

Universidad Autónoma
de Querétaro

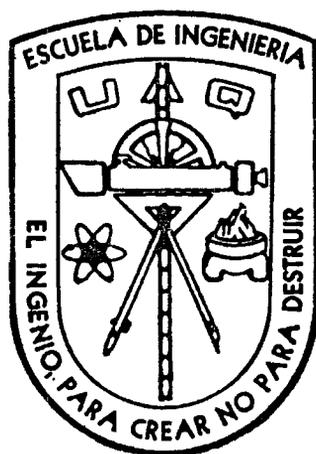
ESCUELA DE INGENIERIA

La Fotogrametría y su Aplicación a la Ingeniería

TESIS PROFESIONAL

Que para Obtener el Título de:
INGENIERO

Presenta:
ARNULFO ANDRADE ESCAMILLA



Biblioteca Central

13 FEB. 1980

QUERETARO, QRO. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO 1980

No. Reg. 2295

TS

Clas. 623.72

A553f



JUNIO 26 DE 1979.-

OFICIO NUM: 387

ASUNTO: SE APRUEBA TEMA DE
TESIS.

SEÑOR PASANTE.
ARNULFO ANDRADE ESCAMILLA,
PRESENTE.-

En respuesta a su atenta solicitud, relativa al Tema de Tesis Profesional, me permito comunicarle a Ud., el que para tal efecto fué propuesto por el SR.ING. RODOLFO MAGNUS GALAN. El Título de Tesis será:

LA FOTOGRAMETRIA Y SU APLICACION A LA INGENIERIA.-

TEMARIO:

- I. FUNDAMENTOS.-
1. INTRODUCCION.
 - 1.1. FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION.-
 - 1.2. LA FOTOGRAMETRIA COMO METODO GEODESICO DE MEDIDA.-
 - 1.3. APLICACIONES NO GEODESICAS DE LA FOTOGRAMETRIA.
 2. LA CAMARA METRICA.-
 - 2.1. LA CAMARA OSCURA
 - 2.2. LA FOTOGRAFIA POR MEDIO DE OBJETIVO FOTOGRAFICO.
 - 2.3. ORIENTACION INTERNA DE LA CAMARA METRICA.
 - 2.4. ESTRUCTURA DE LOS OBJETIVOS FOTOGRAFICOS,
 3. LA IMAGEN FOTOGRAFICA.
 - 3.1. FOTOGRAFIA EN BLANCO Y NEGRO,
 - 3.2. FOTOGRAFIA INFRARROJA Y COLORES,
 4. ORIENTACION EXTERIOR DE LAS FOTOGRAFIAS
 - 4.1. DATOS DE LA ORIENTACION EXTERIOR,
 - 4.2. COORDENADAS ESPACIALES, ESCALA DE LA FOTOGRAFIA E INFLUENCIA DE PEQUEROS DESPLAZAMIENTOS.
 5. MEDIDAS EN LAS FOTOGRAFIAS.
 - 5.1. MEDIDAS EN FOTOGRAFIAS AISLADAS,
 - 5.2. MEDIDAS EN PARES FOTOGRAFICOS.

**



II. FOTOGAMETRIA TERRESTRE.-

1. APARATOS DE TOMA,
2. PRACTICA DELA OPERACION
 - 2.1. FOTOGAMETRIA PRACTICA DE MESA
 - 2.2. ESTEREOFOTOGAMETRIA
3. COMPARACION ENTRE LA MEDICION POR FOTOGRAFIAS TERRES' Y AEREAS.-

III. FOTOGAMETRIA AEREA.-

1. LEVANTAMIENTO AEROFOTOGAMETRICO,
 - 1.1. PROPIEDADES Y NATURALEZA DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS.
 - 1.2. ORDENACION DE LAS FOTOGRAFIAS,
 - 1.3. CAMARAS FOTOGAMETRICAS,
 - 1.4. APARATOS PARA DETERMINAR LA ORIENTACION EXTERNA DE LAS FOTOGRAFIAS DURANTE EL VUELO.
2. RESTITUCION DE FOTOGRAFIAS AISLADAS MEDIANTE RECTIFICACION.
 - 2.1. FUNDAMENTOS SOBRE RECTIFICACION DE FOTOGRAFIAS
 - 2.2. RECTIFICACION GRAFICA,
 - 2.3. TRANSFORMACION MEDIANTE PROYECCION OPTICA SUBJETIVA
 - 2.4. RECTIFICACION MEDIANTE PROYECCION OPTICA OBJETIVA.
3. TEORIA DE LA RESTITUCION CON DOS FOTOGRAFIAS.
 - 3.1. EL PRINCIPAL PROBLEMA DE LA FOTOGAMETRIA.
 - 3.2. ORIENTACION RELATIVA,
 - 3.3. ORIENTACION ABSOLUTA.
4. RESTITUCION CON UN PAR DE FOTOGRAFIAS.-
 - 4.1. PROCEDIMIENTO Y APARATOS DE MEDICION CON PARES FOTO GRAFICOS.
 - 4.2. RESTITUCION CON RECONSTRUCCION DE LA ORIENTACION EX TERNA?
 - 4.3. APARATOS DE RESTITUCION SIN RECONSTRUCCION DE LA - ORIENTACION EXTERNA.
5. APARATOS SENCILLOS DE RESTITUCION.
 - 5.1. RESTITUCION DE FOTOGRAFIAS MEDIANTE APARATOS CON ES TEREOMETRO.
 - 5.2. ERRORES DE LA MEDIDA CON ESTEREOMETRO,
 - 5.3. EL ESTEREOTOPO.



