luminosos procedentes de todos los puntos del objeto fotografiado, y siendo el propósito de la fotogrametría la reproducción del modelo geoméricamente reproducido de aquel, es necesario para tal reproducción, la toma de dos fotografías del mismo elemento, desde dos estaciones que son los extremos de una línea llamada BASE, de tal manera que la reproducción deseada, en cuanto a forma, magnitud y posición, se obtenga por la intersección de los rayos homólogos de los dos haces de cada fotografía.

El tipo de fotografías que más interesan para fines fotogramétricos, son las fotografías aéreas y, en menor grado de empleo las terrestres. Ambas son tomadas desde sitios distintos y con cámaras especiales. En las fotografías aéreas deber verificarse un determinado traslape tanto en el sentido longitudinal como en el sentido transversal entre dos fajas adyacentes, para efectos de la visión estereoscópica, siendo normalmente en el primer caso $\frac{1}{2}$ para fines de restitución de un 60% y en el otro sentido de un 30%.

ESTEREOSCOPIA

La estereoscopía es un fenómeno virtual por medio del cual es posible ver los objetos fotografiados en tercera dimensión, a través de sus imágenes correspondientes. La visión estereoscópica se verifica en la zona de sobreposición de dos fotografías consecutivas; y es, tal como ya quedó acentado anteriormente, la parte más importante de la Fotogrametría, pues a pesar de ser el fenómeno virtual e intangible, es posible efectuarle mediciones con el uso de implementos y procedimientos debidos, hasta el grado de trasponer las características generales y específicas de lo observado, a las formas gráficas más acostumbradas, como en el caso de los planos, coberturas, maquetas, y demás simbologías, etc

La estereoscopía se logra con el auxilio de aparatos mecánicos y ópticos llamados estereoscopios los cuales son de diferentes formas y categorías, entre las cuales se citan los estereoscopios de espejos, de lentes, de prismas o el de una combinación de ambos elementos que es el caso más usual y recomendable. Véanse las figuras Nos. 1, 2, 3 y 4.

Fig. No. 1.- Estereoscopio conocido comúnmente como de espejos, aunque se trata de una combinación de los elementos ópticos antes descritos.

Fig. No. 2.- Estereoscopio de lentes llamado por su tamaño, estereoscopio de bolsillo.

Fig. No. 3.- Estereoscopio doble para la observación simultánea de enseñante aprendiz.

Fig. No. 4.- Estereoscopio de brazo, de lentes y prismas.

El artificio de un estereoscopio es para obligar a los ojos a ver dos fotografías o imágenes de un mismo objeto, adoptando la posición similar a la de la cámara fotográfica; y en tales condiciones poder reproducir en forma virtual, el haz de rayos luminosos cuyas intersecciones se forman en el cerebro, dando por resultado la sensación de relieve por fusión de imágenes.

Cada uno de los estereoscopios anotados tiene su mejor campo de aplicación y por consecuencia sus propias ventajas; por ejemplo: el estereoscopio de espejos se caracteriza porque en él se vé con una sola posición de fotos y mediante ligeros movimientos habituales de la vista, todo el modelo estereoscópico; y, con el auxilio de binoculares acoplados, se llevan a cabo estudios y análisis detallados.

El estereoscopio de bolsillo por su parte, es un magnífico auxiliar en trabajos de campaña y se usa para detallar y zonificar, como en el caso de los reconocimientos e identificaciones. Aquí se advierte que, debido a la pequeña base estereoscópica, sólo se abarcan pe--

queñas áreas; por lo que para examinar todo el modelo, es necesario llevar a cabo varias acomodaciones.

El estereoscopio doble se emplea con binoculares y es ventajosamente útil en el campo de la enseñanza y en estudios analíticos, debido a que en él pueden observar en forma simultánea la misma parte o el mismo elemento, dos operadores: maestro y alumno o dos técnicos en deciderato.

El estereoscopio de brazo o de fajas, se emplea para estudios estereoscópicos preliminares de fajas de terreno de longitudes considerables. En cada uno de los tableros se coloca una serie de fotografías debidamente ensambladas de la misma faja de terreno por estudios, las cuales se van desplazando simultáneamente, según el grado de avance.

PROCESO PARA LOGRAR LA TERCERA DIMENSION.

Para poder observar la visión estereoscópica se recomiendan los siguientes pasos prácticos:

- 1.- Elección del para de fotografías consecutivas para el modelo estereoscópico. Fig. No. 1

2.-Sobreposición física de las dos fotografías como si cada detalle o figura fotográfica se fusionara con su homóloga.
Fig. No. 2

3.- En posición de 2, someter las fotografías debajo del estereoscopio y separarlas más o menos 6 cm. Fig.No. 3.

4.- Escoger, en el área del modelo de cada fotografía, un detalle común sobresaliente, como se vé en la Fig.No.4 y siendo señalados con los dedos índices y en posición de observación, como en la Fig. No. 5, se apoyan los dedos en las fotografías para poder juntarlas o separarlas, según el caso, hasta lograr que los dedos se fusionen en una sólo imagen; esto es: como si un dedo se sobrepusiera física y exactamente sobre el otro.

- 5.- Se retiran los dedos, pero sin dejar de observar, se verán los detalles sobresalientes antes apuntados, fusionados en una sola imagen; y en ese momento se produce el relieve virtual.
- 6.- Finalmente, se observa todo el contenido en el área de sobreposición de las fotografías, que es donde se forma el modelo estereoscópico, para que, si hay imágenes dobles de un mismo objeto, hacerlas coincidir o ensamblar las mediante pequeños movimientos de una fotografía o de las dos en forma simultánea, cuando ya se cuenta con alguna práctica, en las direcciones conocidas por: X, Y, o por pequeños giros; pero sin dejar de ver por los oculares para poder apreciar los efectos de los movimientos y poder limitarlos a lo justamente requerido.

Para comodidad del operador, se recomienda separar los oculares una distancia igual a la base interpupilar de cada observador. Se llama base interpupilar a la distancia que separa los centros de los ojos y fluctúa entre 6 y 7 centímetros. La separación de los oculares se logra a pulso o accionando un tornillo estriado que para el caso tienen los estereoscopios. Véase fig. No. 6

A la separación a que quedan las fotografías debajo del estereoscopio para ser observadas, pero contada desde cada centro de fotografía, se llama base estereoscópica; y, aunque es mayor que la base interpupilar, se acomoda a ésta gracias a la disposición de los elementos ópticos del estereoscopio, que hacen la reducción de aquella por reflexión. Véase Fig. No. 8

El fenómeno de la tercera dimensión visto como tal, es emotivo por brindar el placer a cualquier observador, o ver el relieve de todo lo contenido en las fotografías; y es admirable desde el punto de vista técnico, en virtud de que se tiene un modelo de características geométricas iguales a la parte fotografiada; y, por lo tanto, factible de dimensionar.

ANEXO "B"

ESPECIFICACIONES PARA LA TOMA DE FOTOGRAFÍAS

I. OBJETO

I.1. -Las fotografías aéreas de eje vertical, motivo de este contrato, serán utilizadas para extender el apoyo de campo que se ejecute, (punteo, aerotriangulación, etc.) para restitución y fotointerpretación, por lo que, cualquier error o defecto que impida o reduzca la precisión de estas labores será suficiente para rechazar el trabajo.

II. PLAN DE VUELO

II.1. -Cada línea de vuelo fotográfico tendrá dirección Este-Oeste y una altitud uniforme, de tal modo que la escala media resultante sea de 1:50 000 ó 1:25 000 según contrato anexo.

II.2. -El paralelismo entre líneas de vuelo tendrá una tolerancia de más o menos 5 grados.

II.3. -El área deberá ser cubierta estereoscópicamente de tal modo que el centro de las dos primeras y las dos últimas fotografías de cada línea de vuelo caigan fuera del límite contratado; en los casos que la línea de vuelo sea paralela al lindero cuando menos el 50% de la línea deberá caer fuera del límite señalado.

II.4. -Las Líneas de control se efectuarán en iguales términos, pero la dirección de ellas la marcará "La Comisión" en el plan de vuelo que para este propósito, con carácter devolutivo le sea proporcionado.

II.5. -El contratista enviará un informe semanal de la actividad de vuelo, especificando los días volados, las fotos realizadas, los días de mal tiempo, etc.

III. CONTINUIDAD DEL TRABAJO.

III.1. -No se aceptarán líneas de vuelo interrumpidas salvo que dicha interrupción sea a la altura de líneas de control, en este caso se continuará la líneas a partir de la tercera fotografía obtenida antes de la interrupción, obteniéndose la nueva línea a la misma altitud.

IV. TIPO DE CAMARA

IV.1. - Las cámaras tienen que reunir obligatoriamente las siguientes características

IV.1.a. -Equipadas con lentes llamados "Universales" cromáticamente corregidos entre 450 y 850 milimicras de longitud de onda.

IV.1.b. -Dispositivos para mantener plana la película sobre el marco focal por medio de succión.

IV.1.c. -Certificado de calibración de la cámara con su filtro, expedido por una autoridad reconocida, cuando más 12 meses antes de la fecha de su utilización. Dicho certificado tendrá que presentarse a la firma del contrato.

IV.1.d. -Entre la cámara con filtro y el terreno no podrá intercalarse otra cosa que no sea un cristal óptico, (paralelismo entre sus caras) no mayor de 20".

IV.1.e. -Equipadas con montaje a prueba de vibraciones e intervalómetro derivómetro que permitan la regulación automática de la sobre posición longitudinal y la determinación de la deriva.

IV.1.f. -Equipadas con registros auxiliares que queden registradas en el negativo como nivel, altímetro, reloj y contador.

IV.1.g. -Obturador central entre lentes.

IV.1.h. -La distancia focal será de 152mm. (más o menos 3mm.) y el formato útil de las fotografías será del orden de 23cm. x 23cm.

IV.1.i. -Las marcas fiduciarias deberán registrarse nítidamente en las fotografías.

V. PELICULA

V.1. -La fecha de vencimiento de la película será cuando menos dos meses posteriores a su utilización.

V.2. -Se utilizará película aéreas pancromática de grano fino y base topográfica.

V.3. -Los negativos deberán tener detalles bien definidos, estar libres de nubes y sombras de nubes, de marcas estáticas, de humos o velos producidos por incorrecta manipulación o proceso.

VI. FILTROS

VI.1. -La exposición será hecha a través de un filtro de absorción de 500-milimicras o de menor longitud de onda.

VII. ESCALA

VII.1. - La altura de vuelo para los levantamientos a escala 1:50 000 será como promedio de 7 650 mts. (25 000') sobre el terreno y para los levantamientos a escala 1:25 000 de 3 800 mts. (12 500'), permitiéndose en am

###.

casos tener una variación de menos 2% y más 5% en la altura de vuelo.

VII.2. -En los casos que la fotografía del terreno, estando a la altura de vuelo dentro de los límites antes ores, produzca variaciones en la escala de las fotografías de más o menos 10% se deberá recabar la autorización de "La Comisión" para llevarlos a cabo.

VII.3. -Se tomarán fotografías en la época del año en que el terreno esté libre de nieve o hielo.

VII.4. -La inclinación del eje óptico de la cámara no excederá de 3 grados - más o menos con respecto a la vertical y no mayor de 2 grados como promedio de cada 10 fotografías.

VII.5. -El giro de las fotografías con respecto al eje de vuelo no será mayor de más o menos 5 grados.

VIII. EXPOSICION

VIII.1. -Se deberá llevar un registro de las condiciones en que se efectuó el vuelo fotográfico en las formas impresas que se entregarán al contratista, antes de iniciar el trabajo.

IX. SOBREPOSICION.

IX.1. -La sobreposición longitudinal de proyecto será del 60%, pero en cualquier caso la sobreposición media entre un par de fotografías no será menor del 55% ni mayor del 65%.

IX.2. -La sobreposición lateral de proyecto entre fajas de vuelo adyacentes será del 25%, sin embargo la sobreposición lateral mínima no será menor del 15% ni mayor del 35% .

IX.3. -Si a lo largo de la línea, el terreno presenta fuertes desniveles, el contratista deberá proyectar y previa autorización de la Comisión realizar posteriormente las líneas en forma continua, sin cortes, de manera que en los puntos críticos, la sobreposición lateral mínima no rebase el límite de la tolerancia permitida (15%). En las zonas de menor altitud, se admitirá una sobreposición mayor que la permitida por latolerancia (35%).

X. CORRIMIENTO DE LA IMAGEN

X.1. -Además de que las cámaras deberán estar provistas de obturador central, deberán tomarse las precauciones necesarias para que el corrimiento de la imagen en el plano del negativo debido al tiempo que permanezca abierto el obturador, no excederá de 0.01mm. (un centésimo de milímetro).

XI. ALTURA DEL SOL

XI.1. -Durante la exposición el sol deberá estar a más de 30 grados y a me-

nos de 75 grados sobre el horizonte.

XII. LABORATORIO

XII.1. -Se pondrá especial atención a la manipulación de los negativos para que la deformación diferencial de la película, media entre marcas fiduciales no exceda de 0.01mm.

XII.2. -La densidad de cualquier punto del negativo estará comprendida entre 0.3 y 1.5.

XII.3. -Deberá ponerse cuidado especial a fin de asegurar un revelado apropiado, un fijado y lavado completo en toda la película, de manera de poder eliminar todos los residuos químicos.

XIII. CLASIFICACION

XIII.1. -Antes de su reproducción se clasificarán los negativos, inscribiendo en el sentido de vuelo en la parte inferior los siguientes datos:

No. de Trabajo	77 A. ÷ 85 A
No. de Rollo	(progresivo a partir de 1)
No. de Foto	
No. de línea	

Las inscripciones tendrán que efectuarse con regla Leroy No. 100 y pluma No. 1 o similar.

XII.2. -Además durante la impresión de copias de contacto deberá intercarse una pantalla que transcriba al papel la siguiente anotación en el margen, antes de los números dibujados.

Iniciales del Organismo que ejecutó el vuelo (CETENAL)
Fecha de vuelo (día, mes y año)
Escala media
Distancia focal
Zona.

Vgr:

CETENAL. -29/VII/71. -1:50 000. -152.xx

XIII.3. -Las líneas de vuelo se controlarán con números progresivos del 1 en adelante, numeradas de Norte a Sur y las líneas de control con números progresivos comenzando con el número 901

XIV. INDICES DE VUELO

XIV.1. -Se harán mosaicos índices de los vuelos que serán reproducidos, para los levantamientos a escala 1:50 000 a la escala 1:200 000 y para los levantamientos a escala 1:100 000. El tamaño de los negativos y de las co-

#####

pias en papel doble peso semimate será de 50 x 50 cm (20" x 24").

XIV.2. - En estos mosaicos índices deberán figurar las intersecciones de los valores de Latitud y Longitud múltiplos de 30' (treinta minutos) además de los letreros que en copia simple se anexan como muestra a estas especificaciones.

En los mosaicos índice deberán también figurar los nombres de ciudades, pueblos, ríos, ferrocarriles, lagunas, lagos, etc., de mayor importancia.

Cada área tendrá que tener en la primera y última foto, número de línea y número de foto, además a lo largo, cada 5 fotos se le pondrá el número correspondiente a la misma.

XV. - MATERIALES QUE SE ENTREGARAN.

XV.1. - Los negativos originales de vuelo, incluyendo fotografías aceptadas y rechazadas, en sus carretes y botes respectivos.

XV.2. - Los negativos originales de los mosaicos índice.

XV.3. - Dos copias de los mosaicos índice.

XV.4. - Dos copias de contacto de los negativos originales de vuelo, en papel doble peso semimate.

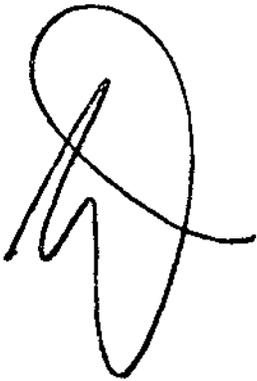




AEROFOTOGRAMETRIA

PARTE I

FOTOGRAFIA AEREA



Ing. José Alberto Villasana

1960

I. ELEMENTOS DE OPTICA

El objetivo fotogramétrico.

Una cámara fotográfica, dicho en los términos más elementales, viene a ser una caja cerrada en una de cuyas caras existe un orificio pequeño, provisto de una lente, por donde penetran los rayos de luz reflejados por los objetos exteriores y producen una imagen real de aquellos, que se proyecta en una pantalla translúcida.

Ahora bien, un cajón al que se le haga un agujero, puede transformarse en una cámara fotográfica. Será elemental, pero en ella se tendrán representadas las partes básicas; la perforación que permite el paso de la luz al interior del cajón, hace las veces de objetivo y la cara opuesta al mismo, viene a ser el plano focal.

La solución, aun cuando geométricamente es correcta, resulta impracticable, ya que la cantidad de luz que atraviesa el objetivo es tan pequeña, que resultarían tiempos de exposición tan prolongada que harían imposible fotografiar objetos animados.

Además, si la perforación es muy ancha, el haz luminoso producirá imágenes sin nitidez. Por el contrario, si la perforación es angosta, la difracción de la luz en los bordes ocasionará el mismo fenómeno, razones por las cuales es necesario dotar a nuestras cámaras de un sistema óptico que permita el paso de mayor cantidad de luz en menor tiempo y que produzca imágenes nítidas. Este sistema constituye el objetivo.

En los objetivos, el paso de la luz se regula por un diafragma circular de abertura variable, colocado entre los lentes del sistema óptico. Este diafragma las más de las veces, separa el sistema óptico en dos grupos llamados de entrada y salida.

Los sistemas de entrada y salida se encuentran en planos paralelos que son perpendiculares al eje de la cámara y que se llaman planos principales.

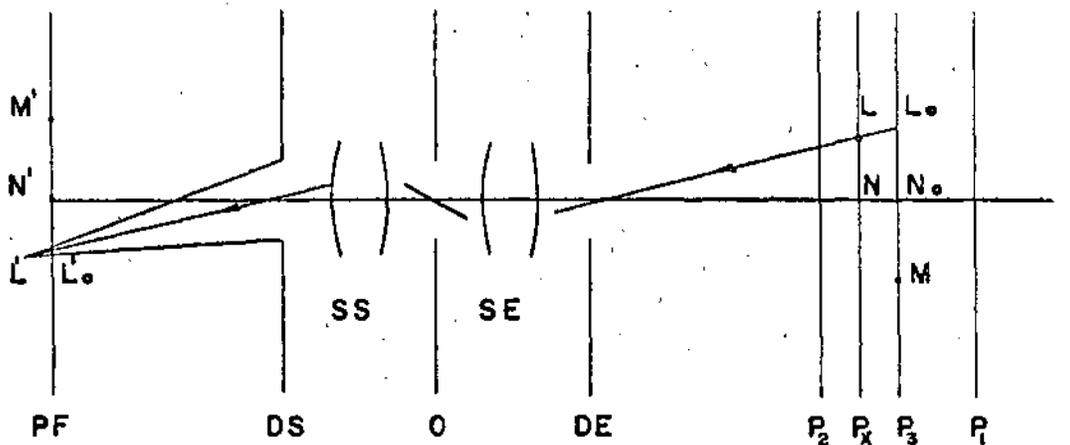
Un objeto, colocado en el plano principal del sistema de entrada, generalmente un objeto virtual, producirá una imagen de tamaño natural, mientras que un objeto situado al infinito producirá como imagen un punto.

La distancia que hay del plano en que se forman las imágenes al plano principal del sistema de salida, se llama distancia focal.

La relación D/f , diámetro del diafragma entre distancia focal, se llama abertura del objetivo. Este número, llamado "N", es el que determina la cantidad de luz por unidad de superficie y generalmente viene inscrito en los objetivos, variando geométricamente con la $\sqrt{2}$; 2.8 - 4.0-5.6-8.0, etc.

La cantidad de luz que pasa por el objetivo es proporcional a la superficie del diafragma, o sea a D^2 , por lo que será el doble de cantidad de luz para una abertura de 2.8 que para 4.0, o de 4.0 que para 5.6.

El objetivo perfecto, libre de aberraciones, pre



- | | | | |
|----|--------------------|---------------|--|
| O | diafragma | PF | plano de la emulsión fotográfica |
| SE | sistema de entrada | P_3 | plano teórico de enfoque |
| SS | sistema de salida | P_1 y P_2 | planos que limitan la profundidad de campo |
| DE | pupila de entrada | P_x | plano del objeto L |
| DS | pupila de salida | | |

Fig. 1.— Diagrama de una cámara.

senta problemas de refracción muy graves. Además, sólo produce una imagen correcta sobre un cierto plano, perpendicular al eje de la cámara y a una distancia determinada del punto principal.

Esto hace que el objetivo no sea útil, ya que una de las cualidades esenciales en los objetivos es su capacidad de producir imágenes definidas. En principio, la imagen de un punto debe ser un punto. Ahora bien, entre el sentido geométrico y la realidad física existe la diferencia de que el punto debe estar limitado en extensión. Este límite, llamado círculo de difusión, tiene un diámetro de $2Z_0$, en que Z_0 es el radio del círculo y cualquier imagen con diámetro menor se considerará un punto.

Este límite es variable y dependerá, entre otros factores, de la agudeza visual, distancia y medio de observación, así como de la finalidad de la imagen.

En las fotografías, esta cualidad de definición se expresa como el poder de resolución del objetivo generalmente indicado como el número de líneas que separa por mm. de imagen. El poder de resolución de un objetivo dado es variable, siendo mayor, generalmente, al centro.

La luz que irradia un punto (L), incide sobre el objetivo, generando después del sistema de salida un cono de haces luminosas que tiene su vértice (L') cerca del plano focal.

La intersección entre el plano focal y el cono producirá un círculo (L'o), si éste tiene un diámetro menor al diámetro de tolerancia del círculo de difusión, se considera que la imagen es un punto.

Al variar la distancia objetivo-punto, el diámetro cambiará de tamaño y los planos que limitan los puntos que producen imágenes menores al diámetro de tolerancia del círculo de difusión (P_1 y P_2) constituyen los límites de la profundidad de campo, y su conjugado en la cámara, la profundidad de foco. Cuando el plano focal se

construye para imágenes situadas al infinito, el otro límite de la profundidad de campo es la distancia hiperfocal.

En un objetivo, la distancia hiperfocal es igual a $f^2/2 N Z_0$. Así pues, un objetivo de 153 mm. de distancia focal, abierto a f 5.6 en el que se requiera un diámetro de tolerancia de 0.05 mm. tendrá una distancia hiperfocal de 85 mts., es decir, saldrán definidos todos los puntos que estén a más -- de 85 mts. del objetivo.

Otra cualidad del objetivo es su luminosidad, que es la relación -- que existe entre el brillo de la imagen y la del objeto expresado, como:

$$L = \frac{t}{4N^2(1+mb)}$$

en donde t es el coeficiente de transparencia del objetivo y mb la escala de imagen.

En fotografía aérea, la relación mb es despreciable y puede suponerse $L=t/4N^2$; sin embargo, -- la luminosidad, que es mayor al centro, decrece con el ángulo α de incidencia, en función del $\cos^4 \alpha$. Esto limita al ángulo -- de apertura máxima y además se requieren filtros de transparencia variable para distribuir, sobre el plano focal, -- una intensidad de luz uniforme.

Son preferibles los lentes luminosos, ya que per

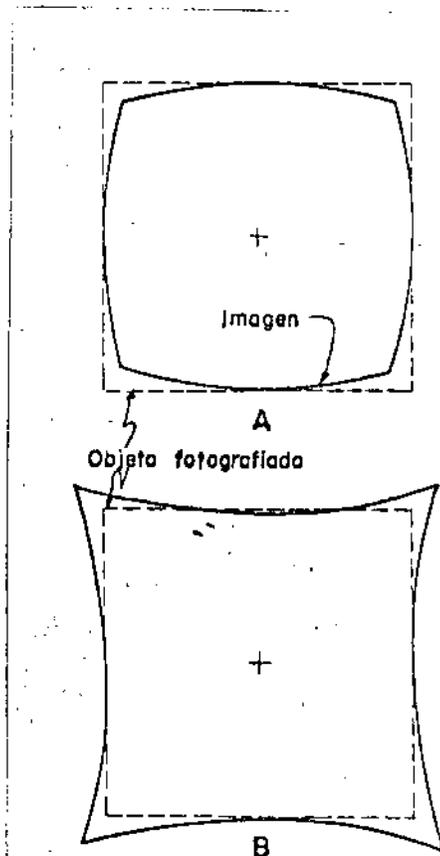


Fig. 2 -- Aberraciones geométricas. A en barril, B en cruz,

miten tiempos cortos de exposición. Esto es particularmente importante en fotografía aérea, ya que el movimiento aparente del terreno, las vibraciones de los motores y las sacudidas producidas por turbulencias del medio ambiente requieren tiempos cortos de exposición, para que la imagen no aparezca movida.