EDUCO EN LA VERDAD Y EN EL HONOR

* 3 *

6. DETERMINACION DE LOS PUNTOS DE APOYO Y AEROTRIANGULACION.
 - 6.1. LA IMPORTANCIA DE LOS PUNTOS DE APOYO EN FOTOGAMETRIA
 - 6.2. TRIANGULACION RADIAL.
 - 6.3. TRIANGULACION AEROESPACIAL.
7. FOTOGAMETRIA ANALITICA.-
 - 7.1. CONTENIDO, PRESENTACION INSTRUMENTAL Y PRACTICA GENERAL.
 - 7.2. APLICACION DE LAS FORMULAS DE CALCULO PARA LA AERO TRIANGULACION ANALITICA).
 - 7.3. METODO DE G.H. SCHUT.
8. APLICACIONES.-
 - 8.1. FOTOGRAFIAS AISLADAS Y ORTOFOTOGRAFIAS
 - 8.2. LA RESTITUCION CON DOBLE FOTOGRAFIA EN LEVANTAMIENTO CATASTRAL.
 - 8.3. ELABORACION DE CARTAS TOPOGRAFICAS MEDIANTE LA MEDICION DE PARES ESTEREOSCOPICOS.
 - 8.4. LA FOTOGAMETRIA EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS.

BIBLIOSRAFIA

También hago de su conocimiento las disposiciones de nuestra Escuela, en el sentido de que antes de su Examen Profesional deberá cumplir el requisito del Servicio Social y de que el presente oficio se imprima en todos los ejemplares de su Tesis.-

ATENTAMENTE
"EDUCO EN LA VERDAD Y EN EL HONOR".

ING. JESUS PEREZ HERMOSILLO,
DIRECTOR.

C.c.p.- Archivo Escuela de Ingeniería.- Centro Universitario.-
C.c.p.- Mesa de Profesiones de la U.A.Q.- Centro Universitario.-
C.c.p.- Sr. Ing. Rodolfo Magnus Galán.- Presente.-

I.- FUNDAMENTOS.

1. INTRODUCCION.

1.1. FOTOGRAMETRIA Y FOTOINTERPRETACION.

Se define como FOTOGRAMETRIA a la medida de un objeto cualquiera, - tanto en lo que se refiere a su forma como a su situación, ejecutada por medio de fotografías del mismo objeto. Es frecuente que el uso - de fotografías, especialmente las aéreas, no tienen como fin la medida, sino la investigación y significación del contenido de las vistas, constituyendo, de esta forma, la llamada FOTOINTERPRETACION, en lo que respecta a la geología, la vegetación, la investigación arqueológica, etc.

1.2. LA FOTOGRAMETRIA COMO METODO GEODESICO DE MEDIDA.

La fotogrametría se emplea principalmente y cada vez mas en la medición de la superficie terrestre y la representación de la misma mediante planos y cartas topográficas.

Es también un método geodésico de medida. Sus métodos se basan en el empleo de una sola o un par de fotografías. Según el lugar desde donde hayan sido tomadas dichas fotografías, se divide en fotogrametría Aérea o Fotogrametría Terrestre.

Medición con una o dos fotografías.- La fotografía es una perspectiva central del objeto fotografiado. Por ello solamente proporciona - un lugar geométrico para la situación de los puntos del objeto fotografiado y solamente permite una reconstrucción del objeto representado cuando éste puede ser considerado como plano. Cuando se cumple esta suposición y se cortan los rayos proyectantes por planos bajo - ángulos favorales, es posible obtener a partir de medidas tomadas en la fotografía una representación geoméricamente semejante del objeto - plano. Por su índole, la medición con una fotografía aérea pertenece a la Aerofotogrametría, y, dentro de ésta, sirve para la obtención de la planimetría de terrenos planos.

La medida de un objeto espacial del que se necesita determinar para sus puntos, además de la posición en el plano, su altitud, es posible cuando se han tomado del mismo sendas fotografías desde dos puntos distintos, con lo que cada punto del terreno puede ser determinado

do por intersección de dos rayos procedentes de las vistas. El elemento básico de medida es el par fotográfico. La doble medida no tiene ninguna limitación en lo que se refiere a la toma del terreno; es el método de medida más universal y exacto. En fotogrametría terrestre la doble medida es indispensable.

En fotogrametría aérea la doble medida se emplea cuando el terreno no sea llano, así como en los casos en que se requiera de una gran exactitud.

Fotogrametría Terrestre y Aérea.- La fotogrametría terrestre se emplea para efectuar mediciones solamente en casos especiales, por ejemplo, para la topografía de alta montaña. Necesita puntos de toma de las fotografías con amplios panoramas; de otra forma, los primeros términos tapan el terreno más remoto. Por otro lado, las distancias de los distintos puntos al punto de toma de la fotografía son muy distintos y por lo mismo también lo son los ángulos bajo los que se cortan los distintos rayos correspondientes al efectuar la doble medida.

La exactitud de las vistas terrestres disminuye al aumentar la profundidad del espacio fotografiado. En fotogrametría aérea no existen ambos inconvenientes en casi todos los casos, ya que desde el avión se tiene una visión eminente del terreno, y las distancias a que permanecen los objetos quedan siempre dentro del mismo orden de alejamiento, en tanto las fotografías se tomen por encima de las montañas altas y con el eje de la cámara próximamente vertical. Por esta razón las fotografías que se tomen con objeto de elaborar cartas topográficas se harán para la aerofotogrametría.

1.3. APLICACIONES NO GEODESICAS DE LA FOTOGAMETRIA.

Aparte de su uso con fines geodésicos, la fotogrametría posee una serie de ventajas en muchos ámbitos de la ciencia y la técnica en donde se convierte en un valioso auxiliar, que a veces llega a ser imprescindible; a continuación se citan solamente algunos ejemplos, de manera muy general:

Las fotografías dan de nuevo al objeto, totalmente, fotografiado con todos sus detalles - no solamente unos puntos o partes especiales - y con la comprobación de su posición en el momento de la toma. Las

fotografías y su preparación se hacen rápidamente y además progresan fácilmente. Con estas cualidades se recomienda el uso de la fotogrametría para la fijación de una situación de objetos, por ejemplo - cuando se trata de un estado de elementos del terreno, como es el caso, de los límites de una avenida fluvial, o para fotografías de arquitectura, etc. Otra ventaja consiste en que el objeto fotografiado no precisa ser tocado, ya que su medida se hace por métodos indirectos; él mismo puede ser totalmente inaccesible. Se puede, mediante fotografías tomadas al mismo tiempo y desde dos puntos distintos, -- por ejemplo, determinar la forma de las nubes o de cuerpos de animales para medir los progresos de su crianza, o bien por medio de la - fotogrametría con rayos X, efectuar mediciones en el interior del -- cuerpo humano. Es posible también efectuar medidas técnicas de cuerpos en movimiento rápido o lento mediante la toma del número necesario de fotografías. De ésta manera se emplea la fotogrametría para - la medición de trayectorias, para el estudio de ondas líquidas en la naturaleza o en laboratorios técnicos de construcción; para la deter_{minación} de la velocidad de glaciares; para la medición de deforma_{ciones} en obras, etc.

2. LA CAMARA METRICA.

2.1. LA CAMARA OSCURA.

Se supone, primeramente, que la cámara fotográfica en vez de objetivo tiene un pequeño orificio circular. El centro del orificio es el centro de proyección O de la cámara oscura (Fig. 1). En el plano de la imagen, dado por el correspondiente marco, se forma la imagen fo-

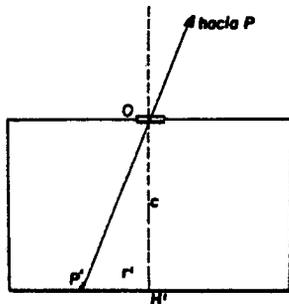


Fig. 1. Cámara Oscura.

tográfica. El pie de la perpendicular bajada desde O al plano del marco es el punto principal H' , la distancia $OH' = c$ se llama constante de la cámara. La cámara oscura proporciona una proyección central exacta. Entre la medida del ángulo σ' , formado en O por la recta dirigida a un punto exterior P con la dirección de la cámara y la correspondiente distancia r' al punto principal en la imagen, existe la siguiente relación:

$$r' = c \cdot \text{Tag } \sigma' .$$

El marco lleva 4 marcas fiduciales (fig. 2) que, unidas dos a dos mediante líneas rectas que se cortan en ángulo recto, definen la cruz de corte de los ejes de la imagen. El punto en que se cortan las dos rectas de unión es el punto central de la imagen M' ; debe, si es posible, coincidir con el punto principal.

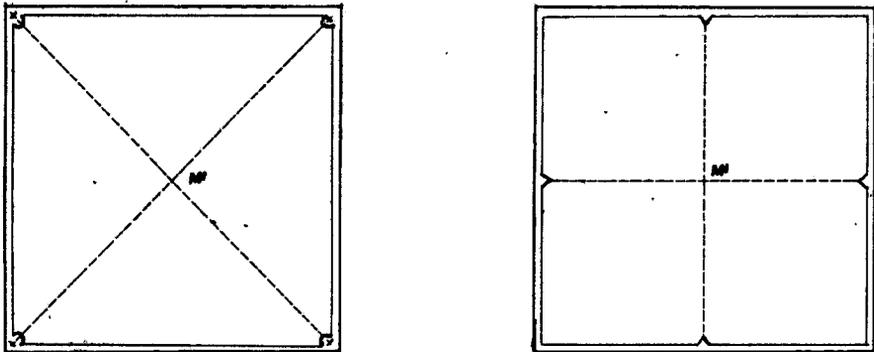


Fig. 2. Marco y Marcas Fiduciales.

Para encontrar el ángulo σ' con el eje por medio del segmento r' en la imagen, hay que conocer la orientación interna, o sea la posición relativa entre el plano de la imagen y el centro de proyección; viene expresada por el valor de c y por la posición de H' con respecto a la cruz de los ejes. Las fotografías con orientación interna conocida se pueden obtener solamente con cámaras fotogramétricas. Las cámaras fotogramétricas se diferencian de las cámaras fotográficas comunes, especialmente por su estabilidad, por el conocimiento exacto de su valor de c y por su marco de imagen que proporciona una orientación precisa e invariable.