Para obtener la precisión requerida en el acabado de la superficie de los lentes con el equipo de fabricación disponible, debe limitarse la forma de ellos a superficies planas y esféricas.

Ahora bien, los lentes simples contruidos de esta manera causan deformaciones llamadas aberraciones, que se dividen en dos grupos: cromáticas y geométricas.

Las aberraciones cromáticas son aquellas causadas por deformaciones en la luz.

Los rayos luminosos están formados por ondas de diferente longitud. Estas ondas son absorbidas, refractadas y transmitidas en diferente forma para cada longitud, produciendo algunas ondas imágenes fuera del plano focal.

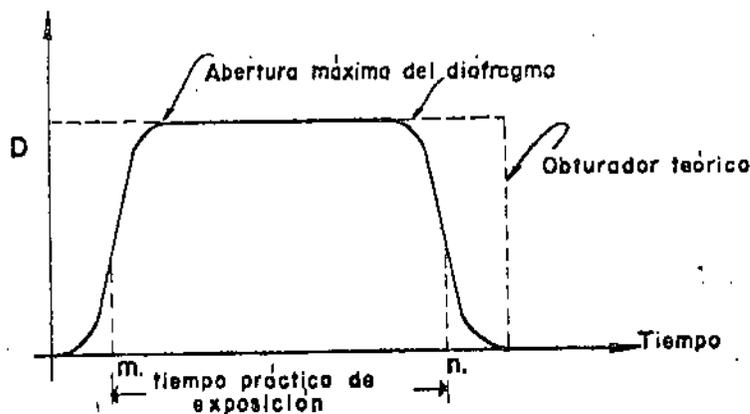


Fig. 3. — Rendimiento de un obturador

Es decir, estos defectos se traducen generalmente en círculos de difusión y, en menor cuantía, en errores de posición.

Las aberraciones geométricas se dividen, a su vez, en dos clases: las de apertura y las de campo. Al primer grupo pertenece la aberración esférica y el coma;

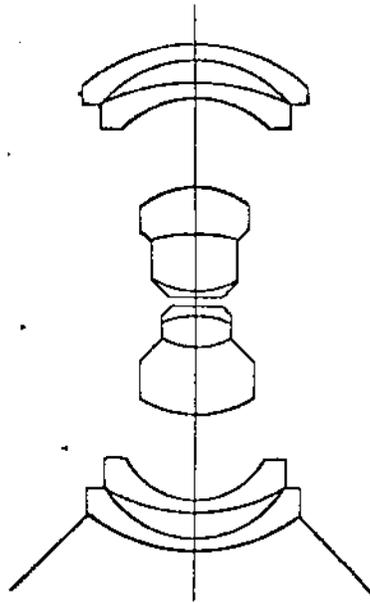


Fig. 4—Objetivo Avilogón, abertura
f. 5.6 ángulo 90°

al segundo, el astigmatismo, la curvatura de campo y la distorsión. Esta última, la más importante, consiste en un desplazamiento entre la posición teórica y la real de los puntos, debido a una desviación angular del rayo de entrada con respecto al de salida.

Debe aclararse que no existen lentes perfectos. Es decir, todos los lentes tienen aberraciones, las cuales se reducen en un mínimo ensamblando lentes cuyas abe-

rerraciones se compensan entre sí. Cuando éstas son inferiores a una cierta tolerancia, se dice que el objetivo es prácticamente libre de distorsión.

El paso de la luz por el objetivo está afectado por el obturador de los cuales existen dos tipos: el obturador entre lentes y el de plano focal. Este último, que proporciona una mejor distribución de luz, consiste de una placa o cortina ranurada que se desliza o gira sobre el plano focal, permitiendo el paso de la luz al través de la ranura. El tiempo de exposición es función de la velocidad de la cortina y los elementos mecánicos no permiten alcanzar grandes velocidades de exposición. Además mientras la ranura recorre el plano focal, el avión se desplaza junto con el objetivo, resultando que la imagen no es una perspectiva central.

En el caso de los obturadores entre lentes, la abertura se produce simultáneamente para todo el plano focal. Además, al colocarse entre el objetivo, sus dimensiones son menores, pudiéndose alcanzar tiempos de ex-

sas sobre la imagen en cada exposición de la cámara.

La separación entre marcas fiduciales, la distancia focal, el poder de resolución y las curvas de distorsión, definen la calidad y geometría de la cámara y en las de primer orden están contenidas en el certificado correspondiente.

El desarrollo alcanzado en la fabricación y diseño permite exigir que en las cámaras métricas se llenen los siguientes requisitos indispensables:

- 1.- Deberá existir una estructura rígida que sirva de soporte al objetivo, marcas fiduciales y aquellas partes de la cámara que definan el plano focal.
- 2.- La construcción será tal que mantenga las relaciones dimensionales de los anteriores componentes sin cambio alguno dentro de las condiciones usuales de transporte, uso y cambios de temperatura.
- 3.- Esta unidad estará construída de modo que no pueda haber transmisión de esfuerzos entre la cámara y sus demás componentes o accesorios.
- 4.- Todas las superficies de los lentes tendrán capas antirreflejantes.
- 5.- El interior de la unidad óptica tendrá un acabado negro mate y un diseño tal que reduzca la reflexión de la luz del interior de la cámara hacia el negativo.
- 6.- La película deberá mantenerse en el plano focal por medio de la acción de una caja neumática sobre una placa de cristal o por medio de un respaldo succionante. En el primero de los casos cualquier rayado en el vidrio causará su cambio y la recalibración de la cámara. En caso de que se use succión, la diferencia de presión en el almacén, será no menor de 25 mm. de mercurio.
- 7.- Las marcas fiduciales deberán producir registros definidos. Estas marcas tendrán que ser precisas y montadas en forma tal que no puedan descalibrarse durante-



LENS CONE

LENS

CALIBRATION DATE: 3.12.62

Lens Cone

Lens Calibration date: 3.12.62

Type RC5

Type Aviagon

No. 15 Ag. 193

No. 193

Size 9" x 9"

f = 152 mm

max. aperture f/5.6

Type RC5

No. 15 Ag. 193

Size 9" x 9"

Type Aviagon

No. 193

f = 152 mm

Resolving Power (Lines per millimetre)

High contrast and max. aperture f/5.6

Film Agfa Isopan 277 15 Planfilm
Glass plate

	5"	6"	7"	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
red	47	53	52	51	49	45	46	49	29	8		
green	47	55	51	49	47	49	44	46	35	19		

red												
green												

Distortion in millimetres

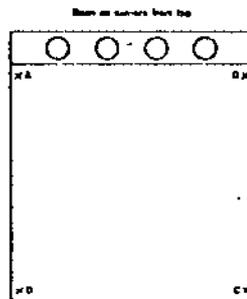
The given distortion is the arithmetic mean between the four half diagonals. Distortion positive away from centre. Goniometer measurements made without filter.

Calibrated focal length 152.37 mm

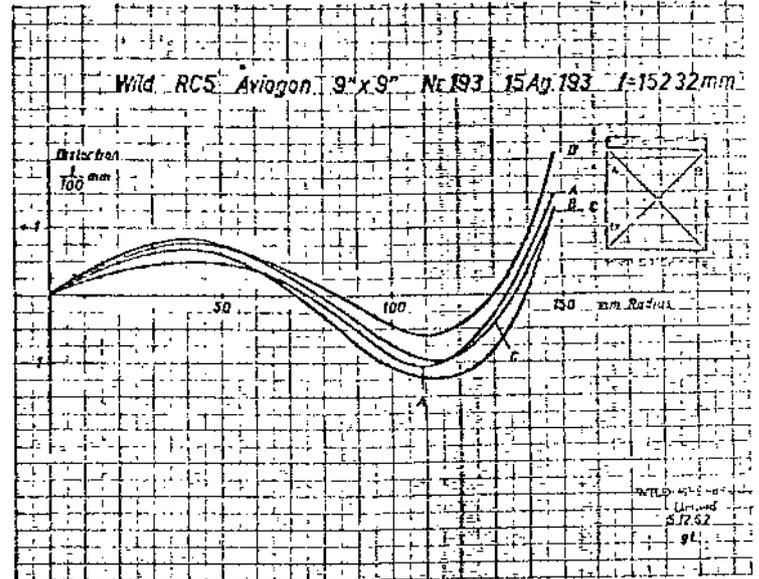
Radius	20	40	60	80	100	120	140	160
Distortion	+0.005	+0.007	+0.004	-0.001	-0.008	-0.008	+0.005	+0.015

The displacement of the principal point of subcalibration from the intersection of the diagonals is within 0.01 mm.

Date of Dispatch 10.12.62



- A - 0 - 211.994
- B - 0 - 212.009
- C - 0 - 217.001
- D - 0 - 217.000
- A - C - 299.805
- B - 0 - 299.821



WILD
AGFA
3.12.62
gt.

la operación normal de la cámara. Las líneas que determinan las marcas fiduciales deberán cortarse bajo un ángulo de 90° con tolerancia de un minuto.

- 8.- El obturador estará alojado entre los lentes.
- 9.- Los filtros deben ser considerados como una parte óptica de la cámara con la cual se usan y la calibración de la cámara se hará con un filtro montado.
- 10.- Deberá contarse con los elementos necesarios para asegurar una sola posición del filtro con respecto a la cámara. La orientación puede quedar definida por medios mecánicos o bien por la existencia de marcas. Esta última orientación deberá mantenerse entre el filtro y su marca, así como entre la marca y la cámara.

11.- El poder de resolución del objetivo no será inferior al 85% del valor medio de proyecto para ese tipo de cámara.

12.- La superficie que mantiene plana la película en el momento de la exposición no tendrá desviaciones, o, en su caso, éstas estarán comprendidas entre ± 0.008 mm para las cámaras de primer orden y entre ± 0.013 mm para las cámaras de segundo orden.

13.- El valor absoluto de la diferencia entre la distor-

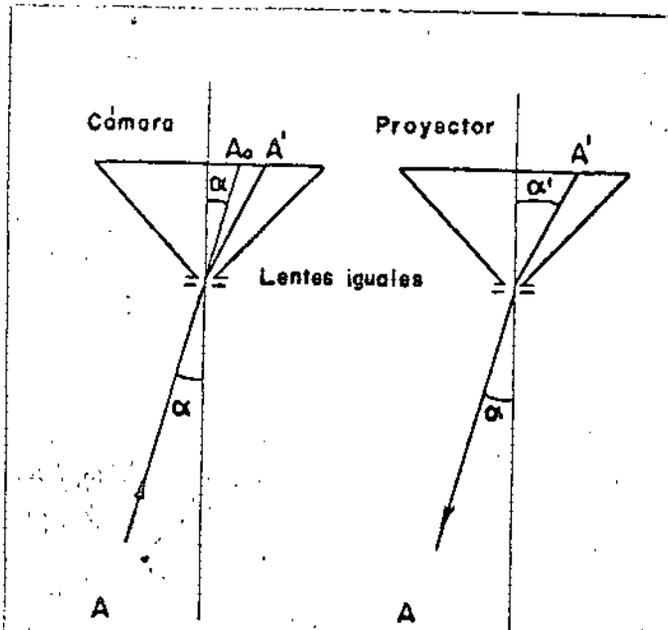


Fig. 7.- Eliminación de la distorsión por el principio de Porro-Koppe

sión radial medida con respecto a los centros de mejor simetría deberá mantenerse entre ± 0.005 mm para las cámaras de primer orden y entre ± 0.010 mm para las cámaras de segundo orden y los valores de distorsión tangencial se mantendrán también dentro de las magnitudes anteriores.

A las cámaras métricas que se tiene actualmente en uso se les divide en cámaras de primer y segundo órdenes y, podríamos resumir, diciendo que las primeras están prácticamente libres de distorsión y las segundas tienen distorsión, siendo conocida ésta y por lo tanto susceptible de eliminarse.

Las cámaras de primer orden, aparte de estar libres de distorsión, reúnen todas las demás cualidades deseables en una cámara, tales como tener una buena resolución, gran luminosidad, obturador central, etc., etc. y puede decirse que el alto grado de desarrollo y precisión que se tiene en las modernas técnicas fotogramétricas no acepta otro tipo de cámara.

Las imperfecciones o distorsiones que tienen las cámaras cuando exceden lo permisible, deberán ser eliminadas para reconstruir los rayos perspectivas que formaron la imagen, requisito indispensable para los equipos de restitución, en donde al medir sobre los modelos estereoscópicos es necesario que éstos sean geoméricamente semejantes al sujeto fotografiado.

La forma más simple de lograr esto es reconstruyendo la imagen, utilizando para ello el mismo lente o uno igual al de la cámara (principio llamado de Porro-Koeppe). En esta forma, los errores introducidos en la imagen durante la toma serán anulados al efectuarse la reconstrucción, pues éstos serán iguales, pero de signo contrario.

Desde luego, el utilizar el mismo lente al de toma en la reconstrucción es, en la práctica, imposible y -

solo en algunos casos se construyen lentes semejantes.

Esta solución tiene el inconveniente de que si el objetivo de toma tiene distorsiones fuertes, el objetivo de reproducción servirá únicamente para esa cámara de toma, siendo la normal que en los equipos donde se reconstruya la imagen (o equipos de restitución) éstos consideran objetivos de toma libres de distorsión y que en la práctica sólo se use este tipo de cámaras.

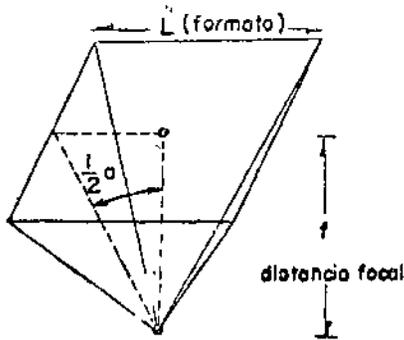
Ahora bien, cuando se dice que una cámara es libre de distorsión, debe entenderse que la distorsión de ese objetivo es despreciable para fines métricos.

Cuando hablemos de los equipos de restitución diremos la forma en que puede eliminarse la distorsión si la hay o los residuos de ésta, si el objetivo es de los llamados libres de distorsión.

Existe una variedad de cámaras métricas para fines diversos. V.Gr., microfotografía, fotografía terrestre, fotografía aérea, balística, etc. En cada caso tienen particularidades que las hacen aplicables a un fin determinado.

Las cámaras para fotografía aérea, únicas a las que se hará referencia, se fabrican en diferentes tamaños y distancias focales, distinguiéndose tres grupos:

- A.- Cámaras de ángulo normal: aquellas cuya distancia focal es mayor que la semidiagonal del plano focal, como la cámara Zeiss RMK 30/23 en la que el formato es de 23 x 23 cms. La semidiagonal mide 16 cms. y la distancia focal 30 cms.
- B.- Cámaras gran angular en las cuales la semidiagonal del plano focal es sensiblemente igual a la distancia focal, como la cámara Galileo-Santoni, modelo VI, distancia focal de 15 cms. y semidiagonal de 15 cms.
- C.- Cámara supergranangular en las que la distancia focal es inferior a la semidiagonal, como la cá-



tg. $\frac{1}{2}\alpha = \frac{L}{2f}$

Fig. 8

mara Wild RC9, en que las fotografías son de 23 x 23 cms. y la distancia focal es de 8.5 cms.

Estos tres tipos de cámaras tienen características diferentes entre sí, ya que la distancia focal, la distorsión y la resolución limitan la abertura del campo. - Entre menor sea ésta, mayor será la perpendicular de los rayos y menor la deforma

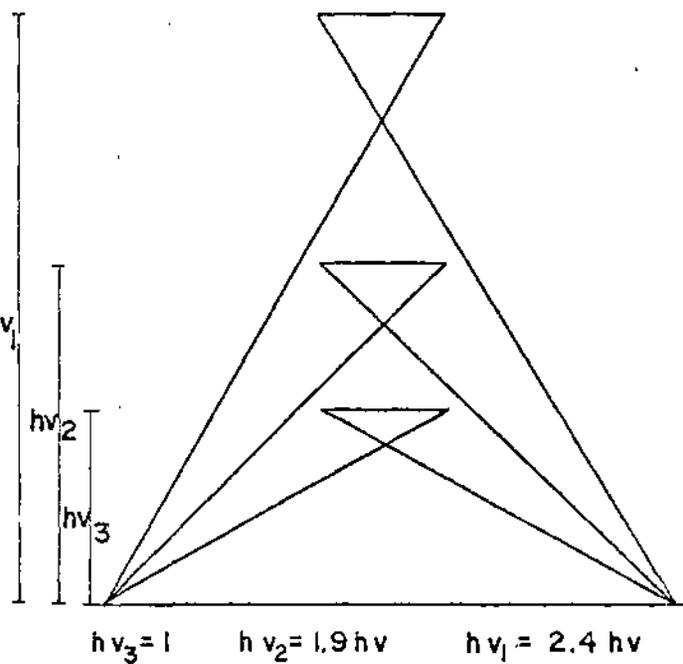
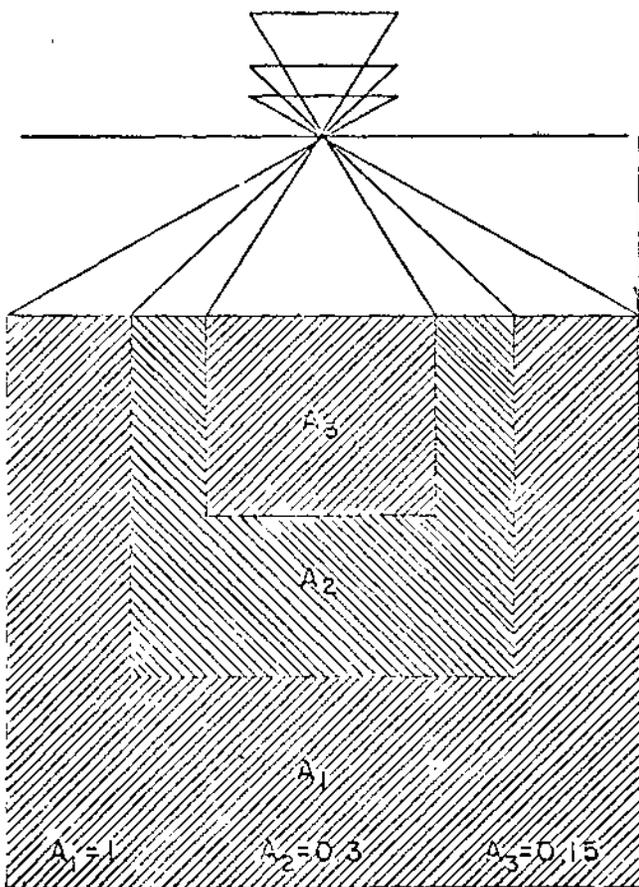


Fig. 9.- Diferencias entre el área cubierta para una misma altura de vuelo o entre la altura de vuelo para una misma escala de fotografías, para cámaras normal, granangular y supergranangular.

ción perspectiva, así como los desplazamientos por relieve y distorsión, caso de las cámaras normales, que las hace propias para trabajos de alta precisión como el catastro urbano.

Las cámaras supergranangulares son el caso opuesto y se utilizan en trabajos de cartografía, donde las más de las veces la escala del plano es inferior a la escala de fotografía.

Para la mayor parte de los trabajos de ingeniería se recomienda la cámara granangular, que es una solución intermedia. Debe aclararse que el costo de los procesos es proporcional a la precisión, ya que las alturas de vuelo, para una escala dada, son menores entre mayor sea el ángulo de abertura. Esto es, volando a igual altura se cubre mucho mayor área por fotografía con una cámara supergranangular que con una cámara normal.

En nuestro país, el 95% de las cámaras que se utilizan son granangulares.

La reconstrucción del relieve.

Si consideramos que los dos ojos de una persona miran al punto A, sus correspondientes imágenes se formarán en A_1 y A_2 . Un punto B, sobre la visual de ojo derecho, formará las imágenes B_1 y B_2 , confundiendo B_1 y A_1 .

Si la distancia A B es grande, el ángulo AN_2B y el ángulo $A_2N_2B_2$ serán grandes, y el observador consciente de ello apreciará que B está detrás de A. Si la distancia se reduce, los ángulos se irán haciendo menores y habrá un momento en que el observador no distinguirá la posición relativa entre A y B; es decir, habrá una zona de incertidumbre.

Si continuamos moviendo el punto B, aumentará el valor angular, apreciándose que B está delante de A.

El ángulo $A_2N_2B_2$ que se forma en el ojo se llama "paralaje estereoscópico". Este fenómeno es el que permi-

te al hombre estimar la posición relativa entre las figuras, lo que también se llama visión binocular, en relieve o de tercera dimensión.

La agudeza visual de una persona es el mínimo pa

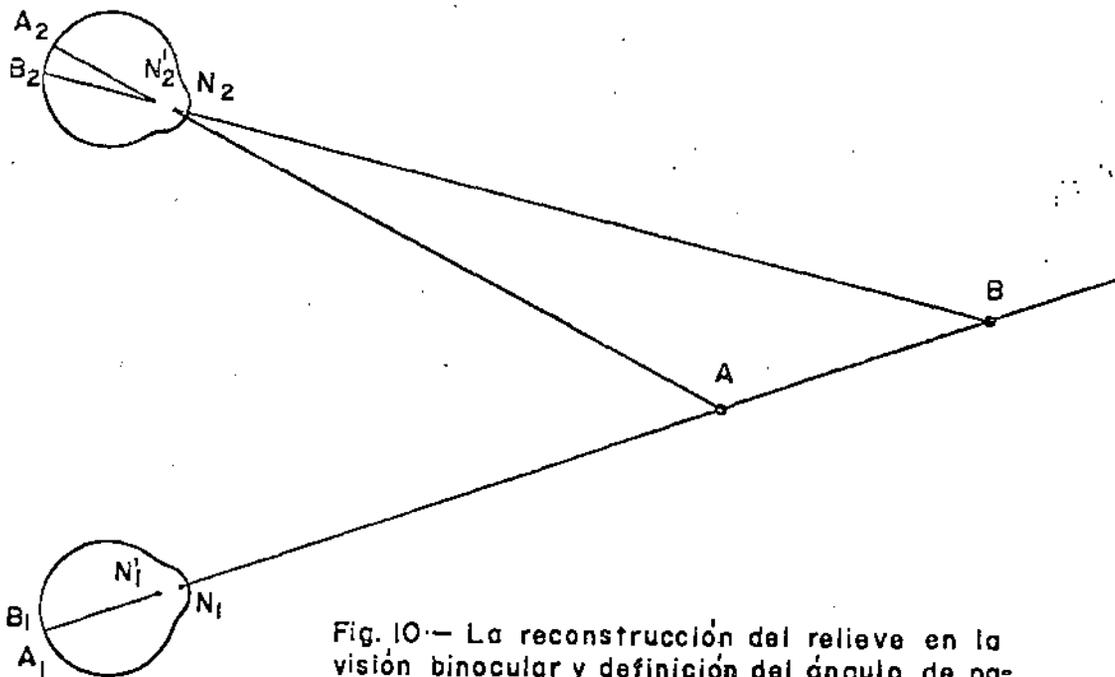


Fig. 10.— La reconstrucción del relieve en la visión binocular y definición del ángulo de paralaje estereoscópico

ralaje estereoscópico que es capaz de apreciar y es una - cualidad susceptible de mejorarse con la práctica. En la operación de los equipos de restitución esta cualidad es -- esencial y en un período de adiestramiento de tres semanas puede determinarse si una persona tiene la agudeza visual-necesaria. Un buen operador debe percibir un paralaje estereoscópico de 10".