Por medio de la cámara oscura se obtiene una "fotografía ideal"; las

definiciones matemáticas hasta ahora presentadas sirven sólo para este caso ideal. En la práctica ni se usa una cámara oscura, ni una fotografía ideal. Para las fotografías producidas por medio de un objetivo la fórmula de la proyección central $r' = c \operatorname{tag} \gamma$ no es exacta; sin embargo, si las variaciones con respecto a esta expresión que correspondan a la cámara que se emplee en un momento dado, se conocen y se toman en cuenta, bastará para su empleo en la práctica partir de lo establecido para la fotografía ideal.

2.2. LA FOTOGRAFIA POR MEDIO DE OBJETIVO FOTOGRAFICO.

El centro de la cámara de medida es el objetivo; dicho objetivo consta de un cierto número de lentes simples que por su forma y posición han de corregir los errores en la fotografía, con el objeto de obtener en toda su superficie la máxima fidelidad.

La imagen de un punto objeto es llevada mediante un cono de rayos a través de la abertura del diafragma (O.B.), cuyo diámetro se determina con anterioridad. Las imágenes de dicho diafragma, que en realidad está colocado en el objetivo, y que se encuentran situadas o en el lado del objeto o en el lado de la imagen, se llaman, respectivamente, pupila de entrada (P.E.) o pupila de salida (P.S.). Los rayos principales o sus prolongaciones, en su recorrido pasan por el cen-

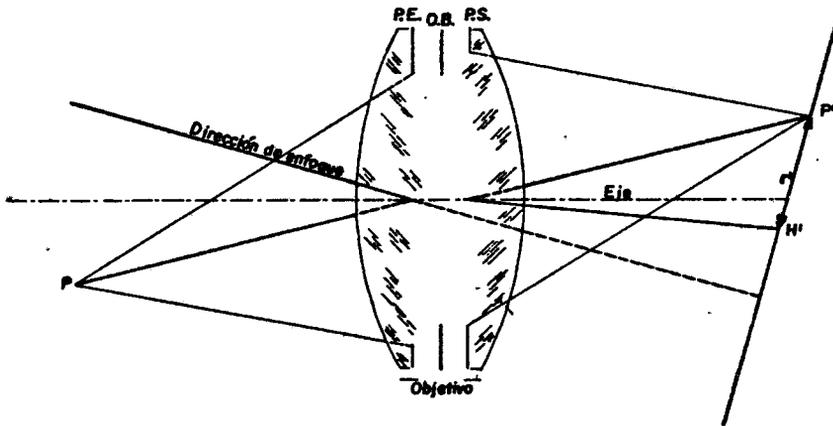


Fig. 3. Abertura del Diafragma O.B., Pupila de Entrada P.E. y Pupila de Salida P.S.

tro del diafragma y también por el centro de las pupilas de entrada y de salida (Fig. 3); a ellos pertenecen los puntos-objeto y puntos-imagen conjugados entre sí. Por esto, mediante estos rayos principales se puede representar la marcha ideal de los rayos que forman la imagen.

La cámara oscura tiene dos centros de proyección, uno para el espacio-objeto y otro para el espacio-imagen y que son el punto central de la pupila de entrada (P.E.) y el punto central de la pupila de salida (P.S.), respectivamente.

Desde el punto de vista de la marcha de los rayos a través del objetivo, las definiciones matemáticas anotadas anteriormente necesitan algunas puntualizaciones:

- a).- La dirección de toma es el rayo principal cuya representación, prolongada en el espacio-imagen, es perpendicular al plano del cuadro.
- b).- El punto principal es el punto de intersección de dicho rayo principal con el plano del cuadro. Si el eje óptico del objetivo es perpendicular al plano del cuadro, coincide con la dirección de la cámara; H' es entonces el punto de intersección del eje óptico con el plano del cuadro.
- c).- La orientación interna expresa la relación entre el ángulo del eje, ∇ , medido en el punto medio de la pupila de entrada, (P.E.) y la distancia del cuadro, r' . Dicha relación se expresa de la siguiente forma:

$$r' = c F (\nabla)$$

d).- Los datos de la orientación interna son:

1. Las coordenadas del punto principal H' ; se pueden dar con relación al punto de cruce de los ejes del cuadrado; la distancia al cuadro r' se mide desde H' .
2. La constante c de la cámara es igual a la distancia focal del objetivo de toma.
3. La función $F (\nabla)$ difiere de la tangente correspondiente a la proyección central, en lo que se refiere a la distorsión del objetivo $\Delta r'$

$$r' = c F (\nabla) = c \text{Tag} \nabla + \Delta r'$$

La distorsión es un error producido por el eje en la imagen, que - -

afecta a la situación de los puntos pero no a la finura de la misma. La distorsión se presenta en general como simétrica en sentido radial; para valores iguales de la distancia al cuadro, r' , da valores de la misma sin influir la dirección del segmento.

En la figura 4 se representa el valor $\Delta r'$ de la distorsión de un objetivo como función de r' , aumentado varias veces. A causa de la distorsión todas las líneas rectas que no cortan el eje óptico se curvan en la imagen; el cuadrado de la figura 4 se distorsiona en forma de almohadilla. Las rectas del objeto que cortan al eje óptico siguen como imágenes líneas rectas. Tomando como base estas propiedades se puede probar un objetivo en relación con distorsiones tangenciales.

La distorsión máxima de los modernos objetivos de toma es menor de $-1/100$ mm.

La orientación interna de una cámara métrica se determina por lo general en la misma fábrica. Por esto la constante c de la cámara se establece de tal manera que para una cierta distancia del cuadro r'_0 y el correspondiente ángulo con el eje, ∇ , sea cero la distorsión, o sea que:

$$c = \frac{r'}{\tan \nabla}$$

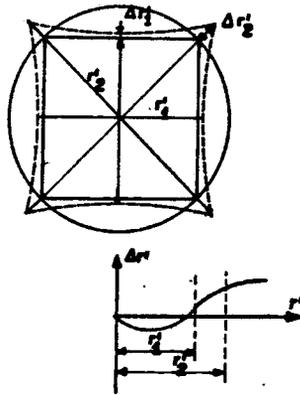


Fig. 4. La Distorsión.

La distorsión para cada cámara métrica (al menos para cada tipo de objetivo) se determina con respecto a r' según se muestra en la figura 4. Aparte de esto, las marcas fiduciales del marco se colocan con

tanta exactitud, que el punto principal H' y el punto medio M' distan entre sí de 0.01 á 0.02 mm.

2.3. ORIENTACION INTERNA DE LA CAMARA METRICA.

La determinación de la orientación interna de una cámara métrica se lleva a cabo de la siguiente manera:

Se toma una fotografía, cuyo plano de imagen sea vertical, en la que se aprecien una serie de puntos bien definidos y uniformemente distribuidos; tanto los puntos como la cámara métrica deben hallarse en un plano aproximadamente horizontal. Con un teodolito, cuyo eje vertical se halle en el sitio de la pupila de entrada de la cámara, se medirá una radiación que pase por dichos puntos; cuando no se conozca exactamente el sitio de la pupila de entrada, los puntos elegidos deben hallarse lo suficientemente lejos para que el efecto de la excentricidad sea inapreciable. Entre los puntos de prueba habrá uno, P_2 , que se encuentre en las inmediaciones de la dirección de toma, - mientras que otros puntos, P_1 y P_3 , colocados simétricamente con respecto a la dirección de toma, forman grandes ángulos con el eje (ver Figura 5). La distorsión puede ser tomada igual a cero en P_2 , y en los puntos P_1 y P_3 se presentará con valores iguales y de sentidos contrarios. Llamando (c) al correspondiente valor aproximado de la -

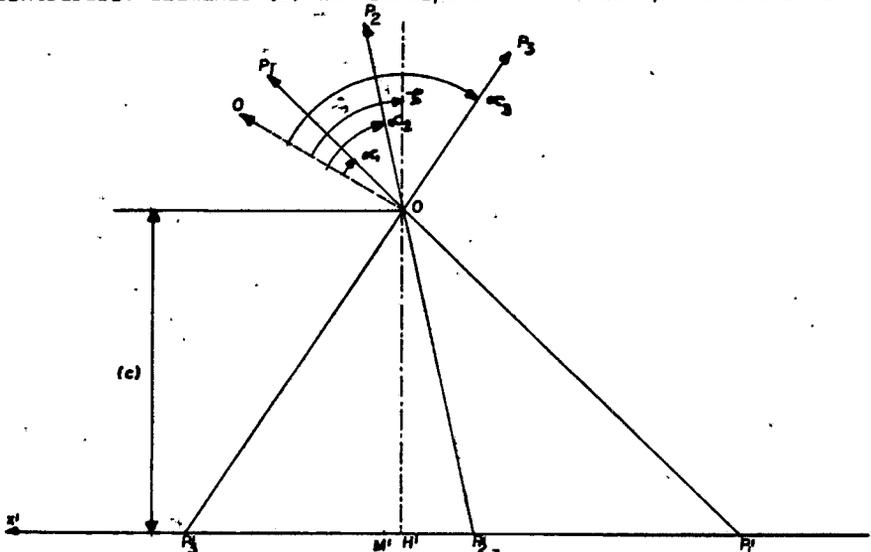


Fig. 5. Determinación de la Orientación Interna.

constante c de la cámara, como la distorsión en conjunto de los puntos P_1 y P_3 es cero, tenemos para P_1, P_2 y P_3 :

$$\text{Tag}(\alpha_i - \zeta) = \frac{X'_i - X'_H}{(c)} ; i = 1, 2, 3.$$

ζ es el ángulo entre la dirección de toma y la dirección cero (0) de la alineación establecida. Las magnitudes X' de la fotografía se pueden medir por medio de un comparador con respecto a un punto de referencia cualquiera.

Para la determinación de las incógnitas ζ, X'_H y (c) se introduce la incógnita auxiliar $\alpha_1 - \zeta = \nu_1$. Con $\text{Tag} \nu_1 = (X'_1 - X'_H) \div (c)$, pueden ponerse las ecuaciones para los puntos 2 y 3 de la forma siguiente:

$$\text{Tag}[\nu_1 + (\alpha_2 - \alpha_1)] = \text{Tag} \nu_1 + \frac{X'_2 - X'_H}{(c)}$$

$$\text{Tag}[\nu_1 + (\alpha_3 - \alpha_1)] = \text{Tag} \nu_1 + \frac{X'_3 - X'_H}{(c)}$$