En la estereofotogrametría, la observación de - las fotos, ya sea para fines métricos o de interpretación, se hace sobre modelos estereoscópicos que se consiguen me-- diante una visión binocular del terreno. Es decir, que si

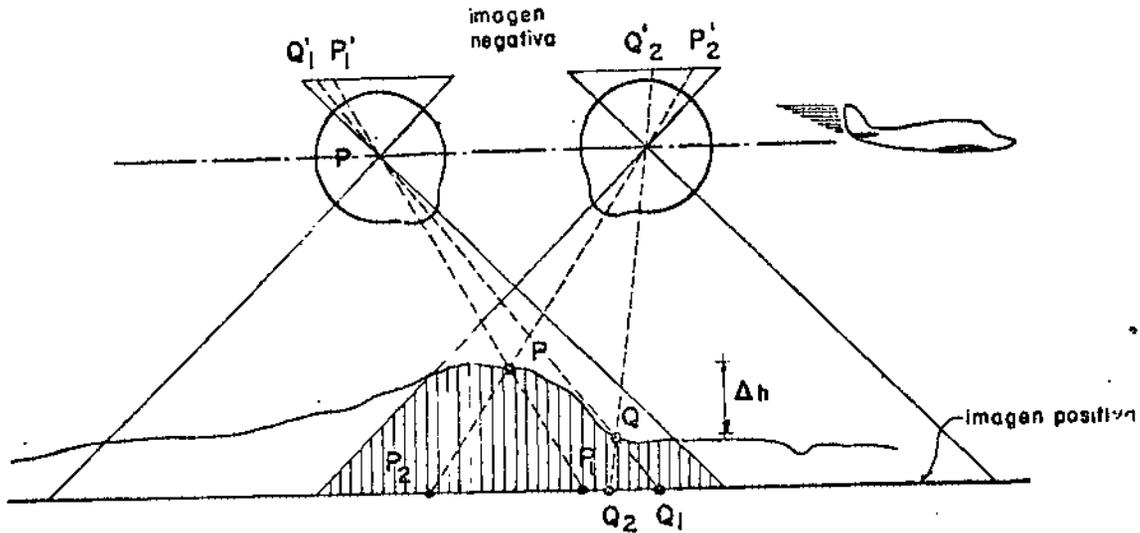


Fig. II. — La superposición de las fotografías es utilizada para poder observarlas estereoscópicamente. $Q_2 P_2' - Q_1 P_1' = f(Q_2 P_2 - Q_1 P_1) = f(\Delta h)$

queremos observar una imagen en relieve tendremos que fotografiarla desde diferentes puntos de vista y observar cada imagen con un ojo.

Además, los ojos para fusionar dos imágenes de un mismo objeto imponen otras restricciones, siendo las tres más importantes: el tamaño aparente entre una y otra imágenes debe de ser más ó menos igual; las relaciones límite son $4/5$ y $6/5$, además las visuales de cada ojo a su respectiva imagen deben ser convergentes o a lo más paralelas y, por último, la vista hace coincidir verticalmente las dos visuales a un mismo punto y para ello nos da una tolerancia de $30'$.

Los datos anteriores son para personas normales, ya que las estrábicas no pueden reconstruir esta visión en relieve ni tampoco las daltónicas, ni las monocromáticas, cuando el medio para lograr esta fusión de imágenes

sea la proyección en colores complementarios.

La observación directa de las fotografías aéreas es difícil e impráctica. Unas fotografías de 23 x 23 cms., unidas por los bordes, tendrán detalles homólogos separados entre sí unos 100 mm. Esto excede con mucho la separación de nuestros ojos (\approx 65 mm.), por lo cual será necesario un sistema que permita esta fusión estereoscópica.

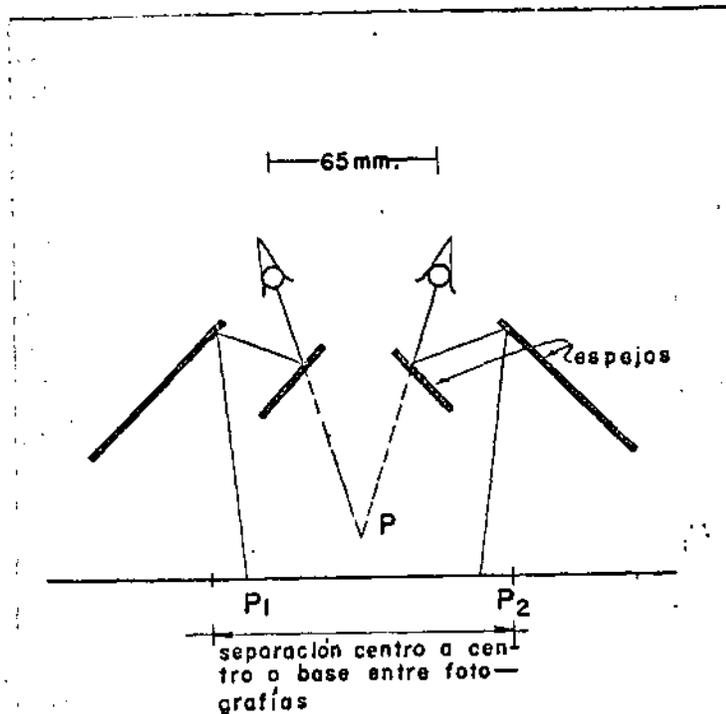


Fig. 12.— Fusión estereoscópica por el sistema de observación

Actualmente se utilizan dos sistemas: uno llamado de observación y otro de proyección. En el primero de los casos se utiliza un sistema óptico, con o sin aumento, para observar las imágenes. En el segundo caso, las fotografías son proyectadas en colores complementarios, utilizando para ello filtros.

El observador usa el mismo tipo de filtro en unos anteojos, a través de los cuales observa la proyección. En esta forma sólo se da acceso a cada ojo a la imagen proyectada en el color del filtro que cubre dicho ojo.

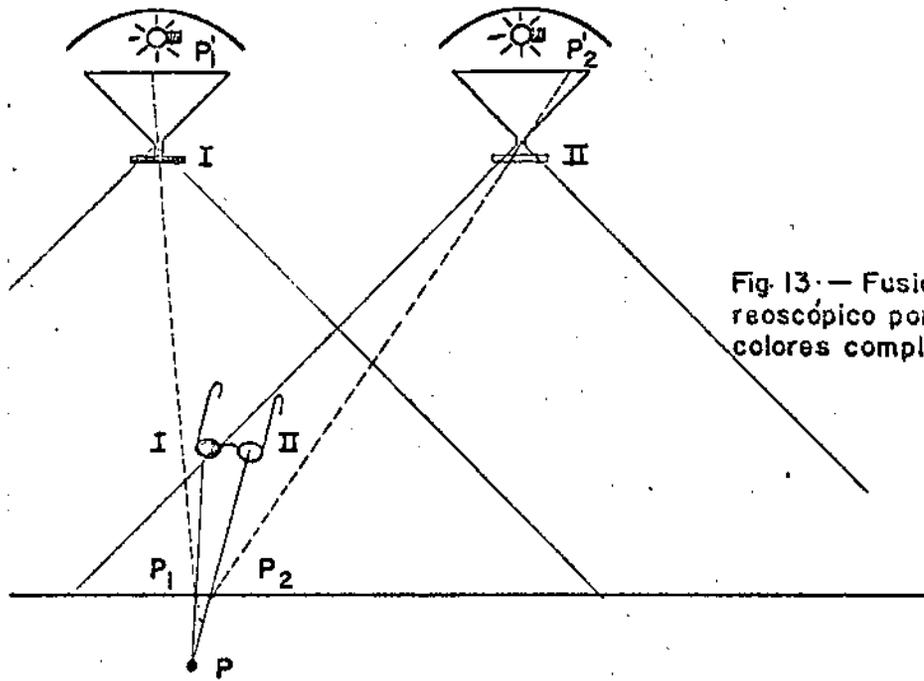


Fig. 13.— Fusión estereoscópica por el sistema de colores complementarios.

Las ventajas y desventajas de estos sistemas se discutirán cuando hagamos referencia a los equipos de restitución donde las exigencias de precisión son mucho mayores y el sistema empleado juega un papel determinante.

II. FOTOGRAFIA AEREA

El levantamiento fotográfico.

Según se asentó en el capítulo anterior, la estereoscopia de imágenes fotografiadas se obtiene por la observación de dos fotografías del mismo sujeto -una para cada ojo-, tomadas desde diferente estación.

Cuando el levantamiento es aerofotogramétrico, el área contenida en dos fotografías se sobrepone y a cada exposición corresponde diferente posición del avión.

La sobreposición entre fotografías consecutivas, comúnmente llamada sobreposición longitudinal, debería ser como mínimo del 50% para tener en estereoscopia toda el área cubierta por una línea de vuelo.

Sin embargo, la precisión de los mecanismos que la controlan y la influencia que sobre este factor tienen

los desniveles del terreno con respecto a la altura de vuelo, limitan la sobreposición a un mínimo de 55%.

En efecto, la sobreposición se mantendría constante si el terreno fotografiado fuese plano. Pero al variar la distancia objetivo-terreno por causa de los desniveles existentes, será mayor el área cubierta para las zonas más alejadas, es decir, las de menor altura. Esta variación será proporcional a la relación $\Delta h/hv$ (fig.14),

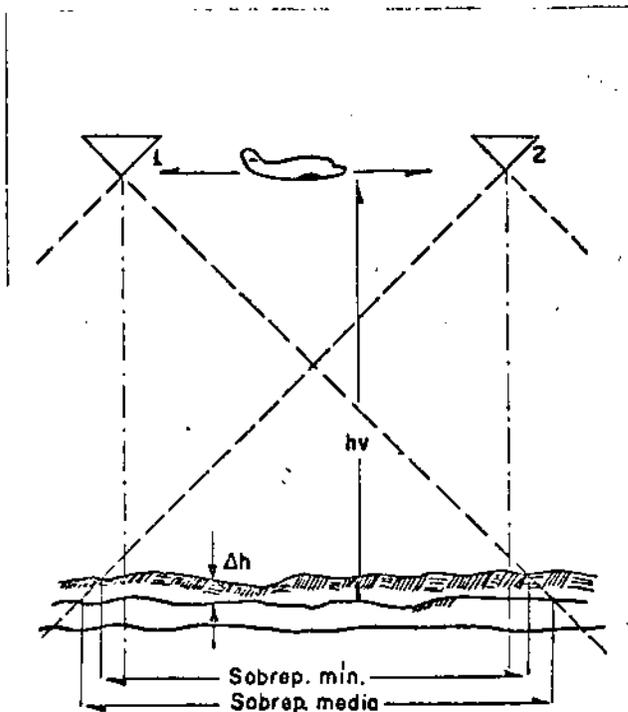


Fig.14.-Variación en la sobreposición longitudinal por desniveles del terreno.

por lo que la sobreposición longitudinal indicada para un mínimo de 55% será:

$$= 55 + \frac{\Delta h}{h v} 100 (\%)$$

Para lograr una mayor facilidad al ejecutar la misión fotográfica y más que nada por limitaciones físicas en la construcción de los equipos de restitución, las líneas de vuelo deben ser rectas horizontales y, para tener una área con recubrimiento estereoscópico en un mínimo de líneas de vuelo, éstas deberán ser paralelas entre sí y sobreponerse lateralmente.

Los medios de que se dispone para determinar la sobreposición entre fajas de fotografías (sobreposición transversal), son menos precisos que los que tienen para controlar la sobreposición longitudinal. Además, como se verá posteriormente, los errores residuales en los procesos de orientación causan deformaciones cuyo máximo se presenta en las orillas de la faja fotografiada, por lo que el mínimo aceptado es de un 15% y, al igual que la sobreposición longitudinal, aquella se ve afectada por los



desniveles del terreno.

Haciendo las mismas consideraciones se determina que la sobreposición transversal de proyecto para un mínimo del 15% deberá ser:

$$= 15 + \frac{\Delta h}{h_v} 100 (\%)$$

Aun cuando la fotografía aérea de eje vertical no es el único tipo de fotografía utilizado, nos referiremos exclusivamente a ellas, ya que los otros tipos en que el eje de la cámara se mantiene oblicuo u horizontal tienen un campo de aplicación muy especializado y por lo tanto restringido.

Las principales desventajas de las fotografías de eje oblicuo son la variación exagerada en la escala de la imagen, pudiendo llegar al infinito en las cámaras que fotografían hasta el horizonte. Además los objetos situados en un primer plano ocultan los que se encuentran atrás de ellos, originando lo que se llaman zonas muertas o sin estereoscopia.

Las fotografías de eje vertical son las que más semejan una proyección horizontal y, en general, satisfacen todas las exigencias de precisión que se tienen en los trabajos comunes de ingeniería.

Como muchos de los equipos donde se procesan -

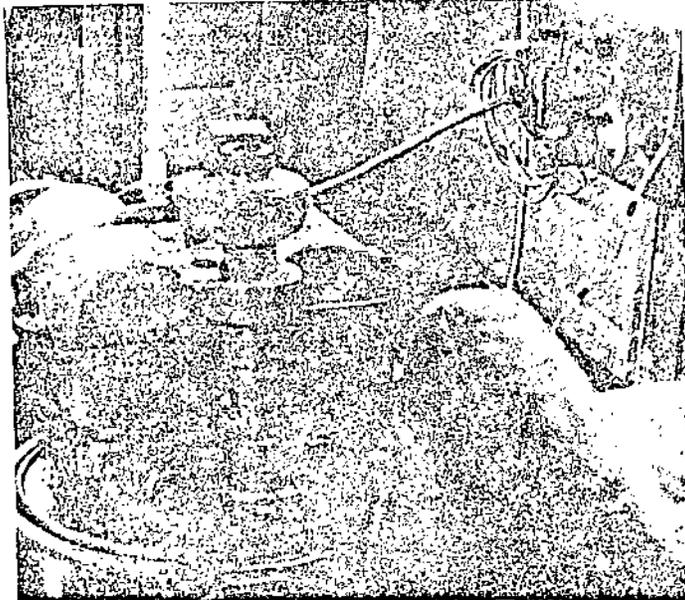


Fig. 16.- Instalación de una cámara Wild RG8 en un avión Queen Air 80.

las fotografías, se diseñan específicamente para las de eje vertical, esta condición debe satisfacerse dentro de las tolerancias de los instrumentos. Normalmente, no se permiten desviaciones de la vertical mayores de cinco grados.

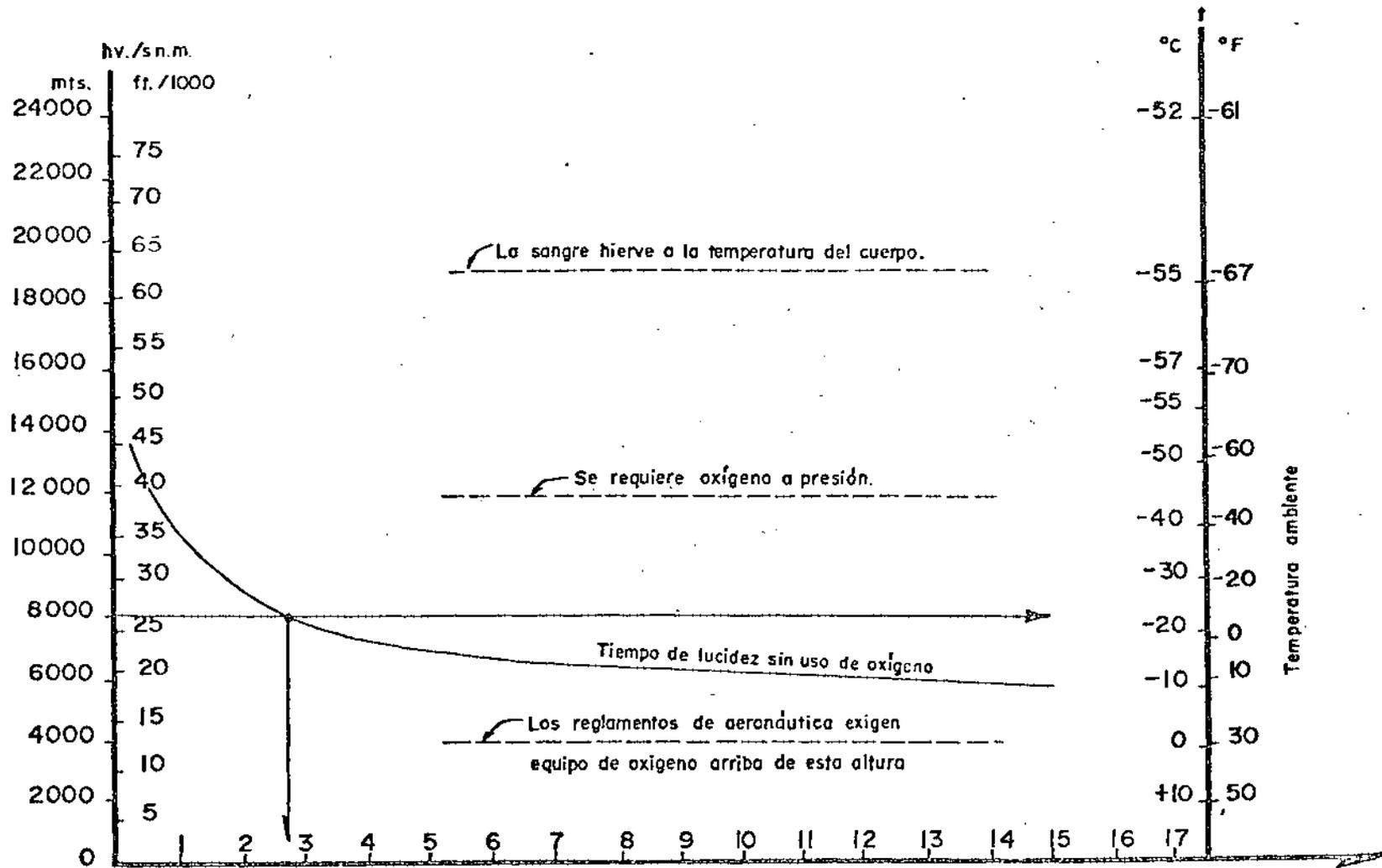
Las anteriores limitaciones figuran como especificaciones en los levantamientos fotográficos y otras características que son variables, como la dirección de las líneas de vuelo, altitud, etc. son propias de cada caso y constituyen lo que se llama el plan de vuelo.

Para formular el plan de vuelo se requieren -- tres datos básicos que debe proporcionar quien solicita las fotografías: tipo de cámara con que deberán tomarse; -- escala media a la que se desean y un croquis o plano donde se delimite el área por fotografiar.

En lo que se refiere al tipo de cámara, en el capítulo anterior se discutieron las ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos. En los ejemplos que se desarrollen aquí nos referiremos exclusivamente a cámaras de gran angular (23 x 23 cm y $f = 15$ cm).

La escala de las fotografías es un requisito -- de quien las solicitó y la misma será determinada por la finalidad a que se les destine. Si las mismas van a utilizarse en un levantamiento fotogramétrico, se determinará la escala de las fotografías en función de la precisión que se requiera y del equipo de que se disponga para hacer el trabajo. Esto se tratará en mayor detalle en el capítulo respectivo.

Por último, el croquis, plano o mosaico donde -- se delimite el área por fotografiar, debe contener detalles planimétricos y altimétricos, identificables desde -- el avión, definiendo la zona por levantar. Al seleccionarse estos detalles, debe tenerse presente la altura a -- que se volará, para que los mismos sean visibles al piloto.



Tiempo en minutos que puede permanecer el hombre sin equipo de oxígeno

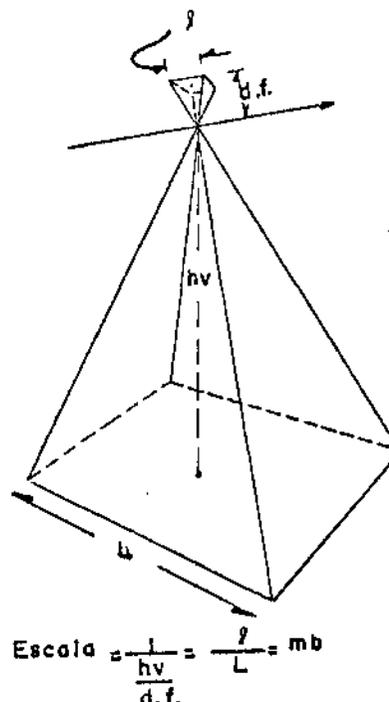
El área por fotografiar generalmente es irregular y lo primero que deberá intentarse es delimitarla por rectas paralelas, es decir, hacerla compatible con la forma en que se vuela.

De no existir ningún requisito, son aconsejables las direcciones este-oeste o norte-sur, siempre que no obligue esto a un mayor número de líneas de vuelo.

En la mayoría de los casos el resultado será una serie de rectángulos cubriendo el área solicitada. En caso de que los rectángulos sean grandes, deberá verificarse si se pueden ejecutar líneas de vuelo de esa magnitud, ya que las referencias del terreno que determinan los ejes de vuelo no pueden ser observadas por el piloto o navegante desde cualquier distancia. En ello influye la altura de vuelo, velocidad del avión y equipo de navegación. A mayor altura de vuelo, menor importancia tiene una desviación con respecto a

la línea de vuelo teórica. También el alcance de la vista es proporcional a la altura de vuelo. La velocidad del avión interviene en cuanto a la facilidad con que los vientos dominantes pueden hacerlo variar de curso.

Por último, los instrumentos de navegación influyen en el control de la nave. Mientras más precisos sean, más fácil harán su operación. Para escalas chicas,



$$\text{Escala} = \frac{1}{\frac{hv}{d.f.}} = \frac{f}{L} = mb$$

Fig.18.- Relación entre la escala de fotografía y altura de vuelo.

1:60 000, pueden volarse sin instrumentos de navegación - líneas de 200 y hasta 300 kms. de longitud, mientras que para escalas grandes, como 1:5 000, rara vez se exceden - los 15 kms.

Dentro de las marcas comerciales, se prefieren - aviones cuya velocidad varía entre 150 y 300 kms/hra., - cuyo techo de servicio sea de 8,000 mts. como mínimo, con capacidad de carga de 400 kg., además de la tripulación; - autonomía de 4 hrs. estables y de preferencia de ala alta para tener buena visibilidad.

La escala de las fotografías debe mantenerse -- con variaciones no mayores del 10%, y como en ello influ- yen los desniveles del terreno ya que la escala es función de la altura de vuelo, aquellos deberán estudiarse para - determinar si los máximos desniveles no originan variacio- nes mayores a las permisibles, en cuyo caso deberán subdi- vidirse los rectángulos determinados, en fracciones que - no contengan desniveles mayores al 20% de la altura de - vuelo.

Terminada la operación anterior, puede que re-- sulten muchas fracciones, en cuyo caso conviene reajustar el plan de vuelo, cambiando la dirección de las líneas. - Siempre deberá tenerse como meta lograr un mínimo de lí-- neas, ya que el número de ellas influye directamente en - el costo de ulteriores procesos.

La dirección y altitud de vuelo deben anotar-- se para cada zona en que se haya subdividido el área por- fotografiar. Estos datos deben proporcionarse en el mis- mo sistema de unidades que el de los instrumentos con que cuenta el avión (generalmente de fabricación norteameri-- cana). Si el croquis donde se planea el vuelo carece de elevaciones, el trabajo deberá llevarlo a cabo el piloto- o navegante valiéndose de los altímetros del avión, los - que usará en la determinación de la altura del terreno y - a los que sumará la altura de vuelo para tener la altitud

(S.N.M.) a que se fotografiará.

Si los planos o mosaico en que se formula el

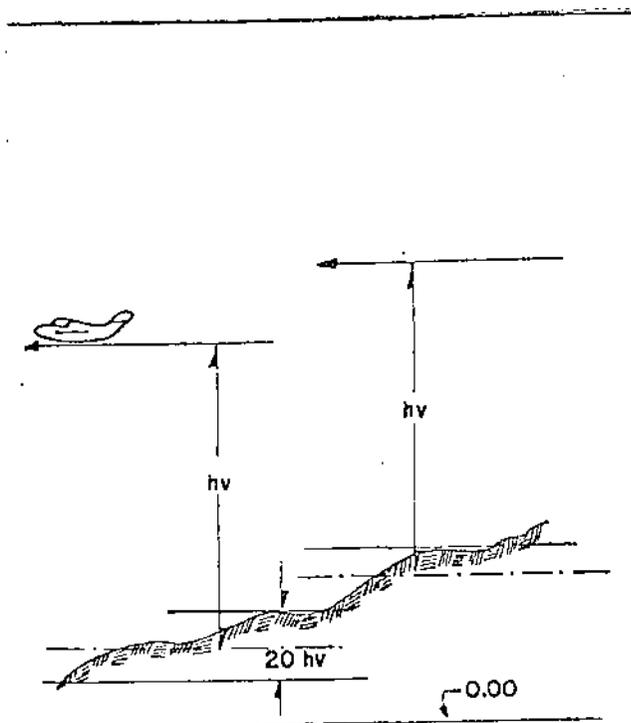


Fig.19.- Cambio en las altitudes de vuelo para mantener una escala uniforme.

plan de vuelo están a escala adecuada y suficientemente detallados, el siguiente paso será determinar los centros de las líneas de vuelo y marcarlos, referidos a detalles planimétricos que se pueden identificar sobre el terreno:

Cuando lo anterior no sea posible, el personal de vuelo determinará los centros de las líneas, auxiliándose con marcas colocadas en el montante o en el ala del avión: Estas marcas y el ojo del piloto o navegante definen

una visual cuya intersección en el terreno determina un punto del centro de la próxima línea de vuelo o puntos de la zona de sobreposición entre líneas adyacentes.