Su resolución con respecto a ν_1 da:

$$\text{Tag} \nu_1 = \frac{(X'_2 - X'_H) \cot(\alpha_2 - \alpha_1) - (X'_3 - X'_H) \cot(\alpha_3 - \alpha_1)}{X'_2 - X'_3}$$

$$\zeta = \alpha_1 - \nu_1$$

$$(c) = \frac{X'_3 - X'_H}{\text{Tag}(\alpha_3 - \zeta) - \text{Tag} \nu_1}$$

$$X'_H = X'_2 - (c) \text{Tag}(\alpha_2 - \zeta)$$

Ejemplo:

	P_1	P_2	P_3	M'
α_0	2.7500	40.8340	79.3475	
X' (mm)	1.02	106.40	212.76	107.00

$$\text{Tag} \nu_1 = - \frac{105.38 (\cot 38.0840^\circ) - 211.74 (\cot 76.5975^\circ)}{106.36} = - 38.3252^\circ$$

$$= 2.7500^\circ + 38.3252^\circ = 41.0752^\circ$$

$$(c) = \frac{211.74}{\text{Tag} 38.27230 + \text{Tag} 38.3252} = 154.22 \text{ mm.}$$

$$X'_H = 106.40 + 154.22 (\text{Tag. } 0.2412^0) = 106.98 \text{ mm.}$$

El punto principal H' de la fotografía se encuentra, respecto del -- punto medio M' de la misma, en la dirección de X' alejado -0.02 mm.- Se recomienda la determinación reiterada de las incógnitas para - - otros tres puntos escogidos de modo parecido.

Con ∇ se tienen todas las direcciones expresadas en ángulos con el -- eje: $\nabla = \alpha - \zeta$. Del mismo modo los valores de X', sin cambiar su designación, se refieren al punto principal de la fotografía. Entonces se calcula para todos los puntos de la radiación $\Delta X' = X' - (c) \text{Tag} \nabla$. La presentación gráfica de $\Delta X'$ como función X' proporciona una curva de distorsión como la de la figura 4. Da para la distancia elegida de cero, por ejemplo, X' = 70 mm., y para el correspondiente ángulo ∇_0 con el eje la distorsión X'_0. Para obtener el valor definitivo de la constante c de la cámara hay que variar (c) de tal forma que - se haga X'_0 = 0; así se obtiene:

para (c): $X'_0 = X'_0 - (c) \text{Tag} \nabla_0$

para c: $0 = X'_0 - c \text{Tag} \nabla_0$

$$c = (c) + \frac{\Delta X'_0}{\text{Tag} \nabla_0}$$

De esta forma se dibuja una nueva curva de distorsión correspondiente a c:

$$\Delta X' = X' - c \text{Tag} \nabla_0$$

Queda, solamente la determinación de H' en dirección perpendicular a X'. Para esto gira 90° la cámara; la operación es entonces igual a - la que se hizo en la primera operación de la cámara.

2.4. ESTRUCTURA DE LOS OBJETIVOS FOTOGRAFICOS.

Desde el punto de vista del ángulo que presenta cada objetivo, éstas se clasifican en:

Objetivo normal	2 α alrededor de 58°
Objetivo granangular	2 α alrededor de 90°
Objetivo supergranangular	2 α alrededor de 117°

2 α representa lo que se llama ángulo de abertura del objetivo y es el doble del ángulo ∇ , que forma con el eje principal el rayo que pasa por el punto más apartado del borde de la imagen.

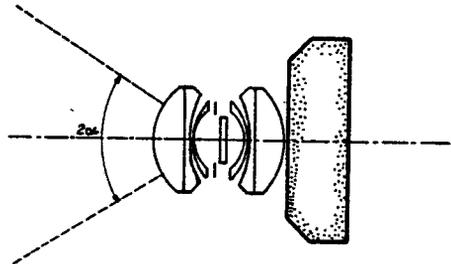


Fig. 6. Objetivo de Angulo Normal 1:4, $f = 21$ cms.

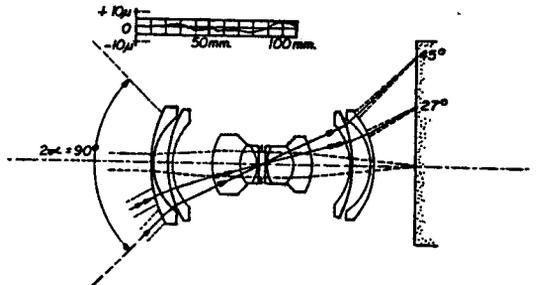


Fig. 7. Objetivo Granangular h3 $f = 11.5$ cms. con el Recorrido de los Rayos.

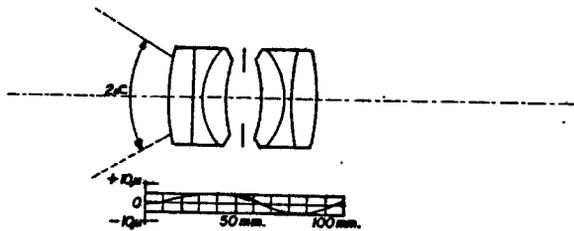


Fig. 8. Objetivo de Angulo Normal 1:25, $f = 19$ cms., para Levantam. Terrestres.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO
 ESCUELA DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 ARNULFO ANDRADE ESCAMILLA

A todos los objetivos fotogramétricos se les exigen las condiciones-siguientes:

a).- Gran nitidez y alto poder de resolución. Como nitidez de un objetivo se entiende su capacidad para dar en el plano de la imagen -- con tomas definidos de los objetos situados en el espacio-objeto. El poder de resolución viene a ser el límite hasta el cual dos detalles contiguos se pueden distinguir, uno del otro, sin confundirse.

b).- Pequeña caída de luz en los bordes de la imagen. En los objetivos en que el diafragma se ha colocado delante del objetivo, la in-tensidad de la iluminación cae en los bordes de la imagen según $\cos^4 \sigma$. En un objetivo granangular se acusa en los bordes ($\sigma = 50^\circ$)-- solamente un 25% de la intensidad de iluminación que existe en el --centro de la imagen. En los objetivos con diafragma interior se ha -- ideado de tal modo su construcción que la caída de rayos debida a su inclinación con respecto al rayo principal se compensa en lo posible en el interior del objetivo (fig. 7). Con ello la caída de luz teóri--ca según $\cos^4 \sigma$ queda considerablemente disminuida.

c).- Pequeña distorsión. La distorsión puede llegar a ser muy impor--tante en la restitución, aunque ésta queda simplificada cuando la --distorsión permanece tan pequeña en todos los puntos interiores, que se puede prescindir de ella por ser mas pequeña que la presición bus--cada. Desde 1950 algunas firmas han desarrollado los objetivos llama--dos de alto rendimiento que cubren eficazmente las condiciones enume--radas anteriormente.

Las principales familias de objetivos de alto rendimiento para foto--grafía aérs son:

FIRMA	NOMBRE	ANGULO 2σ	DIST. FOCAL (CM.)	RELACION ABERTURAS
Zeiss	Telikon	30°	61.0	1:6.3
Zeiss	Topar	57°	30.5	1:5.6
Zeiss	Topar	62°	21.0	1:4.0
Zeiss	Pleogon	94°	11.5; 15.3	1:5.6
Zeiss	S-Pleogon	125°	8.5	1:4.0
Wild	Aviotar	60°	17; 21	1:4.0
Wild	Aviogon	90°	10.0; 11.15; 15.3	1:5.6
Wild	Superaviogon	120°	8.8	1:5.6

La relación de abertura es el cociente del diámetro de la pupila de-

entrada con respecto a distancia focal. Dicha relación debe ser - - grande, dado las altas velocidades de los aparatos de vuelo, la exp sición debe ser corta.

3. LA IMAGEN FOTOGRAFICA.

3.1. FOTOGRAFIA EN BLANCO Y NEGRO.

La emulsión fotográfica consiste en pequeños granos de bromuro de -- plata embebidos en gelatina. Por medio de su iluminación se obtiene una imagen "latente". En las partes iluminadas y por efecto químico-- del revelado, queda una mezcla de bromo y plata separados, proceden-- tes del bromuro de plata. En la parte que no se ha iluminado queda - el bromuro de plata, mismo que en la operación de fijado se quita me-- diante el lavado. De esta forma se obtiene un negativo que hace visi-- bles las diferencias de claridad del objeto fotografiado como dife-- rencias de ennegrecimiento en la capa fotográfica.

Por su naturaleza, las emulsiones fotográficas son sensibles al co-- lor azul, sin embargo hay procedimientos para que sean sensibles a - otros colores. Las emulsiones que son sensibles además del azul al - verde y al amarillo se llaman "ortocromáticas"; si además son sensi-- bles al rojo, reciben el nombre de "pancromáticas". En tanto que las diferencias de iluminación en fotografías terrestres tienen valores-- de 30:1 y mayores, en las fotografías aéreas son para la luz prove-- niente de la superficie terrestre notablemente menores; bajando, ade-- más, al aumentar la altura de vuelo. Y como en las fotografías aé-- reas se tiene que observar una distinción de tonos más fina, se debe tratar de obtener un contraste tanto más fuerte cuanto mayor sea la-- altura de vuelo.

La pequeña iluminación de las fotografías aéreas es debida principal-- mente a la luz aérea, que se superpone a la luz procedente del terre-- no. Es debida a la reflexión difusa de la luz del sol en el fino pol-- vo y partículas de agua que existen suspendidas en el aire que se en-- cuentra entre el terreno y el avión. Se observa también desde el - - avión sobre la superficie de la tierra un tono azulado que disminuye el contraste.

Para evitar en las fotografías de acción de la luz azul de pequeña - longitud de onda, es necesario usar filtros, los cuales no permiten-- el paso a los rayos que así se desee.

Las emulsiones fotográficas requieren un gran poder de separación para distinguir claramente los puntos que en la fotografía estén muy juntos. El poder de separación es tanto más alto cuanto más fino es el grano de la emulsión. Por otra parte, al hacerse el grano más fino cae la sensibilidad general de la capa emulsionada; lo que, para fotografías aéreas, al tiempo de exposición es muy corto, habrá que buscar un equilibrio entre el aumento de finura y del grano y la sensibilidad general.

Los soportes para las emulsiones (película o cristal) han de ser métricamente invariables, para no falsear la imagen generalmente libre de distorsiones obtenida con la cámara métrica. Las distorsiones son más peligrosas cuando se emplea película.

Es prácticamente imposible no obtener errores en la película, pero estos se pueden reducir a un mínimo, más que aceptable, cuando se tienen las debidas precauciones en el revelado y en el secado, así como tratar de evitar una climatización irregular y un trato mecánico también irregular.

Previamente a la restitución, generalmente se asignan en el espacio correspondiente a la fotografía unas coordenadas planas de transformación a unos puntos cuya posición en el terreno es conocida y que se llaman puntos de apoyo. Bajo esta suposición, los errores debidos a la película se pueden calcular en sus valores medios por la fórmula empírica $m(\text{mm}) = \pm 0.006 \theta$, siendo θ la longitud media de lado del formato en decímetros.