Al volarse la primera línea se determinan varios

• Esta forma de obtener las fotografías, llamada vuelo por contacto, que es probablemente la que más se utiliza, no es la única. Existen varios sistemas para controlar un vuelo fotográfico, sistemas aplicables más que nada en el levantamiento de grandes áreas. Estos sistemas consisten en fijar, generalmente por trilateración, la posición del avión desde estaciones terrestres de coordenadas conocidas. Como el desarrollo y la aplicación de estos métodos está encaminado más bien a suplir el apoyo terrestre que a servir de control de vuelo, la discusión de los diferentes sistemas y su precisión se tratará al hablar de los trabajos de apoyo necesarios para la restitución.

de estos puntos, que sirven de referencia para determinar la segunda faja. Y al volarse ésta, se irán observando los de la tercera, y así sucesivamente.

En algunos países es norma auxiliar la navegación con equipos complementarios que ayudan a conservar la dirección de vuelo, como son los periscopios solares o calculadores para determinar el grado de los virajes necesarios para arribar al centro de las líneas adyacentes. El ángulo girado será igual a 180° , más o menos dos veces el ángulo de deriva; positivo, si el viraje se hace a favor del viento y negativo, en caso contrario. El grado de viraje es más complicado de calcular, ya que depende de la velocidad, ángulo de deriva y altura de vuelo. Sería imposible determinarlo analíticamente en el transcurso del vuelo, por lo que generalmente se lleva tabulado en forma de nomogramas de rápido acceso (Ver anexo A).

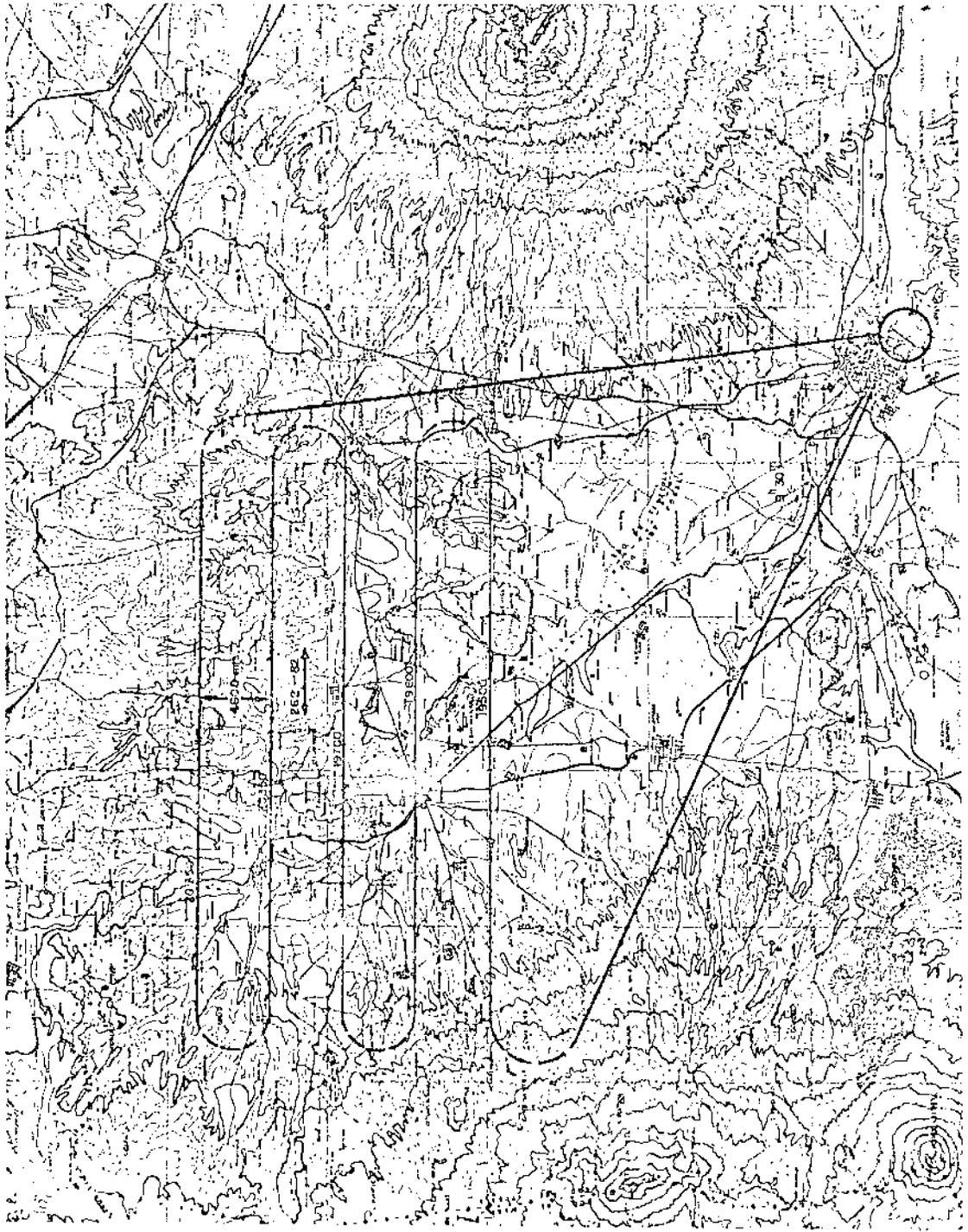
Sin embargo, en nuestro medio la ejecución correcta del trabajo depende más que nada de operadores experimentados pues se carece de sistemas de navegación. Con los accesorios propios de la cámara puede lograrse una precisión de $\pm 3\%$ en la sobreposición lateral y del 1% en la longitudinal.

Existen casos especiales en que por economía en la ejecución del apoyo terrestre o por haber sido ejecutado éste antes del vuelo fotográfico son modificados los valores normales de sobreposición. Estos casos serán vistos con más detalle en el capítulo respectivo.

Las estimaciones sobre la duración del vuelo fotográfico, el consumo de película, el avión y cámara por utilizar, el lugar apropiado para hacer base y demás cuestiones relacionadas, completan el plan de vuelo.

En la fig. 20 se muestra la forma usual en que se ejecuta un plan de vuelo y el resultado obtenido.

Para poder ejecutar un vuelo fotográfico que reúna todos los requisitos asentados, es necesario que la cámara métrica esté dotada de una serie de accesorios y



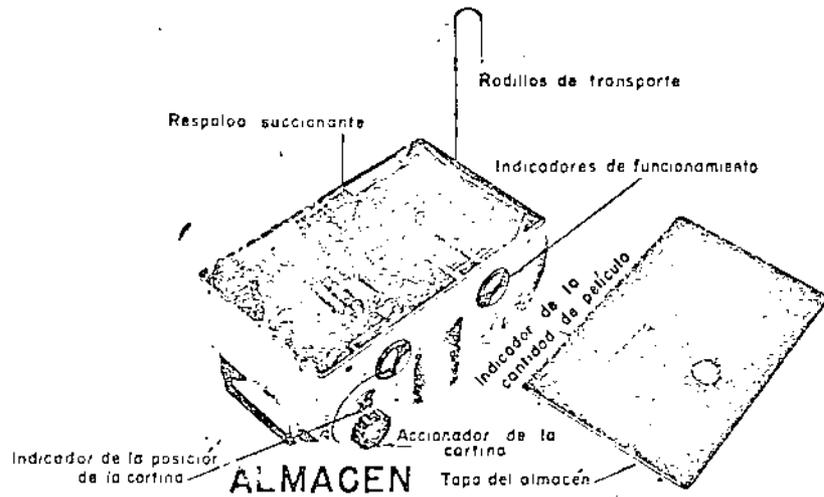
características especiales que le permitan cumplir las especificaciones requeridas.

El primero de estos elementos es el montaje; estructura de liga entre el avión y la cámara; luego un intervalómetro con el que se puede regular la sobreposición longitudinal y un derivómetro para verificar la dirección del vuelo, además de niveles para rectificar la verticalidad de la cámara y alarmas que controlen el funcionamiento del equipo.

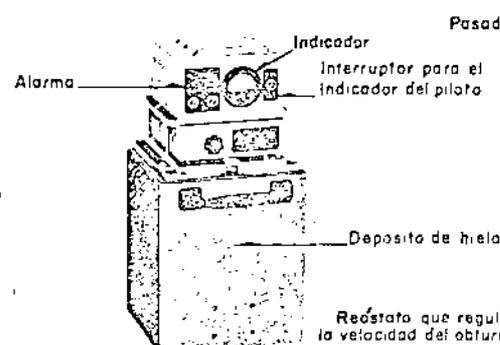
El montaje de la cámara (Fig. 21) consiste en un aro, anclado a la estructura del avión, dentro del cual la cámara queda en libertad de giro, horizontalmente, sobre un disco graduado; y verticalmente, por la acción de los tornillos niveladores que sirven de liga entre el montaje y la propia cámara. La estructura cuenta con amortiguadores a base de hule para reducir la transmisión de vibraciones entre el avión y la cámara.

El control de la sobreposición longitudinal, que se ve afectado por la velocidad del avión y la altura del vuelo, podrían determinarse analíticamente (tiempo entre exposiciones); pero los instrumentos del avión no proporcionan los datos con la precisión requerida, pues la velocidad indicada debe ser corregida por presión y temperatura. Y aun cuando esto pudiera lograrse, el resultado sería la velocidad relativa de la nave con respecto al medio y no al terreno; además, la indicación de la altura de vuelo también es afectada por otras correcciones y en la determinación de la altura real se tiene una precisión tan pobre que no puede ser utilizado el dato.

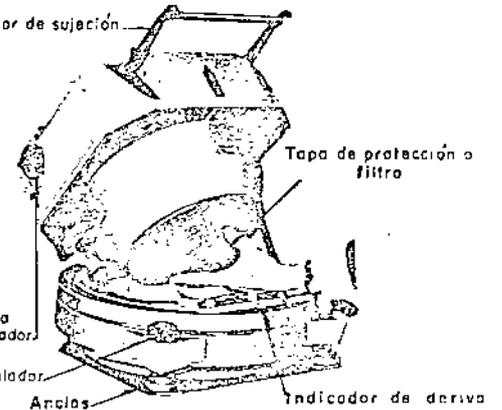
Lo anterior se soluciona con ayuda de un intervalómetro (calculador óptico), cuya forma más simple sería la de un visor que tuviera igual geometría que la cámara. En ese visor veríamos avanzar el terreno; al aparecer un detalle ordenaríamos una exposición y después de que ese detalle recorriera el 40% del visor provocaríamos la se--



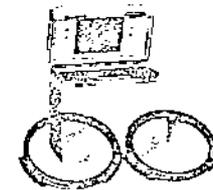
ALMACEN



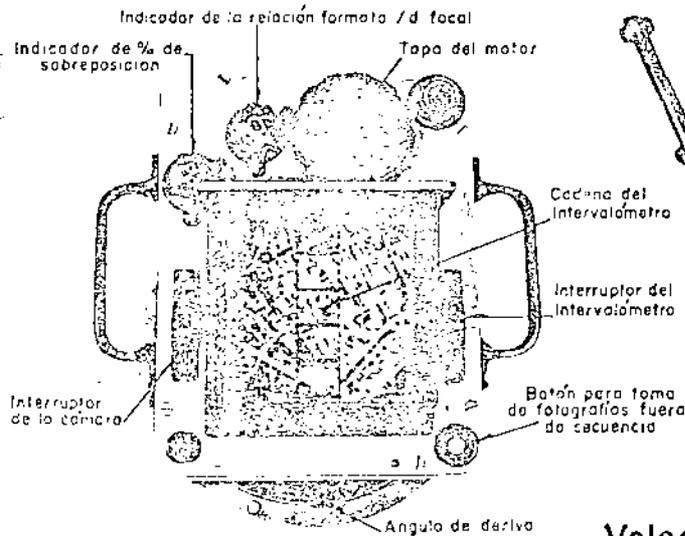
ESTATOSCOPO



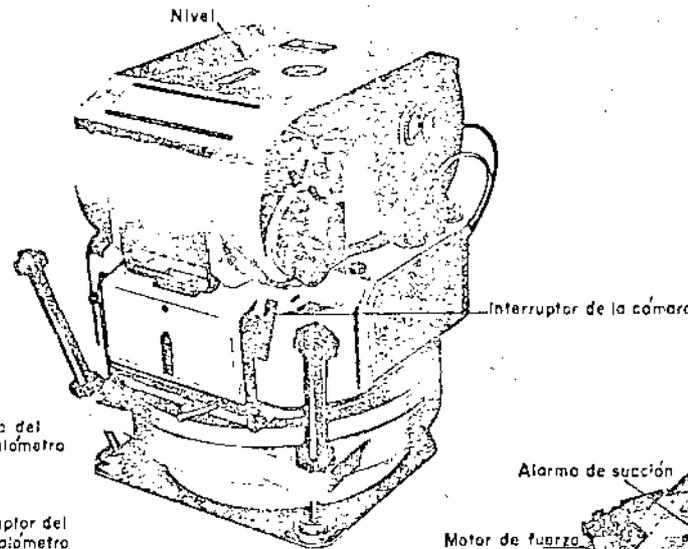
CAMARA Y MONTAJE



FILTROS

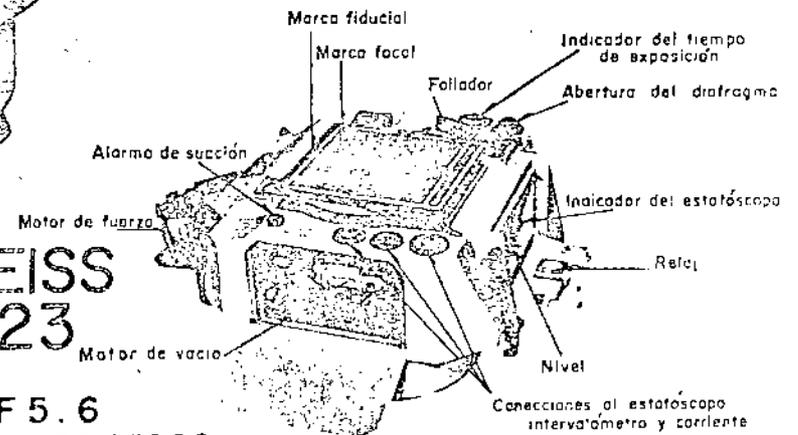


**INTERVALOMETRO
DERIVOMETRO**



**CAMARA ZEISS
RMK 15 / 23**

Objetivo Pleogón F 5.6
Velocidad del Obturador 1/100-1/1000
Capacidad del Almacén 120mts.



**CUERPO DE LA
CAMARA**

gunda exposición, logrando 2 fotografías con el 60% de -
sobreposición longitudinal y volveríamos nuestra atención
a un nuevo detalle, estableciendo una secuencia que nos -
permitiría lograr la sobreposición longitudinal correcta.

En los equipos más completos como el intervaló-
metro Zeiss IRU (Fig. 22), dicho instrumento es un calcu-
lador óptico-mecánico en el cual el desplazamiento relati-
vo entre el avión y el terreno se determina igualando la-
velocidad aparente del terreno, observado en el visor del
referido intervalómetro, con la de una cadena (cuya velo-
cidad es regulada por un reóstato), que también se refle-
ja en el visor.

Las constantes que definen la cámara y el por-
centaje de sobreposición deseado, pueden modificarse a vo-
luntad con lo que se logra que el intervalómetro sirva pa-
ra cualquier tipo de cámara y valor de sobreposición. --
Además, el acoplamiento es directo y la sucesión de expo-
siciones es producida en forma automática.

La deriva, fenómeno causado por vientos trans-
versales a la dirección de vuelo, origina el desplazamien-
to del avión de su línea teórica de vuelo, aun cuando su-
eje conserve esa dirección (Fig. 22). La deriva debe ser
detectada y corregida para que las fotografías se tomen -
sobre la dirección planeada. En la mayor parte de las -
cámaras como la Zeiss RMK 15/23 que se utiliza para ilus-
trar la explicación, el intervalómetro tiene también la -
función de derivómetro.

Cuando la cámara y el intervalómetro se insta-
lan en el avión, el eje de éstos coinciden y sobre sus -
montajes graduados se lee un ángulo nulo.

Al hacerse el vuelo fotográfico, si no soplan -
vientos transversales, la cámara y el vehículo se despla-
zarán según su eje y en el visor del intervalómetro el -
terreno se desplazará paralelamente a la dirección de la-
cadena.

Al soplar un viento lateral, el avión mantendrá su eje en el rumbo anotado, pero su trayectoria se irá desplazando en el sentido del viento (Fig. 22 B), lo cual constituye la deriva que se advierte en el visor del intervalómetro, ya que los detalles del terreno empezarán a desplazarse en una dirección no paralela a la Cadena.

Para determinar el valor del ángulo de deriva se gira el intervalómetro, hasta que los desplazamientos de cadena e imagen sean paralelos. El ángulo marcado en el montaje del intervalómetro es el ángulo de deriva y será la corrección que debe darse al azimut de vuelo, para que el avión, se desplace sobre la dirección planeada. (Fig. 22 C).

Efectuada la anterior corrección, se gira la cámara sobre su

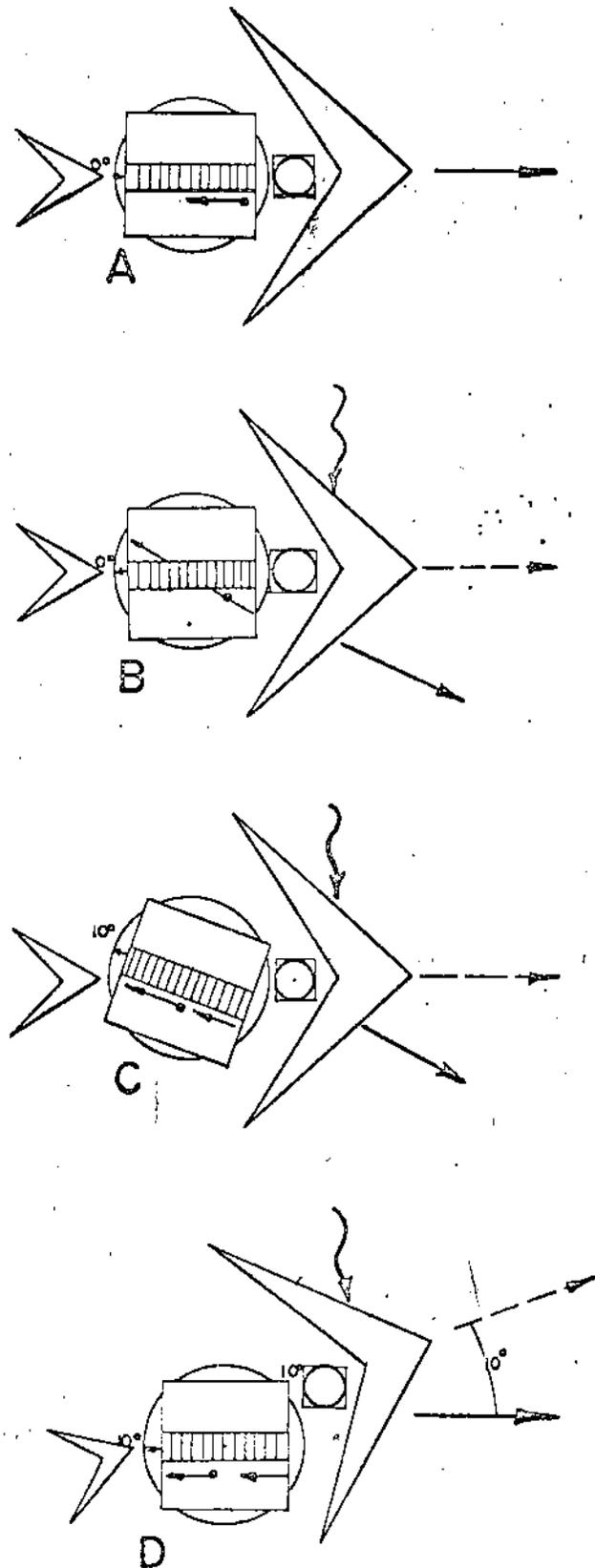


Fig. 22.- Determinación y corrección de la deriva

montaje, para que se lea un ángulo igual al determinado - en el intervalómetro, con lo que se logra eliminar la deriva.

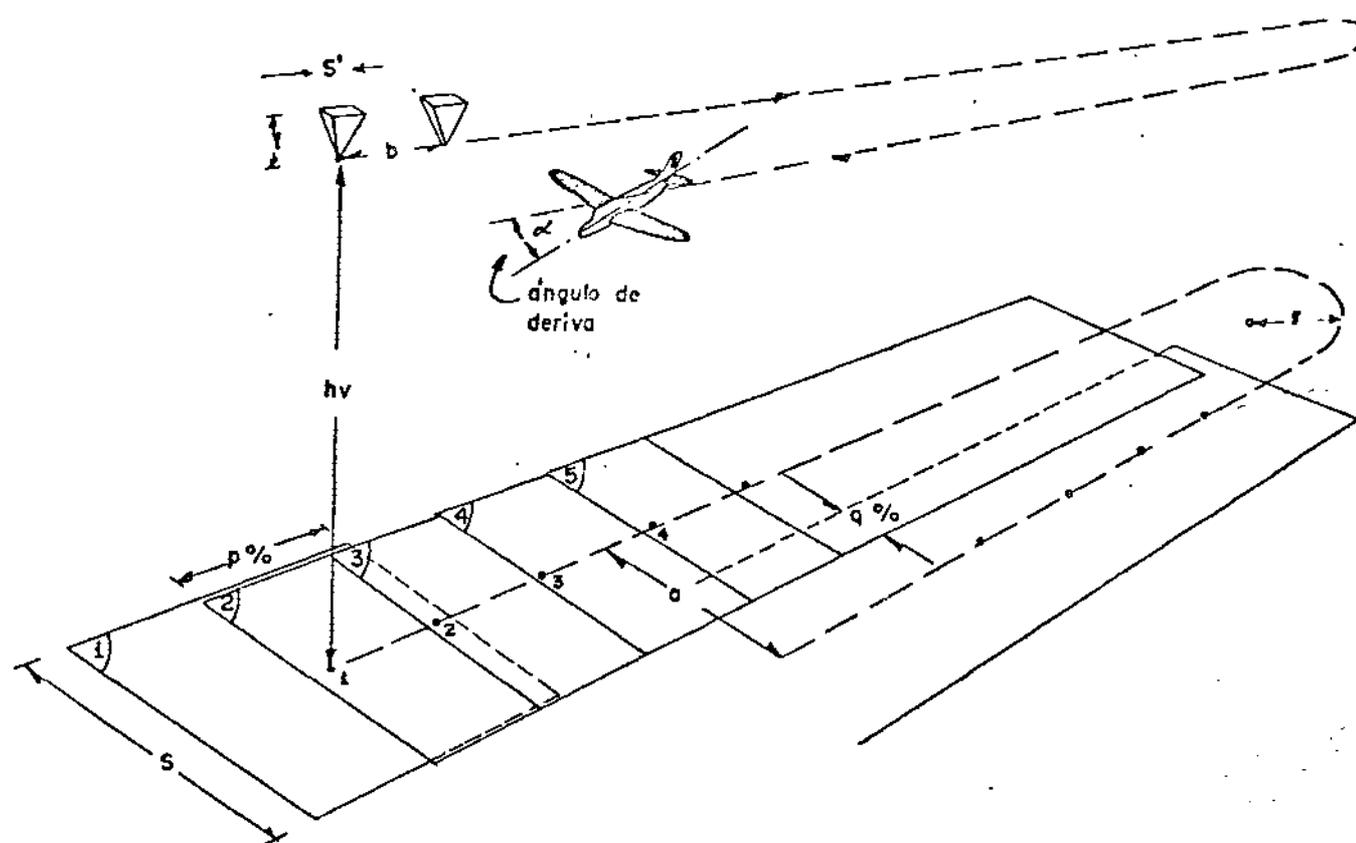
Cualquier error en la determinación de la deriva o en la corrección por parte del camarógrafo trae como consecuencia un giro de las fotografías con respecto a la línea de vuelo. Este valor tendrá una tolerancia de $\pm 5^\circ$.

Como los centros de las líneas de vuelo son determinados por la tripulación, no conviene volar con derivas mayores de 15° , ya que las marcas del ala o del montante no definen el centro de las líneas por lo girado del avión. Además, el control de la nave será difícil, pues estos valores de deriva son indicativos de fuertes corrientes de aire.

Para controlar la horizontalidad de la línea de vuelo se utiliza un estatoscopio o bien un altímetro. El primero, que es más preciso, es un barómetro diferencial muy sensible a los cambios de presión, en el que se neutraliza la influencia de la temperatura manteniendo el mecanismo dentro de un depósito de hielo en fusión. El indicador del dispositivo marca las desviaciones en más ó menos, con respecto a la altura en que fué conectado.

Además de los accesorios antes mencionados, se tienen alarmas y seguros que impiden una operación incorrecta de la cámara. El equipo no funciona si no se quita la tapa de protección del objetivo; si no tiene puesto el filtro; si la cortina del almacén está cerrada; si el almacén no descansa sobre el marco focal; si alguna conexión eléctrica es incorrecta o el voltaje en la red no es el requerido. Además, tiene alarma para indicar la falta de succión sobre la película.

Para conocer de un modo más claro el trabajo que se realiza en un levantamiento fotogramétrico, describiremos las labores que se ejecutan prescindiendo de las-



s' formato (Lado del negativo)

f distancia focal

h_v altura de vuelo (sobre el terreno)

$\frac{1}{mb} = \frac{f}{h_v} = \frac{s'}{s}$ escala de fotografías

V = velocidad de vuelo

$\Delta t = \frac{s' \cdot mb}{V} \left(1 - \frac{p}{100}\right)$ intervalo entre exposiciones

$b = s \cdot mb \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right)$ base para superposición de p (%)

$a = s \cdot mb \cdot \left(1 - \frac{q}{100}\right)$ separación entre centros de línea para q (%)

$Ff = s'^2 \cdot mb^2$ área de una fotografía

$F_m = s'^2 \cdot mb^2 \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(1 - \frac{q}{100}\right)$ área de un modelo

Δ = área por volar

$n = \frac{\Delta}{F_m}$ número de fotografías necesarias

Fig. 2.3

actividades propias de conducir un avión:

- 1.- En el cuarto obscuro se toma de su envase película virgen y se enrolla sobre una bobina de la cámara. En las primeras vueltas se verifica que la posición sea la correcta, de tal manera que la película no tenga pliegues. El carrete se instala en el almacén y se enreda através de los rodillos de transporte en la bobina receptora, verificándose también que no quede plegada. En forma manual se hacen girar los rodillos de transporte y bobinas, para comprobar que la película corra libremente, en cuyo caso se cierra la tapa del almacén, así como la cortina de protección.
- 2.- El almacén se coloca sobre la cámara, teniendo cuidado de que embone debidamente y de que los engranes de fuerza queden correctamente acoplados. Se abre la cortina del almacén y con las baterías del avión se hace funcionar el equipo, verificando su correcta instalación.
- 3.- Ya en el aire, unos 15 minutos antes de llegar a la zona de trabajo, deberá retirarse del objetivo la placa metálica de protección, colocando en su lugar el filtro que vaya a utilizarse.
- 4.- Se conectará el interruptor principal de corriente y el del intervalómetro para que empiecen a funcionar los mecanismos (sin exponer película), alcanzando sus temperaturas y velocidades normales de operación al llegar a la zona de trabajo.
- 5.- El avión se llevará a su altitud, según lo indicado en el plan de vuelo, y al alcanzarla se conectará el estatoscopio llevando la aguja indicadora a la posición de cero.
- 6.- Sobre uno de los límites de trabajo empezará a volarse en el rumbo anotado y, mientras el piloto verifica los límites y referencias, el camarógrafo ajustará la cadena del intervalómetro de acuerdo con la velocidad

Fig. 24

M_b	hv		p=65% q=30%			t (seg)			
	KM	ft 1000	b_{mt}	a_{mt}	n	150 Km/h	200 Km/h	250 Km/h	300 Km/h
2 000	.305	1.00	161	322	1929	3.8	-	-	-
2 500	.381	1.25	201	402	1234	4.8	3.6	-	-
4 000	.610	2.00	322	644	482	7.7	5.8	4.8	3.8
5 000	.762	2.50	402	804	308	9.6	7.2	6.0	4.8
6 000	.914	3.00	483	966	214	11.6	8.7	7.2	5.8
8 000	1.218	4.00	644	1288	120	15.4	11.5	9.6	7.7
10 000	1.523	5.00	805	1610	77	19.3	14.5	12.0	9.6
15 000	2.287	7.50	1207	2414	34	28.9	21.7	18.1	14.5
20 000	3.048	10.00	1610	3230	19	38.6	28.9	24.1	19.3
25 000	3.810	12.50	2012	4024	12.3	48.2	36.1	30.1	24.1
30 000	4.569	15.00	2415	4830	8.5	57.9	43.4	36.1	28.9
40 000	6.096	20.00	3220	6440	4.8	77.2	57.9	48.2	38.6
50 000	7.620	25.00	4025	8050	3.1	96.5	72.4	60.3	48.2
60 000	9.144	30.00	4830	9660	2.1	115.8	86.8	72.3	57.9

Fig. 25

M_b	hv		p=55% q=15%			t (seg)			
	KM	ft 1000	b_{mt}	a_{mt}	n	150 Km/h	200 Km/h	250 Km/h	300 Km/h
2 000	.305	1.00	207	391	1235	4.9	3.7	-	-
2 500	.381	1.25	258	488	791	6.2	4.6	3.8	3.1
4 000	.610	2.00	414	762	308	9.9	7.4	6.1	4.9
5 000	.762	2.50	517	977	197	12.4	9.3	7.7	6.2
6 000	.914	3.00	621	1173	137	14.9	11.2	9.4	7.5
8 000	1.218	4.00	828	1564	77	19.9	14.9	12.5	10.0
10 000	1.523	5.00	1035	1955	49	24.8	18.6	15.5	12.4
15 000	2.287	7.50	1552	2932	22	37.2	27.9	23.2	18.6
20 000	3.048	10.00	2070	3910	12.3	49.0	36.7	30.6	24.5
25 000	3.810	12.50	2587	4887	7.9	62.0	46.5	38.7	31.0
30 000	4.569	15.00	3105	5865	5.5	74.5	55.9	46.5	37.2
40 000	6.096	20.00	4140	7820	3.1	98.9	74.2	61.8	49.5
50 000	7.620	25.00	5175	9775	2.0	124.0	93.0	77.5	62.0
60 000	9.144	30.00	6210	11730	1.4	149.2	111.9	93.2	74.5

n; número de fotografías por cada
100 Km² de superficie fotogra-
fiada.

t; intervalo de tiempo entre foto-
grafías.

aparente del terreno; determinará el ángulo de deriva, el cual será corregido en la cámara y hará las indica ciones pertinentes al piloto para que corrija el rumbo de vuelo.

- 7.- Si al recorrer el lindero las operaciones fueron co-- rrectas, se hará un viraje de 180° y se empezará la - toma de fotografías, para lo cual se conectará el in-- terruptor de intervalómetro que gobierna los disparos de la cámara.
- 8.- Al irse fotografiando la primera faja, el piloto rati-- ficará las referencias que la determinan y, sobre el ala o el montante, localizará las que vayan a utilizar se para la faja adyacente. También vigilará el indi-- cador del estatóscopo, para mantener la nave en su - altitud de vuelo, mientras que el camarógrafo estará-- pendiente del intervalómetro para mantener sincroniza-- da la velocidad de la cadena con el movimiento aparen-- te del terreno, o determinar la deriva si ésta cambia de valor. Igualmente estará pendiente del nivel de - burbuja acoplado a la cámara, que determina la verti-- calidad de la misma y, por último, cuidará de que en-- el almacén exista película virgen, observando el indi-- cador que lleva en la parte superior.
- 9.- Terminado el vuelo fotográfico, correrá un tramo --- (3 m.) de película virgen; cerrará la cortina del al-- macén; cortará los interruptores de energía eléctri-- ca; quitará el filtro y pondrá en su lugar la tapa - metálica de protección. A continuación hará el infor-- me de las condiciones en que se efectuó el levantamien-- to.
- 10.- De regreso a su base quitará la película de la bobina de la cámara, pasándola a la original. Luego, en su-- envase, acompañada del informe, la enviará al labora-- torio.

Nociones de fotografía.

Al hablar del funcionamiento de la cámara, intencionalmente hemos omitido el referirnos a la exposición y proceso de la película, para poder dedicar unas líneas especiales a tan complejo problema.

Las películas utilizadas en los levantamientos fotográficos son negativas; es decir, producen tonalidades contrarias a las reales y están compuestas por tres capas; la emulsión, la base y el antihalo.

La parte más gruesa es la base. Esta es la estructura que soporta las otras capas, siendo su función la de proporcionar estabilidad dimensional al conjunto, sobre todo a la emulsión, que es donde queda impresa la imagen.

Esta capa, que es una gelatina, no resiste ningún tipo de esfuerzo, por lo que debe quedar adherida a una superficie que proporcione la indeformabilidad, propiedad que debe garantizarse para que al reconstruir los rayos especiales en los equipos de restitución, éstos correspondan a los reales.

Actualmente se consigue, para cámaras métricas, película con base de cristal o de acetatos de celulosa en rollo y, según sea el material usado, se tendrán diferentes grados de deformación por cambios de temperatura y, o

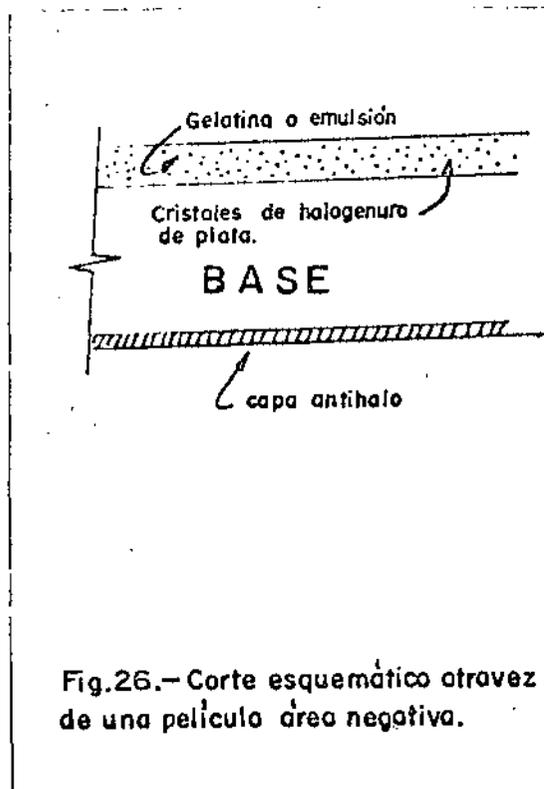


Fig.26.- Corte esquemático a través de una película área negativa.

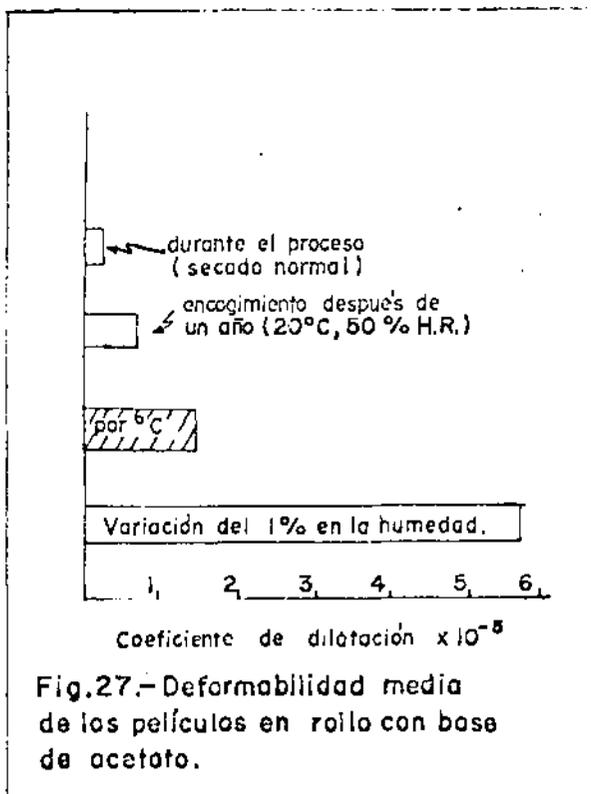
de humedad.

Estas contracciones son menores cuando se usa como base el cristal. Además, las placas de vidrio presentan deformaciones isótropas, pudiendo eliminarse los errores causados por estas contracciones mediante una variación proporcional de la distancia focal.

En las películas en rollo con base de acetato, las deformaciones son anisótropas (generalmente mayores en el sentido longitudinal), no pudiéndose recurrir al artificio de modificar la distancia focal para corregirlas.

Las cámaras que utilizan material sensible con base de vidrio tienen defectos de orden físico que han sido causa de su impopularidad (en México no se tiene en la actualidad ninguna). Entre ellas deben destacarse las si-

guientes: la fragilidad del material, que requiere de un trato muy especial por parte de camarógrafos y laboratoristas, así como de una gran precisión en los mecanismos de transporte; el peso y tamaño de los almacenes es grande (hay aviones que tienen grúas viajeras instaladas en el interior para la manipulación de los almacenes durante el vuelo), y además su capacidad es reducida si se le compara con los almacenes que utilizan película en rollo. Por último, el pro



ceso de laboratorio - es lento, pues se revelan grupos de placas y no todo el contenido del almacén, - como en el caso de la película con base de acetato.

En las películas en rollo la base está formada por una capa transparente de 8 a 14/100 mm. de celuloide; acetato de celulosa; acetobutirato de celulosa o - - Mylar. Este último, - que es un poliéster - de reciente fabrica--

ción, ha sido preferido por su mayor estabilidad y menor espesor, que proporciona mayor capacidad al almacén.

La película en rollo normalmente viene precedida y proseguida de un tramo de material inactivo negro, - llamado "leader", que tiene por objeto proteger la película de la acción de la luz cuando ésta se encuentra enrollada, así como para garantizar la posible utilización de todo el material sensible. La longitud de esta guía es - cuando menos de dos metros y varía de acuerdo con el fabricante.

Para tener la seguridad de que toda la guía ha pasado por el plan focal, se recurre al contador del almacén, que indica la cantidad de película disponible o al - contador de exposiciones.

El antihalo es una capa de material antirreflejante, cuyo objeto es impedir que la luz atraviese la --

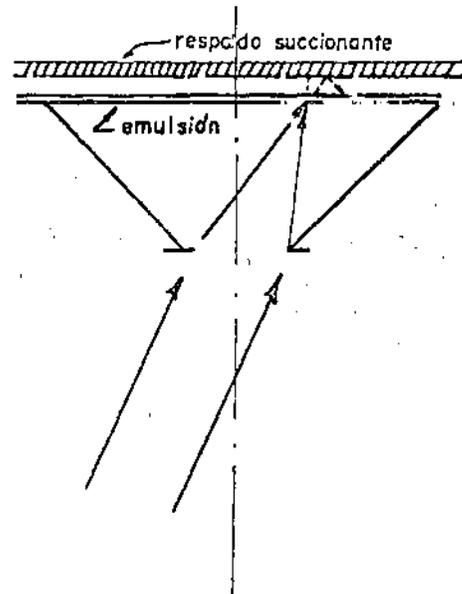


Fig.28.—Reflexión que produciría la luz (En línea punteada) sino existiese la capa antihalo.

emulsión y la base -ambas transparentes- y que por reflexión vuelva y sensibilice nuevamente la emulsión, produciendo alrededor de las imágenes un halo, de ahí su nombre.

Esta capa permanece desconocida para muchas personas, pues desaparece al procesarse la película.

La emulsión, o parte sensible de la película, es una gelatina transparente que contiene en suspensión cristales de uno o varios halogenuros de plata. Entre éstos, normalmente predomina el bromuro y, en pequeña proporción, figuran ioduros y cloruros. Al exponerse éstos a la acción de la luz, se produce una imagen latente que debe ser sujeta a un proceso químico para obtener una imagen visible. Este proceso se denomina revelado, vocablo tomado de una parte del proceso y que consiste en reducir los halogenuros de plata, obteniéndose partículas de plata más ó menos negras, según la energía luminosa que hayan recibido.

El resultado es una imagen negativa que debe ser fijada, para que al exponerse a la luz no se sigan ennegreciendo los halogenuros de plata no sensibilizados.

El revelado se consigue con unas o varias de las siguientes sustancias químicas:

Sulfato de parametilaminofenol (Elón, Metol, Genol, etc.). Es un reductor favorable a los medios tonos.

Paradióxibenzeno (Hidroquinona).- Es un reductor propio para los contrastes. Esta sustancia y el sulfato de parametilaminofenol, son los agentes reveladores propiamente dichos.

Carbonato de sodio anhidro.- Acelera la reducción al fijar el ácido bromhídrico que se forma durante la reducción.

Sulfito de sodio anhidro.- Tiene la función de preservador, ya que se opone a la oxidación provocada por el aire.

Bromuro de potasio.- Evita los velos provocados por la reacción química.

La acción de los reveladores sobre la tonalidad es básica en el proceso y para ello explicaremos brevemente los conceptos de contraste y gama que los definen.

Cuando se habló del fusionalamiento estereoscópico de los puntos en el Capítulo I, supusimos que el punto tendría diferente tonalidad que el medio que lo rodea -- (sólo así sería perceptible). Cuando nos referimos a imágenes fotografiadas formadas por un número prácticamente-infinito de puntos, necesitamos que entre ellos existan diferencias de tonalidad para poder apreciar los estereos cópicamente; es decir, que si todos los puntos de todas las imágenes tuvieran la misma tonalidad o igual luminosidad, el resultado sería una masa informe.

Esta diferencia de tonalidad entre los puntos; o más bien, diferencia entre la luminosidad-transmitida por el conjunto emulsión-base para los puntos de mayor y menor - ennegrecimiento, es lo que se denomina contraste:

$$C = L - l,$$

en que L es el valor de mayor luminosidad y l el valor mínimo.

Y la relación ---

$$\frac{L - l}{L} = \gamma$$

es lo que se llama gama o graduación de la película.

Esta característica de la fotografía aérea reviste especial importancia

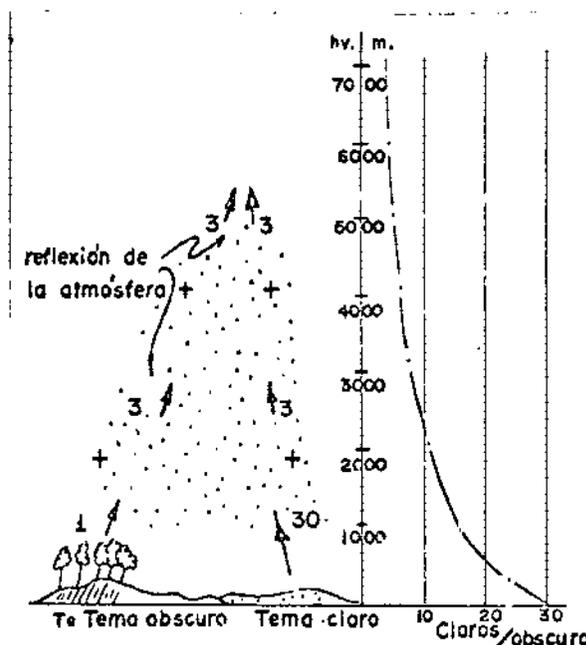


Fig. 29.-Reducción del contraste en función de la altura de vuelo.

cia, ya que el contraste de las fotografías decrece con la altura de vuelo por causa de la dispersión y reflexión atmosféricas.

Por término medio, la luz reflejada por las partes más brillantes es del 31% de la luz incidente (arena, calizas, etc.), mientras que las partes más oscuras reflejan sólo el 1% (bosques), resultando un contraste muy elevado. Sin embargo, aun en los días que percibimos como "despejados", la atmósfera refleja un 1% por cada 1,000 mts. de altura de vuelo y la relación entre las luces reflejadas decrece hasta 5:1 para 6,500 mts. de altura de vuelo. Por esta razón, es imposible volar cuando existe bruma, reflejos solares, humo, etc., pues la relación de luz reflejada se vuelve casi unitaria, no siendo perceptible a la película ningún contraste.

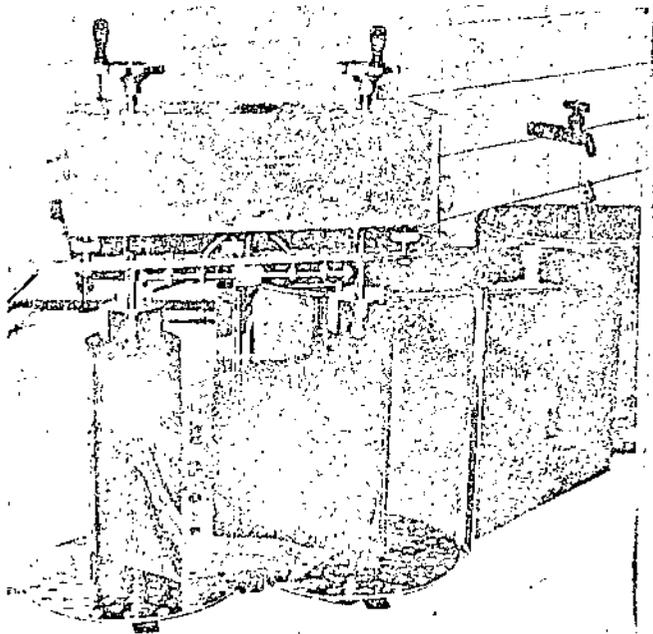


Fig.30.- Equipo Zeiss para revelado de negativos en rollo, de funcionamiento automático y capacidad para 120 m.

Ahora bien, no debe pensarse que si la mitad de la fotografía es blanca y la otra negra, el resultado es correcto. Lo que se desea es que en los pequeños detalles exista el máximo contraste y en la imagen se mantenga una densidad uniforme.

Estas particularidades de la fotografía aérea requieren negativos que exageren el contraste que realmen

te registran, para producir imágenes semejantes a las reales, por lo que podemos decir que todos los negativos para fotografía aérea son contrastadores o vigorosos, como vulgarmente se les llama.

Ahora bien, dentro de esta propiedad, existen películas más ó menos vigorosas que en orden ascendente son clasificadas en tres grupos: suaves, normales y vigorosas o contrastadas, calificativos que, según veremos después, se aplican también a otros materiales y procesos.

La propiedad contrastadora de las películas se consigue reduciendo o aumentando la densidad de los cristales dentro de la emulsión, así como la proporción de los diferentes halogenuros que la forman. A estas características de la emulsión se asocian otras, según la siguiente lista:

Suave	Vigoroso
Contraste pobre	Contraste elevado
Alta densidad de halogenuros	Baja densidad de halogenuros
Grano grueso	Grano fino
Película muy sensible	Película poco sensible

Las características de definición, densidad de los negativos y tamaño del grano se verán con más detalle al hablar sobre la crítica de los negativos. Hemos hecho este paréntesis tan sólo para poder tratar acerca del proceso químico con más detalle.

En efecto, también al revelar la película podemos ganar o perder contraste, según la proporción en que se hagan intervenir las sustancias químicas y el tiempo que se mantenga la película dentro del revelador.

Los reveladores también se clasifican como suaves, normales o vigorosos, según sus propiedades. Ejemplos de éstos los tenemos en los siguientes:

- 1.- Revelador suave.- Para obtener el máximo de detalles en zonas pobremente iluminadas, propio

para películas de grano fino vgr.: Gevaert G.206.

Agua destilada	750.0	c.c.
Metol	2.0	g
Sulfito	100.0	g
Hidroquinona	4.0	g
Bórax	2.0	g
Agua destilada c.b.p.	1000.0	g

2.- Revelador normal.- El más comúnmente usado para alturas de vuelo intermedias y condiciones normales de iluminación.

Agua destilada	750.0	c.c.
Metol	2.5	g.
Hidroquinona	5.0	g
Carbonato	25.0	g
Sulfito	35.0	g
Bromuto de potasio	1.5	g
Agua destilada c.b.p.	1000.0	c.c.

3.- Revelador vigoroso.- Propio para imágenes pobremente contrastadas y película rápida procesada en máquina continua. vgr.: Kodak D.19

Agua destilada	750.0	c.c.
Metol	2.0	g
Hidroquinona	9.0	g
Sulfito	96.0	g
Carbonato	48.0	g
Bromuto de potasio	5.0	g
Metil benzotriazol	0.04	g
Agua destilada c.b.p.	1000.0	c.c.

Debe señalarse que la combinación por partes iguales de revelador vigoroso y suave no produce un revelador normal.

El fijado consiste en disolver las sales de plata mediante una solución concentrada de hiposulfito de sodio.

Además, durante la reacción de fijado se hace desaparecer la capa antihalo.

Un típico baño fijador se compone de:

Agua destilada	750.0	c.c.
Tiosulfito de sodio (Hipo)	300.0	g
Metabisulfito de potasio	12.0	g
Acido acético (28%)	4.0	c.c.
Bórax	20.0	g
Alumbre de potasio	15.0	g
Agua destilada c.p.b.	1000.0	c.c.

Después de fijada la imagen la película debe lavarse hasta que desaparezca todo rastro de las sustancias químicas. Generalmente son suficientes 30 min. en agua corriente.

El estudio de las propiedades de los negativos lleva implícito el conocimiento de la opacidad, que es la relación entre la luz transmitida y la luz que incide en el negativo (relación denominada opacidad).

Esta unidad de medida es poco utilizada, más que nada por el hecho de que al variar el ennegrecimiento en proporción aritmético, la opacidad varía exponencialmente. Lo más frecuente es recurrir al concepto de densidad (\bar{d}), que es el logaritmo de la opacidad.

Ahora bien, si varios negativos iguales son sometidos a igual iluminación, revelados en idénticas condiciones, pero expuestos durante diferentes tiempos, el resultado será negativos de diferente densidad. Si los comparamos con su respectivo tiempo de exposición, obtendremos una curva, como la de la figura 31, en la que se distinguen tres partes principales: un tramo curvo AB, próximo al origen, con poca densidad, correspondiente a intervalos cortos de exposición y que define una zona subexpuesta; un tramo recto BC, correspondiente a un tiempo normal de exposición cuya tangente es igual al valor de gama definido; y, por último, otro segmento curvo CD, en que no se aumenta la densidad, aun cuando se incremente el tiempo de exposición, denominado zona de sobreexposición.

Igual curva se tiene si mantenemos el tiempo de exposición constante y variamos la cantidad de luz ($\bar{d} = f(\text{luz})$) y, dentro de determinados límites, puede decirse que si el producto de $T \cdot e$, tiempo de exposición, por la cantidad de luz, es constante, la densidad es función del tiempo de revelado.

El factor de exposición, también llamado índice

de exposición, sensibilidad de película, etc., es la relación $T.c = E$ (E factor de exposición), - que produce densidades de negativo comprendidas dentro del tiempo normal de exposición (figura 31). Este factor es el que se utiliza en los exposímetros para determinar el tiempo de exposición, conocida la iluminación o viceversa, y para cada tipo y marca de película viene anotado - en diferentes escalas de medición - - (ASA, DIN. etc.).

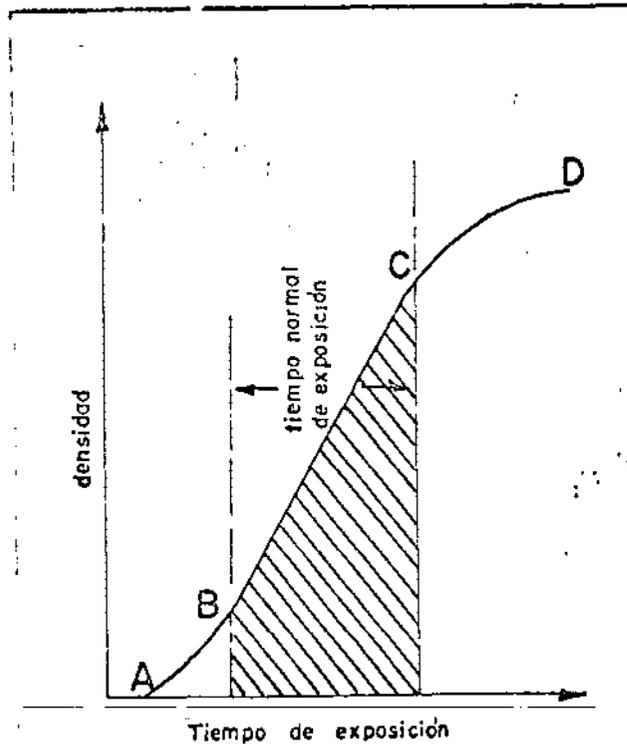


Fig 31.-Ennegrecimiento de la película en función del tiempo de exposición (apertura del diafragma constante).

Por último,

se tendrá presente que para un factor de exposición constante, la densidad y gama de un negativo dependen de la película, tipo de revelador y tiempo de revelado. Estas variaciones están contenidas en los manuales o folletos que proporcionan los fabricantes de películas.

Normalmente se utilizan en fotografía aérea dos tipos de película en blanco y negro: la pancromática y la infrarroja. Su diferencia radica en la longitud de onda luminosa, a la cual son sensibles. La primera, como su nombre lo indica, es sensible a todos los colores perceptibles al ojo humano, lo cual no es rigurosamente cierto, ya que registra mejor o es más sensible el azul que al verde o al rojo.

Esta sensibilidad a los colores generalmente se

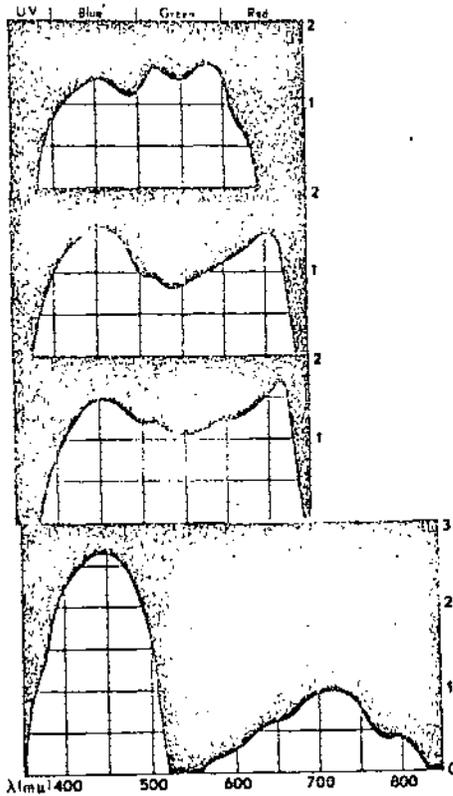


Fig. 32.- Espectros de sensibilidad, de arriba a abajo: Gevaert 30, 33, 36 e Infrarroja.

muestra en forma de espectros, como en la figura 32, en la que horizontalmente están representadas las longitudes de onda (arriba su equivalente en colores), y la abscisa de la parte blanca correspondiente a la sensibilidad. Esta propiedad es empleada en fotointerpretación, sobre todo forestal, donde la vegetación refleja en diferente intensidad, según la especie, ondas luminosas de longitud $\pm 800 \lambda_{m\mu}$ a las que tiene gran sensibilidad la película infrarroja.

La sensibilidad cromática de las películas puede ser modificada con el uso de filtros, cuya función es impedir el paso de rayos luminosos inferiores a una

cierta longitud. Además, en fotografía aérea son utilizados para distribuir uniformemente la luz sobre el negativo.

Vimos que la luminosidad en el plano focal decrece con el \cos^4 ; es decir, que se tendrá mayor luminosidad al centro que en las orillas. Esto se soluciona tiñendo de gris la parte central de filtro, resultando que en el plano focal, la intensidad de luz es uniforme.

Cuando se usa película pancromática, los filtros que se emplean detienen las ondas luminosas menores a $400 - 450 \lambda_{m\mu}$ (filtros amarillos), con el propósito de-

retener los rayos ultravioleta causados por la refracción atmosférica.

Crítica de Negativos.

Se dedica especial atención a la calidad de los negativos (casi podría decirse que despreciando al positivo), por ser aquél el alma del proceso. La bondad de los positivos, mosaico o cualquier otro trabajo derivan de la calidad del negativo.

Tomemos como ejemplo las copias de contacto. Al imprimirlas puede trabajarse con luz, lo que permite ver el proceso. Si la imagen obtenida no fué satisfactoria, se puede cambiar el tipo de papel; si es necesario, puede darse mayor exposición; puede usarse otro revelador, hasta ver que se obtenga el resultado deseado. Probablemente se pierda un poco de tiempo y dinero, pero al cabo de tres ó cuatro ensayos será resuelto el problema.

En un levantamiento fotográfico, en cambio, un solo negativo defectuoso origina que se repita cuando menos una línea de vuelo o que un levantamiento fotogramétrico resulte deformado, lo que ocasionará, en cualquier caso, un retraso considerable y la consecuente pérdida económica. En resumen, si el negativo es bueno, siempre podrá producirse un buen trabajo; en caso contrario, el resultado será malo.

Conociendo ya en líneas generales el procedimiento a seguir para obtener un negativo, veamos cuales son las causas que originan los defectos en su geometría, resolución y contraste, cualidades que originan su bondad. Estas causas son:

- a) Iluminación y contraste del objeto fotográfico
- b) Altura de vuelo
- c) Avión utilizado
- d) Tipo de película
- e) Cámara fotogramétrica
- f) Tiempo de exposición
- g) Proceso de la película

Los dos primeros factores puede decirse que son un regalo de la naturaleza y lo único que puede hacerse es conocerlos y ver qué efectos pueden remediarse posteriormente.

Los cuatro siguientes derivan del equipo y materiales que ponen a nuestra disposición los fabricantes. Deberá corroborarse lo que para ellos especifican; sugere-

rirse modificaciones según su comportamiento práctico y conocer sus defectos con el fin de corregirlos si ello es posible.

Los dos últimos factores son los que requieren la intervención del fotogrametrista de una manera directa, a fin de obtener el máximo de calidad y, hasta donde sea posible, contrarrestar los efectos de los seis primeros. He aquí algunos puntos de interés.

a) La iluminación del terreno fotografiado no es controlable ni constante. Varía con la época del año por la diferente

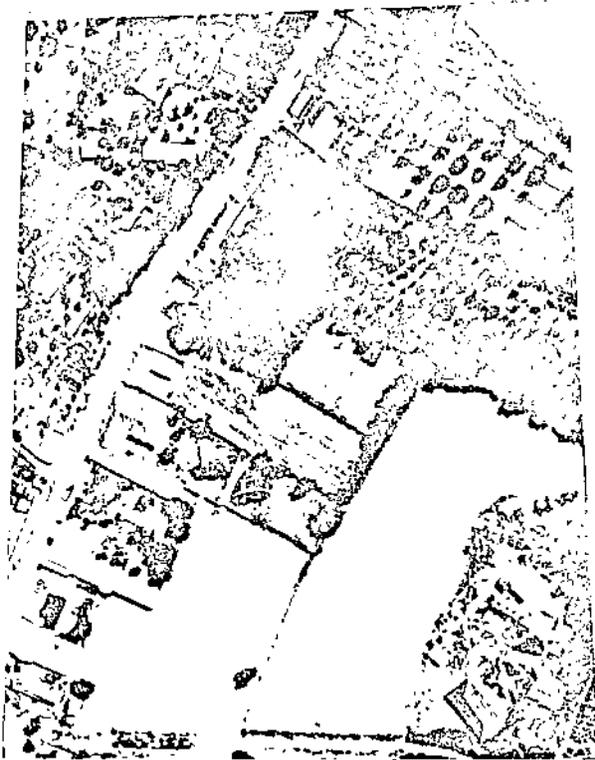


Fig. 33.- Contraste excesivo en la imagen para exposición y revelado incorrecto.

declinación solar y, diariamente, por la rotación terrestre. Además la luz que llega al terreno depende de las condiciones atmosféricas locales.

La inclinación del sol provoca dos situaciones extremas desfavorables para la toma de fotografías. La primera, que consiste en un tamaño exagerado de las sombras, ya sea de pequeños detalles como árboles, casas,

etc., o en grandes zonas producidas por los montes, que la película, contrastadora, por su naturaleza misma exagerará la diferencia de tonalidades y dará por resultado que la zona sombreada quedará muy oscura o la parte luminosa muy clara. En cualquier forma, el contraste irá más allá del límite permisible.

Por el contrario, si el sol está próximo al zenit, parte del terreno refleja



Fig.34.- Contraste pobre producido por una subexposición.



Fig.35.- Contraste excesivo producido por sobreluzados.

rá la luz sobre el objetivo, produciendo velos en forma de halo o zonas intensamente iluminadas. En todos los casos, se pierde la definición y se exagera el contraste en las zonas veladas, por lo cual se limita la altura del sol sobre el horizonte, durante la exposición.

El contraste del tema fotografiado lo compensa el camarógrafo mediante la selección de la película adecuada y en su proceso por las indicaciones que dé el laboratorio de las características del levantamiento topográfico.

Los errores cometidos al evaluar estos factores se traducen en contrastes inadecuados, originando una falta de interpretabilidad de los objetos fotografiados, --mas no afectan a la geometría de la imagen.

b).- La altura de vuelo ocasiona pérdida de contraste por efecto de la difusión atmosférica, según ya se explicó sobre lo cual no insistiremos más. Además, proporcionalmente a la altura de vuelo se desarrollan tres fenómenos: refracción atmosférica, disminución progresiva de la temperatura y pérdida de eficiencia en los sistemas de vacío.

El fenómeno de refracción es conocido; su valor puede determinarse y, como se verá al hablar de restitución, la deformación geométrica que produce puede corregirse.

Estos errores generalmente se eliminan, junto con los producidos por la curvatura terrestre, ya que los dos fenómenos siguen una misma ley de variación.

La disminución de la temperatura y la pérdida de eficiencia del sistema de vacío por la reducción de la diferencia de presiones entre el sistema del avión y el del medio ambiente, afectan directamente a la cámara en su operación según veremos en e) y f) y, desde luego, produce dilataciones y cambios en los índices de refracción, que afectan la geometría de la cámara.

c).- El avión contribuye a disminuir la calidad de las fotografías por lo que respecta a la vibración de los motores y de la estructura, que ocasionan un corrimiento de la imagen durante el tiempo que el obturador permanece abierto en cada exposición (véase el inciso f). Estos movimientos vibratorios se reducen a su mínima expresión mediante una correcta instalación y conservación de los amortiguadores de la cámara.

Mientras tanto, debe esperarse que ciertos sistemas de compensación, que están actualmente en la etapa-

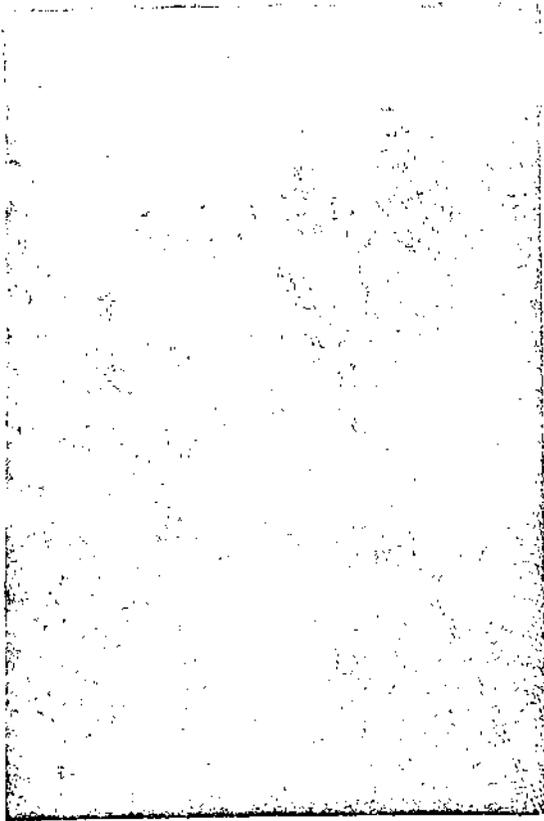


Fig.36.- Durante las "quemadas" debe suspenderse la toma de fotografías

de diseño, se desarro-
llen hasta alcanzar el -
grado de utilización --
práctica.

d).- Aparte de la -
mayor o menor rapidez de
la película y de su po-
der contrastador, exis-
ten otros factores que -
debemos tomar en cuenta.
En su calidad nos afecta
la sensibilidad cromáti-
ca, directamente relacio-
nada con el filtro utili-
zado.

En efecto, la pelí-
cula no registra con --
igual facilidad todos -
los colores; además, al
plano focal no pasan las
ondas luminosas de longi-
tud inferior a la del -

filtro.
En general, deseamos que la imagen registre, -
en diferentes intensidades de gris, todas las ondas lumi-
nosas perceptibles al ojo humano. Esto debemos tenerlo -
en cuenta al exponer la película. Si existe un tema de -
especial interés, procuraremos que la película sea sensi-
ble a ese color, auxiliándola con los filtros, como en el
caso de los bosques, cuando se toman con película pancro-
mática.

En este caso el verde, color que corresponde al
sujeto que interesa, podrá registrar mejor en la película
(menos sensible al mismo), si eliminamos las tonalidades
rojas y azules, que se acentúan más en la cinta. El azul

figura en muy poca cantidad y puede depreciarse y en cuanto al rojo, se le puede compensar con un filtro. Igualmente, el decrecimiento general en la sensibilidad puede suplirse con una sobreexposición de la película.

Los cambios de temperatura ocasionan una transformación dimensional en la película. Estas transformaciones pueden ser de consideración y el problema es frecuente cuando se vuela a grandes alturas y la película se expone a temperaturas inferiores a cero y después, durante el proceso, se alcanza una temperatura ambiente de 20-25°C. La película al enfriarse también se vuelve rígida y quebradiza, siendo muy frecuente que se rompa.



Fig.37.- Desafoque producido por falta de succión durante la exposición.

De presentarse la situación anterior, la misma puede conjurarse aislando la cámara del aire exterior. Esto se consigue cerrando el agujero del avión por medio de un cristal óptico. La tolerancia en el paralelismo de sus caras para que no afecte la geometría de la imagen es de 20" (veinte segundos).

También puede recurrirse a cojines calefactores, envolviendo la cámara y el almacén. Algunas cámaras

traen sistema propio de calefacción, que funciona en forma automática al descender la temperatura.

Cualquier diferencia de temperatura entre la de exposición y la de proceso superior a los 30°, origina dilataciones difíciles de controlar durante los trabajos de fotogrametría.

El grano de la película origina discontinuidad en la imagen fotografiada, causando una falta de definición. El tamaño del grano depende del tipo de película, pero también del proceso, según se verá. Dentro de lo que permita la iluminación, deberá elegirse la película más lenta.

e).- La cámara, probablemente el factor más conocido, influye sobre la geometría y definición de las fotografías, siendo su contribución casi constante en todas las imágenes, y el conocimiento de estas características permite formar el criterio necesario por evaluarlas.



Fig. 38.- Falta de definición - producido por el grano de la película (13 X)

En la figura 40 se señalan las curvas de distorsión radial de cuatro cámaras gran angular existentes en la República (distorsión media, según el fabricante) y en la figura 41 la resolución de las mismas. Todos los diagramas están a la misma escala y es notoria la di-



Fig 39 .- Fotografia (ix)

escala aproximada 1: 2 000

Pelicula Gevaert 33°
Revelador Normal
Camara Zeiss RMK 15/23

Velocidad 1/1000
Diafragma f 5.6
Filtro B

ferencia entre -
 las cámaras de -
 primer orden ---
 (Zeiss y Wild) y -
 las otras dos.

La dis-
 torsión puede ser
 eliminada median-
 te procesos poste-
 riores, pero la -
 resolución no. -
 Afortunadamente -
 se asocia una bue-
 na resolución a -
 una poca distor-
 sión, por lo que -
 no existen casos-
 en los que se con-
 trapongan estas
 dos característi-
 cas cuando se de-
 sea escoger un de-
 terminado tipo de
 cámara.

Durante
 la operación de -
 las cámaras los -
 errores más fre-
 cuentes son la ex-
 posición sin suc-
 ción adecuada y -
 el operarla a tem-
 peraturas muy ba-
 jas.

En el -

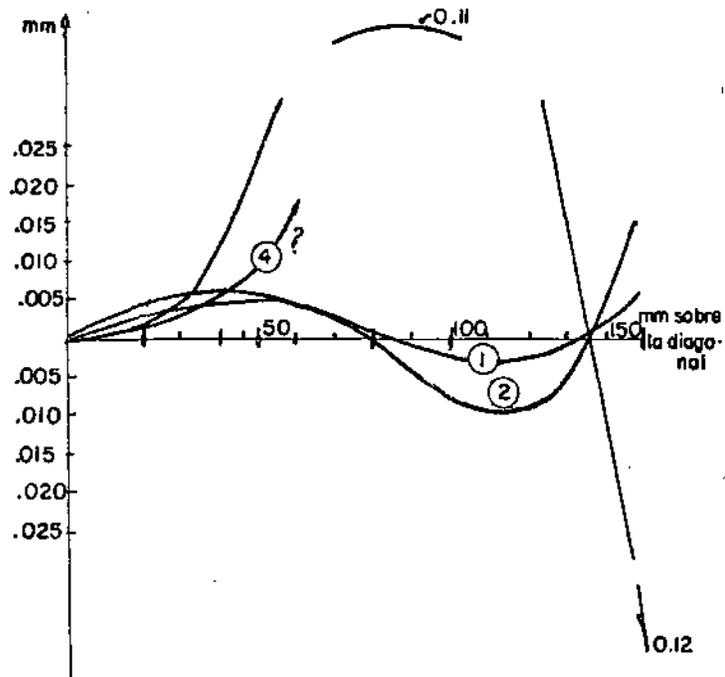


Fig 40.- Distorsión radial para diferentes
 cámaras: 1: ZEISS RMK 15/23 2: WILD RC 8
 3: CARTOGRAFICA 4 - K - 17

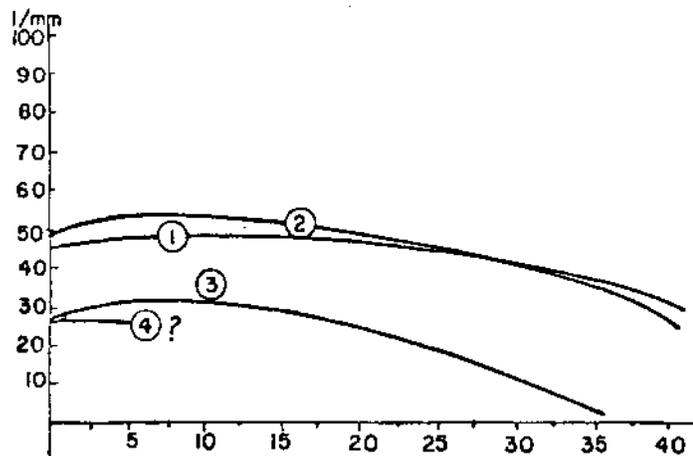
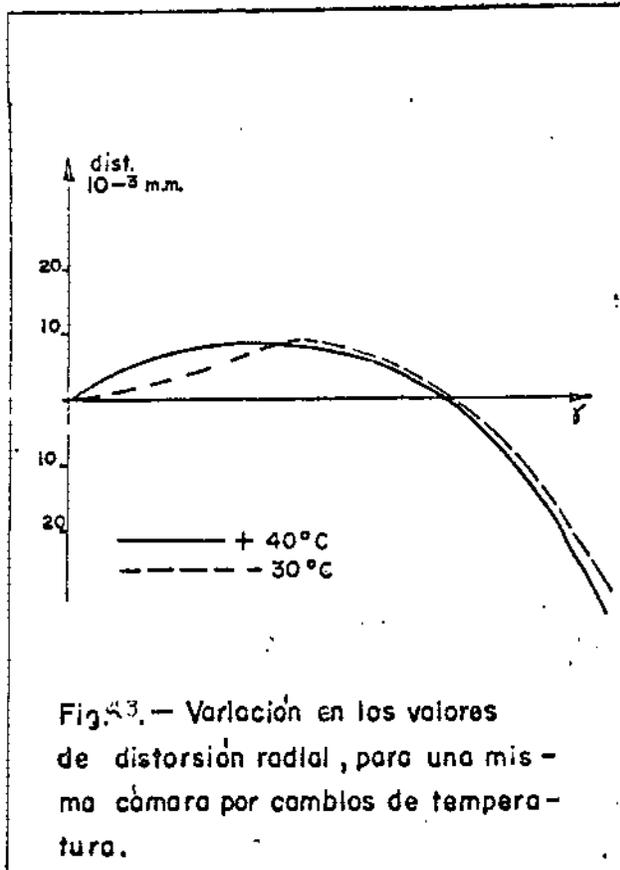


Fig 41.- Resolución en líneas por mm para
 las cámaras de la fig. anterior los datos son
 medios según el fabricante y medidas sobre
 película.



Fig 42 .- Fotografia (ix) escala aproximada 1:50.000
Película Gevaert 33° Velocidad 1/300
Revelador Contraste Diafragma f 1/5.6
Camara Wild RC 8 Filtro D



primero de los casos - se producen fotogra- fías desenfocadas, to- talmente inútiles. En- el segundo, aparte de- los defectos ya anota- dos, se producen peque- ños cambios dimensio- nales en la cámara y - se modifican los índi- ces de refracción.

El error total in- troducido por este con- cepto ha sido bastante estudiado (B. Hallert, Londres 1960) y un re- sultado típico es el - mostrado en la fig. 43, en que se ve la varia- ción en la distorsión- de una cámara por efec- tos de la temperatura.

f).- Durante el tiempo en que se produce la ex- posición, el avión se desplaza. Esto origina un corri- miento de la imagen sobre el plano focal.

Este desplazamiento es función del tiempo de ex- posición, altura y velocidad de vuelo. Si deseamos - que el corrimiento de la imagen no origine una pérdida - en la calidad de la imagen, su valor deberá mantenerse - inferior al poder de resolución del conjunto objetivo- emulsión. Este valor tiene en la práctica un máximo de - 20-30 líneas por m.m.

En la figura 44 se tiene tabulado el tiempo de- exposición para diferentes alturas de vuelo y velocidades del avión, que satisfacen esa condición. La expresión -

utilizada en la determinación de la gráfica fué:

$$T^{-1} = \frac{18500}{H} Va \text{ (Va en millas y H en pies)}$$

La vibra--
ción de la cámara -
por efecto de los mo--
tores del avión tam--
bién origina corri--
mientos de la imagen
que podemos reducir--
en la práctica acor--
tando el tiempo de -
exposición.

Este fenó--
meno, que no ha sido
suficientemente in--
vestigado, es trata--
do en forma empíri--
ca, habiéndose llega--
do a la conclusión -
de que si el tiempo--
de exposición es de
1/6 al del ciclo bá--
sico de la máquina -
o menor; los efectos
de la vibración se reducen en un 70% cuando menos.

De lo anterior se deduce una regla práctica, -
consistente en dividir entre diez las revoluciones por -
minuto de la máquina, obteniéndose el denominador del --
tiempo de exposición. V. Gr.:

Avión: Cessna

Máquina: Continental 6 cil. 2600 r.p.m.

Tiempo de exposición: $\frac{1}{\frac{2600}{10}} = \frac{1}{260}$ seg.

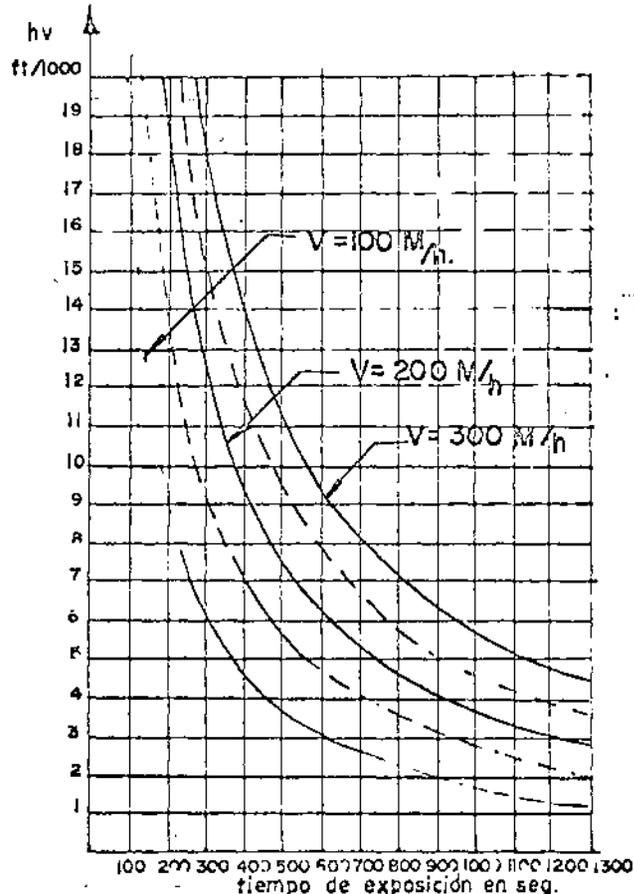


FIG. 44.- Tiempo Mínimo de Exposición.

Desde luego, el tiempo de exposición deberá ser el menor del obtenido en la gráfica de la figura 44 o el determinado por medio de la regla anterior.

Conviene verificar frecuentemente los indicadores del tiempo de exposición en las cámaras a base de discos giratorios y con mayor frecuencia cuando se trabaja en forma permanente a bajas temperaturas, pues es frecuente su descalibración.

g).- El proceso de la película generalmente es lo que más afecta a la calidad de la imagen y en algunos casos a su geometría. Esto se debe ya a que el proceso es incorrecto o ya a que el tipo de película es inadecuado.

Y también a que el informe de las condiciones de toma no sea real, ocasionando que la película sea sometida a un proceso incorrecto.

El factor de exposición, el tipo y tiempo de revelado, influyen sobre el contraste y sobre la resolución.

Los efectos del tipo de película y revelador han sido suficientemente explicados. Unicamente se recordará que los estudios fisiológicos demuestran que el ojo humano, para una correcta observación, requiere valores de gama superiores a 0.2 y que

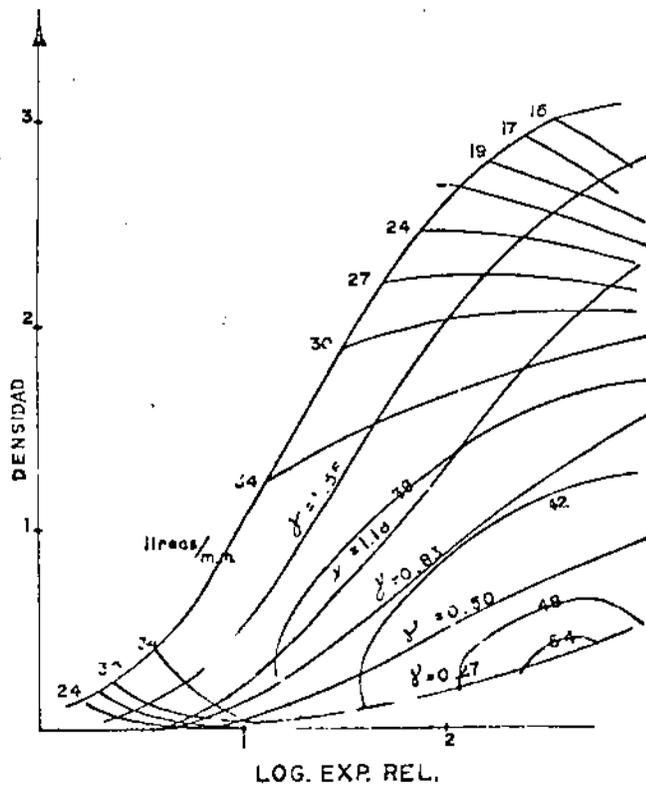


Fig.45-Variación de la resolución en una película dada en función de la densidad, exposición y gama.

cualquier valor inferior representa una pérdida de imagen.

Ahora bien, durante el proceso, puede revelarse el negativo a diferentes densidades, este cambio de densidad -que dentro de determinados límites no afecta la tonalidad de la imagen; es decisivo en la definición de los objetos.

Estudios efectuados demuestran que la resolución óptima se obtiene para densidades de ± 0.4 , y para no tener una pérdida considerable en la resolución debe mantenerse la densidad entre valores de 0.2 y 0.8.

En la figura se tiene la representación gráfica de este problema (película Ilford-D-19) y puede apreciarse la pérdida de resolución para densidades fuera de los límites señalados.

Estas curvas son propias de cada película y revelador utilizados. Sin embargo, todos coinciden en una resolución óptima para valores de densidad próximos a 0.4.

Deberá insistirse en la importancia de los informes de las condiciones de exposición, pues el tipo de revelador se determina en función de aquellos. Además, el tiempo de revelado es dado por el laboratorista, suponiendo una exposición co-

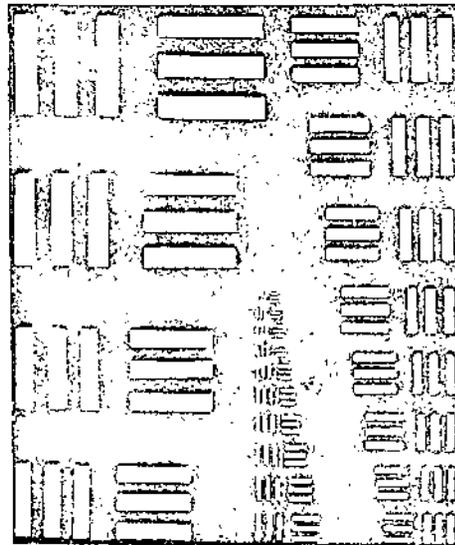


Fig.46-Modelo para pruebas de poder de resolución, el tamaño de los cuadros varía con la $\frac{1}{\lambda}$

correcta.

Desde luego, se puede acortar o alargar. No obstante, la apreciación de la densidad en el cuarto oscuro, al través de la capa opaca del antihalo, utilizando como fuente luminosa un filtro inactínico, es sumamente difícil y requiere personal muy experimentado.

La bondad de la fotografía se acostumbra medir al través de pruebas de resolución, para lo cual son fotografiadas figuras de prueba. Existen patrones establecidos, como el de la Figura 46, en que el largo y ancho de las barras varía con la relación $\sqrt{2}$, sobre el negativo se observa la imagen fotografiada y se determina cual es el menor grupo en que puede distinguirse el rayado, expresándose la cualidad por el número de líneas que es capaz de definir por milímetro.

Estas pruebas, con objetos de alto contraste, se han venido complementando con otras sobre objetos de bajo contraste, para subsanar las deficiencias de las primeras. Y más recientemente están tomando auge las determinaciones de las funciones de transferencia o funciones de contraste, principalmente porque las pruebas utilizadas actualmente sólo son aplicables a pequeños detalles.

Las funciones de transferencia, en cambio, toman en cuenta los detalles tanto pequeños como grandes. Además, permiten analizar en forma independiente cada uno de los factores que afectan la calidad de las fotografías.

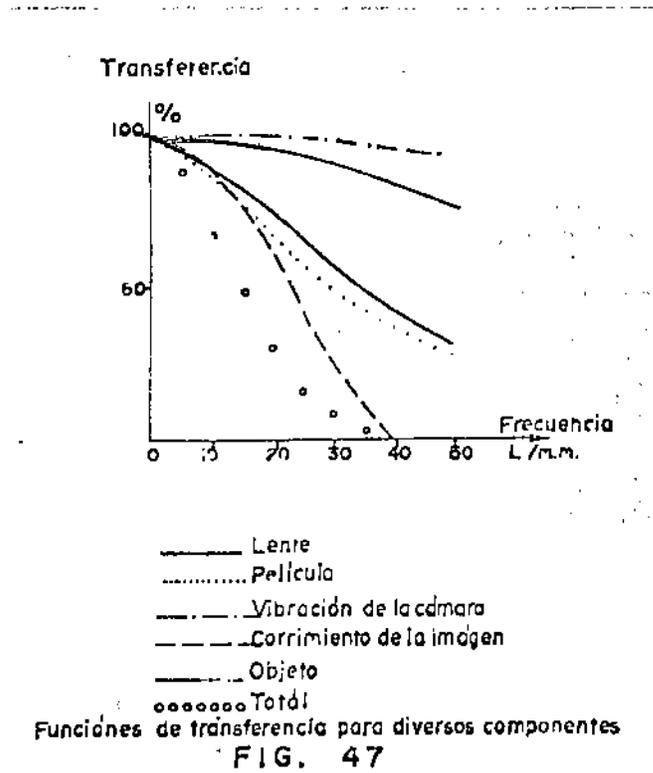
Esta función de transferencia, expresada generalmente como una o varias curvas sinusoidales, representa la transmisión real de la luz para cada componente o proceso que afecta la calidad del negativo. También la resultante tendrá su función propia igual a la suma de las funciones de todos los factores que afectan el proceso.

Las normas para ejecutar estas pruebas y las funciones de transferencia de algunos componentes todavía no han sido determinadas. Sin embargo, el método se-

está desarrollando rápidamente y, a no dudarlo, pronto formará parte de las pruebas rutinarias de calidad.

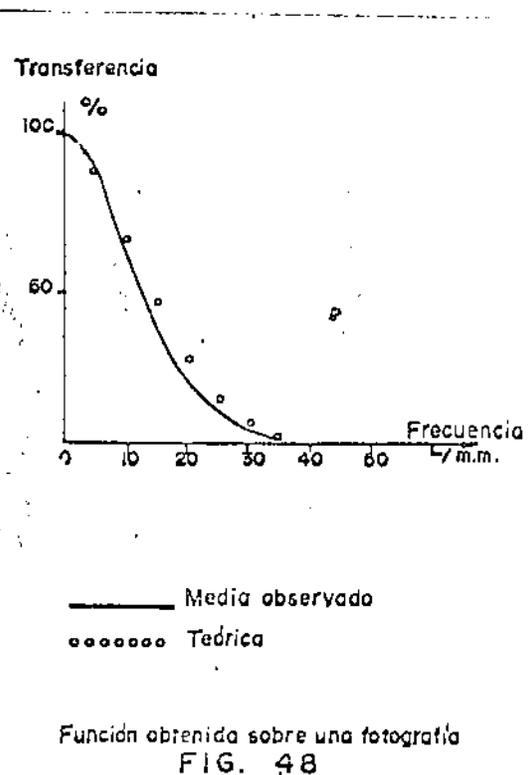
Un ejemplo se tiene en la determinación de la función de transferencia para seis factores que afectan la calidad de la imagen, comparada con la función medida sobre el negativo. (figs. 47 y 48).

Como puede verse, el resultado es semejante; las pequeñas



diferencias se deben a causas no tomadas en cuenta (brumas, vibraciones, etc.)

Por todo lo visto, se deduce que el levantamiento fotográfico no es labor fácil. No obstante, éste puede lograrse tomando las providencias y cuidados necesarios. Deberá ponerse atención a tres vicios en que con frecuencia se incurre: el prime



ro de ellos consiste en fotografiar siempre con un mismo-tipo de película (sobre esto ya añadiremos algo más a lo expuesto); el segundo, es el de exponer sobre un mismo rollo dos ó más trabajos. Es muy difícil que al fotografiarse diferentes zonas e inclusive a diferentes alturas, los valores de contraste sean iguales. De aquí se infiere que son necesarias diferentes condiciones de revelado, debiendo tratarse cada tramo de película independientemente. En las cámaras de primer orden existen dispositivos que producen marcas, utilizadas para cortar en el laboratorio la película y procesar cada tramo en forma especial, siendo esto último lo que frecuentemente se olvida; finalmente, en tercer lugar, existe la costumbre (derivada probablemente de los trabajos de fotografía comercial, en que se busca mayor profundidad de campo), de utilizar la abertura menor del diafragma, creyéndose, erróneamente, que se aumenta la definición.

La distancia hiperfocal de las cámaras (85 mts. para una cámara gran angular f 5.6) es, en mucho, inferior a las alturas de vuelo utilizadas. Además, la máxima abertura favorece una sobreexposición que ocasiona tiempos cortos de exposición, evitando con ello corrimientos de la imagen, ya sea por el desplazamiento o vibraciones de la cámara.

Clasificación e índices.

Los levantamientos fotogramétricos normalmente están compuestos por un gran número de fotografías, no siendo raro el que se requieran tres ó cuatro mil para completar un trabajo. Además, los organismos que utilizan los procedimientos fotogramétricos en forma sistemática acumulan, a la vuelta de poco tiempo, numerosos trabajos, con los consiguientes problemas de control y archivo.

La numeración progresiva que proporciona el registro de la cámara es insuficiente para controlar los vuelos, primeramente por su capacidad limitada (de 0 a 999 normalmente).

Además, la supresión de fotografías y aun de líneas completas, produce la discontinuidad en la numeración. De ahí la necesidad de clasificar las fotografías una vez que el vuelo ha sido aceptado y depurado.

La base de la clasificación la constituyen el número de trabajo, el número de línea y dentro de



Fig. 49.- Secadora de negativos Zeiss - para película en rollo.

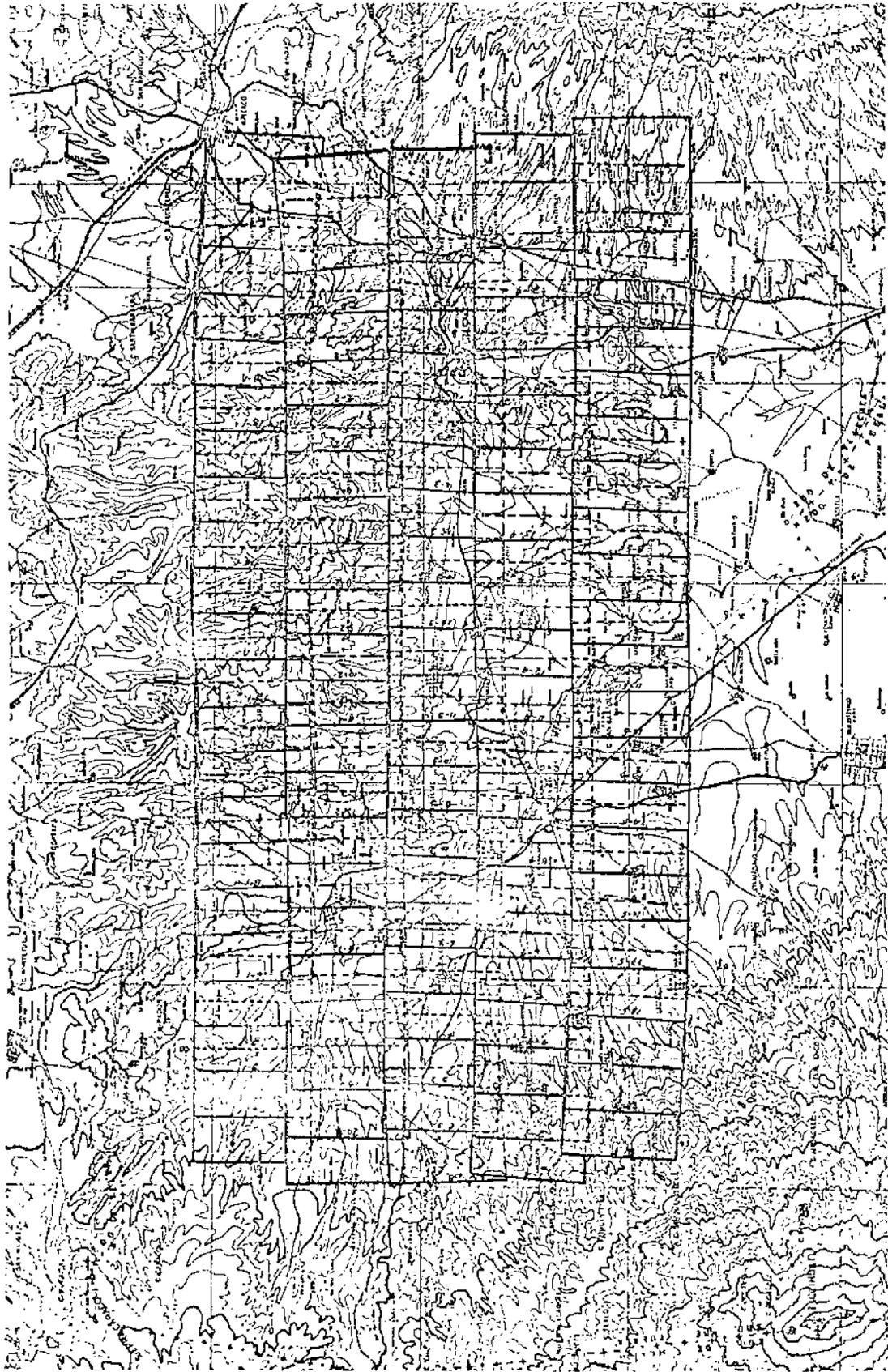


FIG. 50

cada línea el número de fotografía. Conviene clasificar todos los rollos con el mismo número de trabajo y cada rollo, que será conservado dentro de su envase, llevará inscrito el número de líneas que comprende.

Los negativos deben conservarse completos; es decir, las fotografías inútiles aparecerán sin clasificación, evitando cortar el negativo para después unir los trabajos aceptados.

Las líneas se numerarán en forma progresivamente ascendente a partir de la unidad y, de preferencia, en el orden que ligan las líneas. Dentro de cada línea las fotografías serán numeradas a partir de la unidad, también

en forma ascendente y continua, en el orden que fueron expuestas.

Para una identificación más rápida; sobre todo, por parte de las personas que desconocen la clasificación numérica, es conveniente poner el nombre con que se conozca la zona junto al número de trabajo.

Otros datos menos utilizados, pero no por eso menos importante, suelen registrarse únicamente en la primera y la últi-

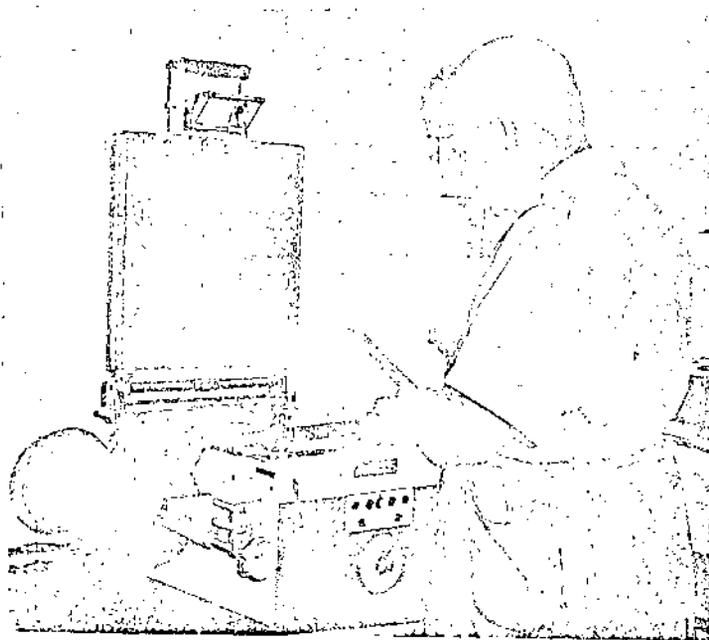


Fig.-57.- Copiadora Zeiss para imprimir copias hasta de 30 x 30 cm.

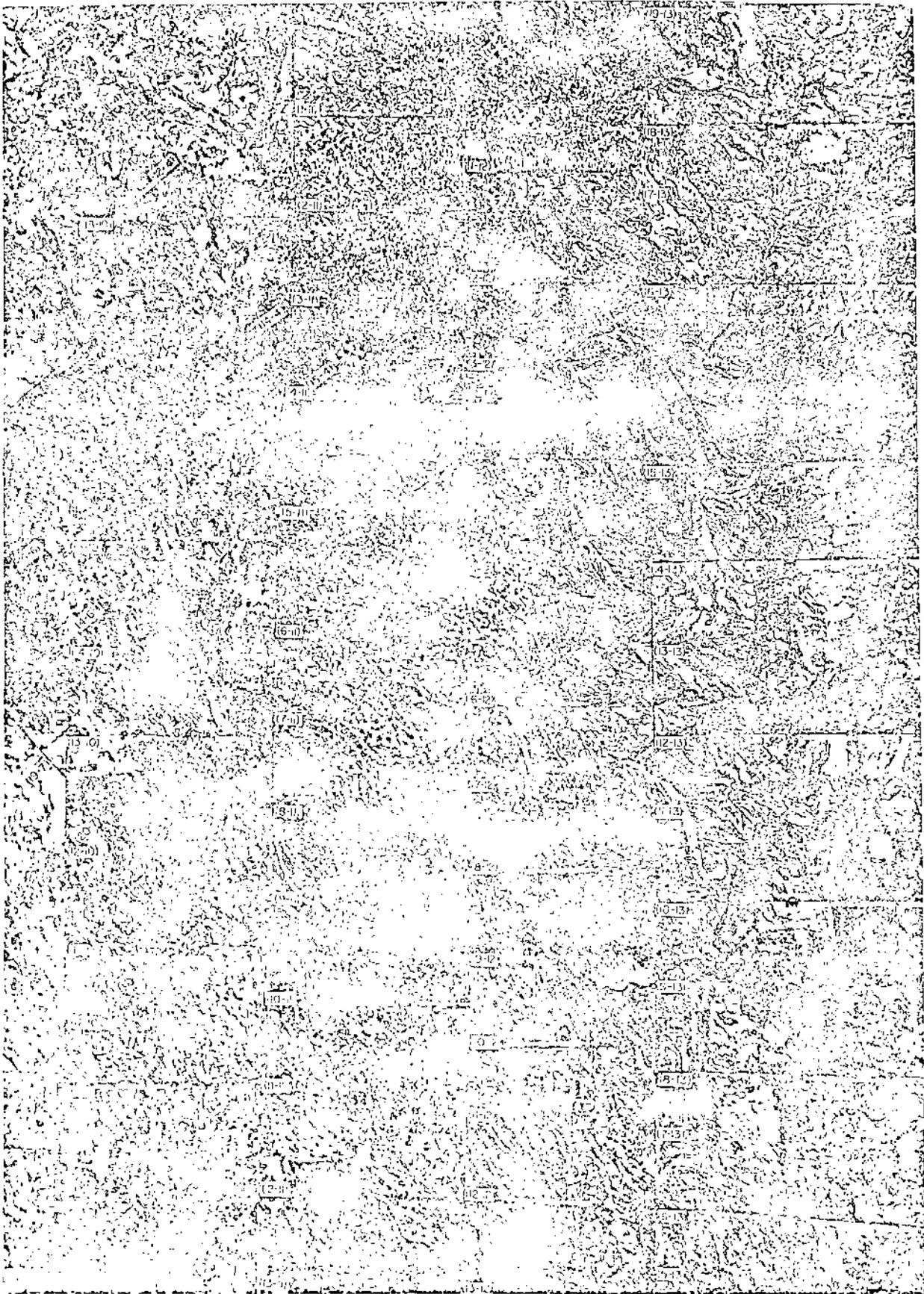


FIG. 52

ma fotografías de cada línea.

Estos datos son la distancia focal de la cámara, la fecha de vuelo y denominador de la escala media a que se voló o altura de vuelo en metros, según se prefiera.

Pueden hacerse anotaciones adicionales a voluntad de quien ordena o ejecuta el trabajo. Las más frecuentes son el nombre o siglas de la razón social del contratista y del contratante o bien de uno o del otro y la latitud y longitud de los puntos extremos de cada línea.- Esto último, - en levantamientos cartográficos.

En cualquier caso, toda la inscripción no ocupará una franja mayor de 5 mm. sobre una de las orillas de la fotografía y siempre en la misma posición relativa.

En las cámaras que imprimen registros auxiliares es preferible hacer la inscripción junto a éstos.

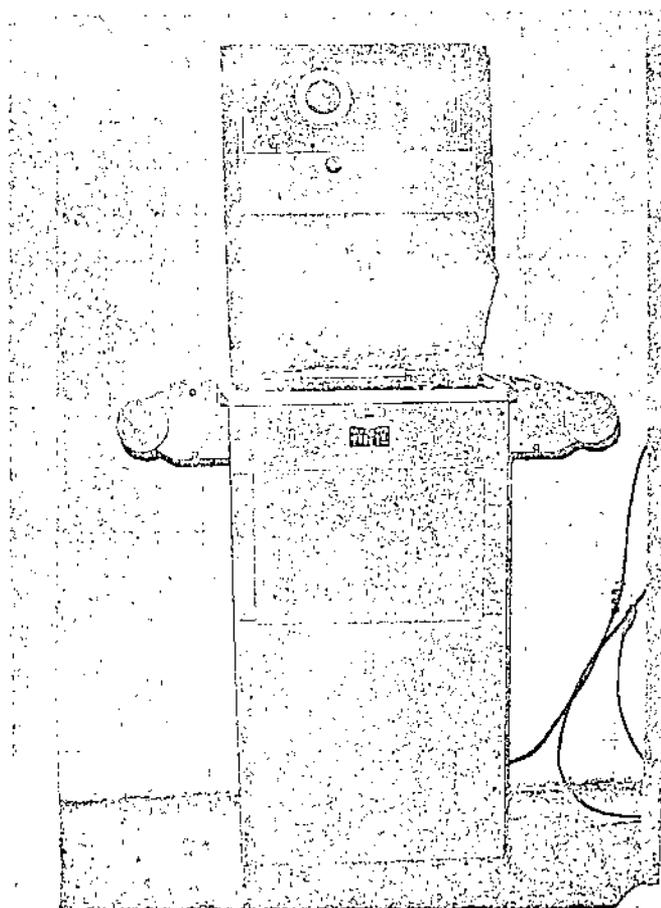


Fig. 53.- Copiadora Log Etronic para positivos con control automático de contraste

Los negativos, y por consiguiente, los positi--

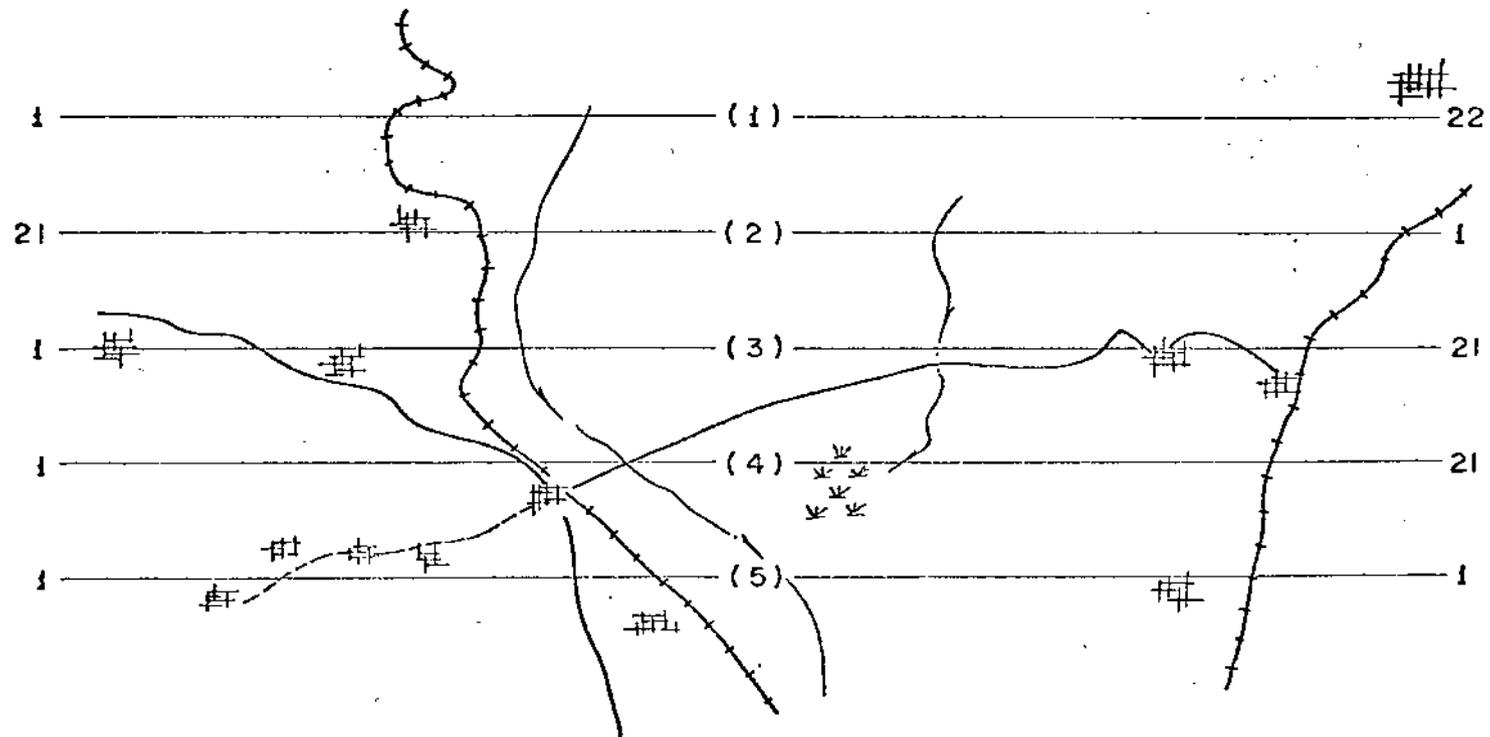


FIG. 54.— Índice de líneas, corresponde al índice de fotografías de la fig.50, observe la diferencia en la utilidad que pueden prestar.

vos, quedan en esta forma clasificados. Sin embargo, su manipulación es aún difícil, pues nada dice sobre la ubicación de las fotografías dentro del trabajo o su relación con respecto a las fotografías vecinas, resultando que cuando se busque algún detalle, una población por ejemplo, se tengan que "barajar" todas las fotografías tomadas.

Para subsanar esta deficiencia se hacen índices que se acompañan a cada juego de copias de contacto. De estos índices existen tres clases, llamados: de líneas, de vuelo y mosaico índice.

Las dos primeras son representaciones gráficas del levantamiento fotográfico. Cuando es un índice de líneas, únicamente figuran los ejes de las líneas de vue-

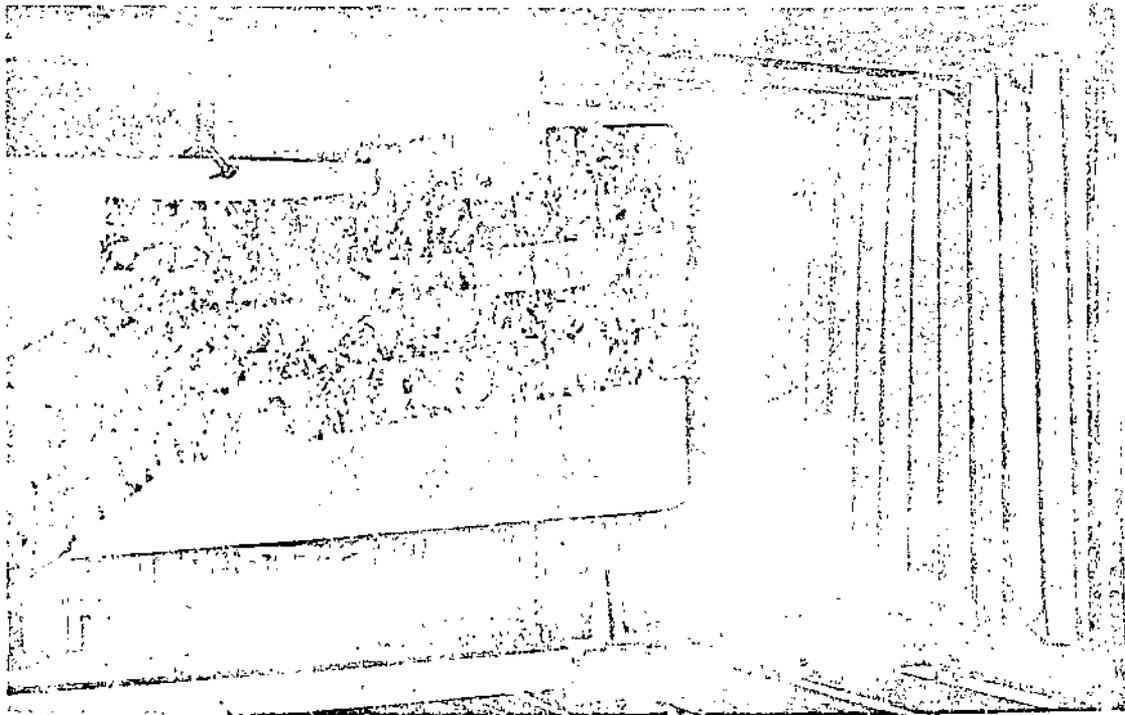


Fig. 55.- Las fotografías originales del vuelo son ensambladas, numeradas y reproducidas para formar los mosaicos índices.

lo, con su respectivo número y la anotación de la primera y de la última fotografías. Todo ello va relacionado con los detalles planimétricos más importantes del área fotografiada, como se muestra en la figura 55.

En el índice de vuelos, la representación gráfica incluye la posición de cada fotografía (figura 50), - yendo relacionado también con los detalles planimétricos existentes.

Por último, el mosaico índice, es una reproducción fotográfica del conjunto de copias de contactos con que se cubrió el área.

En todos los casos, el índice se obtiene por una reducción del trabajo ejecutado, ya sea fotográficamente o con pantógrafo, reducción que no conviene sea mayor de cinco veces.

La representación más útil la proporciona el índice de vuelo. En el mismo se pueden verificar los valores de sobreposición longitudinal y transversal, deriva, giro, dirección de los ejes de vuelo y, desde luego, su posición dentro del área levantada y relación con las fotografías adyacentes.

Claro que su ejecución representa el más arduo de los trabajos.

El mosaico índice, probablemente el más popular de los índices, muestra la posición relativa de las fotografías, pero los valores de sobreposición, giro, etc., - deben ser deducidos siempre y cuando el mosaico esté bien armado.

Su desventaja es la ocultación parcial de las fotografías y líneas al armarlas. Sin embargo, es la representación más objetiva del trabajo (figura 52).

Diremos por último, que el índice de líneas no proporciona mayor utilidad que la de ser una guía aproximada en la localización de las fotografías.

En los dos primeros casos, cuando el tamaño de-

los índices obliga a utilizar varias hojas, se acostumbra hacer reducciones del conjunto. Así, por ejemplo, en los mosaicos índices normalmente a un tamaño de 50 x 60 cms., es conveniente que, si exceden de cuatro hojas, se haga una reducción de todo el conjunto, que sirva de índice de hojas.

En el caso del índice de líneas, en realidad poco importa el tamaño o las veces que se reduce. Es más, sería aconsejable hacerlos de un tamaño tal que puedan incluirse en las cajas donde se guardan las fotografías, para acompañar una copia heliográfica a cada juego de fotografías.

Es de recomendarse que a cada levantamiento fotográfico se le haga, cuando menos, un mosaico índice y, de ser posible, un índice de vuelos.

Igualmente es de recomendarse que a cada juego de copias de contacto se acompañen dos copias heliográficas del índice de vuelo o copias de contacto del mosaico-índice.

ESPECIFICACIONES

Las especificaciones técnicas que rigen la calidad de los levantamientos fotográficos deberán ser estudiadas en cada caso y desde las solicitudes de cotización definir en forma precisa qué es lo que se desea. Una forma usual de proceder, así como las especificaciones más utilizadas, serán las siguientes:

Sobre las cotizaciones.

1.- Acompañando las cotizaciones, el contratista entregará dos negativos de película aérea, que se considerarán como muestras de la calidad y densidad de los negativos que se obtendrán en el trabajo que está siendo objeto de concurso.

Una de las muestras representará a los negativos menos densos y la otra a los más densos, de cada tipo de fotografía aérea que se obtendrá para cumplir con los requisitos del contrato.

En caso de que los negativos entregados como muestras no sean aceptables, podrá requerirse del contratista muestras adicionales, hasta que suministre las de calidad adecuada.

Las muestras aceptadas servirán para normar el criterio en la determinación de la calidad de los negativos fotográficos, y durante la ejecución del levantamiento podrá rechazarse cualquier negativo que tenga densidades menores o mayores que los negativos proporcionalizados como muestras.

2.- Todas las cotizaciones serán acompañadas de dos copias de contacto (un par estereoscópico) en papel peso doble, seminate, de los negativos aéreos de eje vertical citados, aproximadamente, a la misma escala requerida en la solicitud de cotización y de una zona análoga a la que se pretende volar.

También se acompañará la cotización de una ampliación, cuadrada, de 2.5 x, que comprenda una esquina -

y el centro de las copias de contacto.

Las copias de contacto y la amplificación se tomarán como muestra del trabajo que se solicita y todas las fotografías que se entreguen para cumplir con el contrato deberán ser de una calidad igual o superior a la de las muestras.

- 3.- Junto con las proposiciones se entregará copia de el (o los) certificado(s) de calibración de la (o las) cámara(s) que se pretenda utilizar en el levantamiento fotográfico, debiendo ser suscritos dichos certificados por una autoridad competente.

Especificaciones Técnicas para Contratos.

1.- AREA.

El área por fotografiar quedará delimitada en un plano o croquis y referida a suficientes detalles naturales o artificiales, para que los límites puedan ser reconocidos por el personal encargado de la toma de fotografías.

2.- FOTOGRAFIA.

El trabajo consistirá en la toma de fotografías aéreas de eje vertical, con una cámara de primer orden. Los negativos deberán ser apropiados para la impresión de las reproducciones fotográficas necesarias para poder examinar el área por métodos estereoscópicos.

3.- NEGATIVOS.

Solo podrán usarse emulsiones de grano fino sobre base fotográfica. No podrá emplearse material fotográfico vencido. Salvo acuerdo en contrario, todas las imágenes serán de 23 x 23 cms., con un borde libre de cuando menos 6 mm. a cada lado del área cubierta por la imagen.

4.- CAMARA.

Sólo podrán usarse cámaras de primer orden. La cámara podrá estar equipada con mecanismos de succión o presión, para mantener la película en posición plana-

y no serán aceptados negativos doblados, rajados, mal tratados o distorsionados.

La cámara deberá reproducir en todas las imágenes, - en forma definida, todas las marcas fiduciales que - permitan localizar con precisión el punto principal.

5.- DERIVA.

Ninguna línea de vuelo tendrá fotografías con deriva mayor de cinco (5) grados y su presencia será motivo para rehusar toda la línea de vuelo.

6.- INCLINACION.

Las fotografías que deberán tomarse son del tipo de - eje vertical y en ello tendrán una tolerancia de 3° . - La inclinación relativa entre fotografías consecuti- - vas no excederá de 4° y la inclinación media de todas las fotografías será igual a 1° .

7.- SOBREPOSICION.

Toda el área contenida en el primero y el último nega- - tivos de cada línea de vuelo deberá quedar fuera de - los límites por volar. Paralelas al límite, las lí- - neas deberán excederse sobre el lindero no menos de - 15% ni más del 50% del ancho de una línea.

La sobreposición longitudinal entre fotografías conse- - cutivas será igual al $57\% \pm \Delta h/hv \pm 2\%$, en que h es el desnivel máximo del terreno para esa línea de vue- - lo y hv la altura de vuelo sobre la elevación media - del terreno. Ambos valores en las mismas unidades.

La sobreposición entre líneas de vuelo adyacentes estu- - rá comprendida entre el 15 y el 25% del ancho de la - línea de vuelo.

8.- Las líneas de vuelo serán rectas. Horizontalmente - tendrán una tolerancia de $\pm 5\% hv$ y verticalmente - - $2.5\% hv$, en que hv es la altura de vuelo sobre el te- - rreno.

9.- El azimut de vuelo será igual o tendrá variaciones de - - nores de 5° (cinco grados), con respecto al azimut - -

marcado en el plan de vuelo.

- 10.- La escala media de las fotografías será la solicitada por el contratante, con una tolerancia de $\pm 10\%$.
- 11.- La película será expuesta cuando el tiempo sea meteorológicamente bueno y el sol deberá estar, entre 40° y 80° sobre el horizonte.
- 12.- La película utilizada deberá procesarse dentro de los 10 (diez) días siguientes a los de su exposición, en equipo especialmente fabricado para revelar fotografía aérea.
- 13.- El poder de resolución del negativo no será inferior al 30% del objetivo.
- 14.- La deformación máxima de los negativos, medida sobre las marcas faciales, no será mayor de 0.000 1% en cualquier dirección y la relación entre la deformación longitudinal y transversal deberá quedar comprendida entre 0.7 y 1.3.
- 15.- Los negativos, además de la numeración propia de las cámaras, serán clasificados por línea y dentro de cada línea por fotografía.
En ambos casos, la numeración será ascendente y continua, partiendo de la unidad. Todas las fotografías llevarán inscrito el nombre de la zona, además, en la primera y en la última fotografías de cada línea, -- llevará anotados los datos de fecha de vuelo, distancia focal y escala media de fotos.
- 16.- Con todas las fotografías del levantamiento se formará un mosaico índice, el cual será reproducido a 1/5 de la escala del levantamiento sobre negativos de -- 50 x 60 cms.



T E M A I

DEFINICION DE FOTOGRAMETRIA

FORMACION DEL MODELO. PRACTICA EN EL
ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS.

ING. ANTONIO BOLAÑOS MEDINA

ANTECEDENTES DE LA FOTOGRAMETRIA.

El empleo de la Fotogrametría en sus distintas formas data de muchos años atrás; es tan antigua como una ciencia específica. En el año de 1839 se hizo público el invento de la fotografía; y cuando se logró hacer fotografías de un modo práctico, se pensó en aplicar el descubrimiento a los levantamientos topográficos. No hubo duda en apreciar que la fotografía era el medio más ventajoso de conservar latentes los diferentes puntos y rayas provenientes de un objeto fotografiado, por corresponder a cada punto de éste, otro punto igual en la imagen, o por cada recta que pase por el primero otra recta igual en el segundo. Pero había que pensar la manera de reconstruir en un momento dado, la forma y dimensiones de lo fotografiado; fué así como el capitán Francés A. Laussedat, a quien se le atribuye ser el verdadero fundador de la Fotogrametría, creó el primer método de RESTITUCION basado en dos fotografías del mismo objeto, tomadas desde los extremos de una línea llamada base. Las visuales que desde los citados extremos se dirigen a los diferentes puntos de un objeto, forman dos haces de rectas cuyos centros de proyección son las estaciones de toma; de donde es posible deducir dos direcciones para fijar el punto a reproducir por intersecciones; y que para la restitución completa de lo fotografiado, basta con ir hallando los puntos de intersección de cada par de rayos homólogos de los dos haces de rectas. También pertenece a Laussedat, el invento del primer aparato restituidor para los levantamientos fotogramétricos.

En Fotogrametría el término restitución se define como la reconstrucción gráfica de lo fotografiado, transportado a un plano o también como la elaboración de planos y mapas topográficos, a través de las fotografías.

Siendo el principio fundamental de cualquier tipo de fotografía, la perspectiva central, se acudió a los estudios desarrollados por el ilustre J. H. Lambert 1759, para la transformación de una perspectiva, o sea la construcción de una proyección ortogonal conocidas dos proyecciones cónicas.

Tocó al Doctor Carlos Fulfrich 1900-1915, dar a la fotogrametría un gran impulso, con la introducción de la Estereofotogrametría o Fotogrametría Estereoscópica, método que resultó ser -- exacto para las mediciones. Asimismo, construyó múltiples aparatos de restitución aplicables a pares de vistas estereoscópicas.

La primera guerra mundial 1914-1930, aceleró la aplicación de la fotogrametría aérea, al buscar métodos utilizables con fines puramente militares; se idearon cámaras aéreas y todos los implementos que para tal misión eran necesarios.

A través del largo camino de intensas investigaciones para el mejor desarrollo de la Fotogrametría, se han sucedido grandes acontecimientos con la intervención de numerosos investigadores, hasta llegar a nuestros días en que el ejercicio de ésta materia ha llegado a alcanzar un nivel muy considerable en algunos países europeos, al grado de haberla incorporado a la computación electrónica. En México, el campo de acción de la Fotogrametría es -- muy vasto, pero su desarrollo ha quedado limitado al factor económico. Así es como contadas empresas gubernamentales y privadas se dedican a trabajos de esta especialidad. Muy de veras se desea que en el País se forjen elementos que sirvan para diversificar la aplicación de esta importante rama de la Ingeniería, con todos los adelantos posibles.

DEFINICION DE FOTOGRAMETRIA.

La fotogrametría se define como la aplicación de la métrica a la fotografía, cuyo problema fundamental, inverso del de la -- perspectiva, consiste en deducir de fotografías de un objeto, la forma, posición y dimensiones de éste. También se puede definir como el arte de confeccionar mapas y planos topográficos deducidos de las fotografías o fotogramas.

APLICACIONES.- El aporte de la Fotogrametría a las actividades humanas es positivamente importante y su campo principal

lo constituye la topografía; aquí se notan éxitos considerables, tales como la automatización de los cálculos, medidas y trazos, cuyos registros son automáticos también. A lo anterior se añaden múltiples usos de la Fotogrametría, tanto en la investigación como en el aspecto práctico; así por ejemplo: se aplica en obras de Ingeniería Civil, en levantamientos de exploración y de proyecto en general, en levantamientos agrícolas y forestales con fines inventariables en levantamientos catastrales con fines urbanísticos y de regularización; en levantamientos destinados a estudios geológicos, estudios marítimos, en investigaciones arqueológicas y en muchos otros casos específicos.

Asimismo conociendo la función más amplia de una planificación, de representar las formaciones topográficas naturales y las obras humanas existentes en una región determinada, con la mayor fidelidad y sometidas a una escala preestablecida, conviene aprovechar a su máximo el procedimiento señalado, de tal suerte que resuelva los problemas más urgentes de ingeniería en sus diversas ramas que se presentan en la actualidad y en cualquier época.

ESTEREOFOTOGRAMETRIA

La estereofotogrametría, que supera enormemente a los métodos topográficos tradicionales, en planimetría y altimetría, aparejada a un equipo adecuado, nos proporciona un medio objetivo de la zona por planificar, permitiéndonos la facultad y con la mayor comodidad en gabinete, de conocer: la fisonomía del terreno; la superficie, la forma de concentración de las aguas, los causes principales y sus pendientes, la vegetación y su clasificación, las condiciones geológicas, las obras humanas existentes etc. etc.

VENTAJAS DE LA FOTOGRAMETRIA.

No se puede cumplir con una descripción íntegra de las ventajas que ofrece un levantamiento fotogramétrico sin embargo se