Esta fórmula puede ser usada cuando se utiliza película de Celulosa-Acetato - Base. Ultimamente se emplea como película de soporte la sintética de poliéster, que es menos sensible que las más antiguas a las variaciones de temperatura o de humedad, y por tal motivo garantizan una mayor conservación de sus medidas.

Cuando se usan placas de cristal, los errores son menores que en las películas; sin embargo, también en este caso hay que temerlos, principalmente las que se originan por el hecho de que las placas no sean exactamente planas. Por este motivo, en las mejores series de placas conocidas se garantiza la forma plana de las placas con errores máximos de 0.02 á 0.03 mm. Frente a la ventaja de la mejor manipulación de las placas están las desventajas de su peso, fragilidad y para fotografías aéreas - su pesado manejo. En las operaciones -

terrestres se usan todavía las placas, pero en las aéreas se usan so lamente para fotografías de alta precisión; precisión que al final - de cuentas sólo es relativa.

Para copias en papel, que presentan una alta manejabilidad, se usa - un papel fino con hoja de aluminio embebida. Tanto el tamaño como la forma se clasifican según normas establecidas.

3.2. FOTOGRAFIA INFRARROJA Y COLORES.

La fotografía infrarroja utiliza solamente las ondas largas invisibles para el ojo humano ($\lambda = 0.7$ hasta $\lambda = 1\mu$), de esta forma atraviesan mejor las capas oscuras del aire. Las fotografías con infra - rojas exigen una emulsión especial, filtros densos para la deten - ción de la luz visible, así como objetivos con la correspondiente co rrección de colores. Cambian los colores comunes de la luz natural - en los objetos y se emplean por este motivo en Fotogeología y en Sil vicultura, donde juegan un papel importante. Las películas infrarrojas deben prepararse en frío y usarse inmediatamente. Para la medi - ción desde el aire, las películas infrarrojas se han usado muy poco. Con frecuencia, el desarrollo de la fotografía en color se limita so lamente a mejorar la interpretación.

4. ORIENTACION EXTERIOR DE LAS FOTOGRAFIAS.

4.1. DATOS DE LA ORIENTACION EXTERIOR.

Los puntos de la fotografía forman un haz de rayos con la pupila de entrada de la cámara, que actúa de centro de proyección, O.

Para efectuar la restitución es necesario conocer su posición en el espacio, o sea la llamada orientación externa. Está representada por 6 parámetros, los datos de la orientación externa, que son las tres coordenadas espaciales del centro de proyección y tres ángulos que expresan la dirección de la cámara y del plano de la fotografía, expresados en las correspondientes coordenadas espaciales. Dichos ángu los son:

a).- El ángulo de dirección \checkmark de la proyección horizontal del eje de la cámara con la vertical en 0 ; 90° - \checkmark es el ángulo entre el eje de la cámara y su proyección horizontal, o sea el ángulo de inclinación de la cámara.

b).- El ángulo de dirección α de la proyección horizontal del eje de

la cámara con un sistema establecido de coordenadas geodésicas.

c).- El ángulo de rotación marginal X , que es el ángulo medido en el plano de la fotografía, formado por una línea que une dos marcas en el cuadro y la intersección con el mismo plano de la fotografía del plano vertical que pasa por eje de la cámara.

Los datos de la orientación externa en el caso de fotogrametría terrestre se determinan rápidamente al efectuar las fotografías. Muy distinto ocurre en fotogrametría aérea, en éste caso, la orientación externa se obtiene por medio de puntos de apoyo, o sea puntos cuyas coordenadas espaciales son conocidas y cuya posición en las fotografías se conoce con toda certeza.

4.2. COORDENADAS ESPACIALES, ESCALA DE LA FOTOGRAFIA E INFLUENCIA DE PEQUEÑOS DESPLAZAMIENTOS.

Como sistema de coordenadas espaciales se emplea siempre un sistema de ejes rectangular X, Y, Z . El plano XY es horizontal y su dirección puede ser establecida de antemano; el eje Z se dirige al cenit. Esta colocación explica las denominaciones del cuadro o fotografías; las fotografías desde el aire se toman con el cuadro aproximadamente horizontal y llevan los nombres de X' e Y' ; en cambio, en las fotografías terrestres llevan los de X' y Z' , ya que en las mismas el cuadro es vertical. La figura 9 muestra las designaciones de las coordenadas para una fotografía aérea de dirección vertical. La figura se refiere a la fotografía tanto en la posición de impresión como en la de observación.

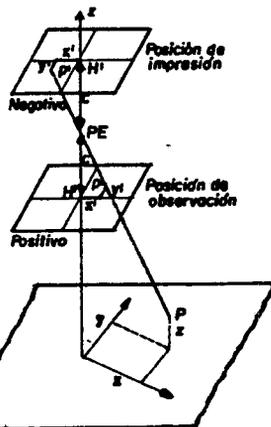


Fig. 9. Coordenadas Espaciales y Coordenadas de la Fotografía.

Las coordenadas de la fotografía proceden del punto principal del cuadro H' . En éste caso se supone que coincide H' con el punto medio de la fotografía M' . En caso de que no ocurra así, las coordenadas de la fotografía se deben transformar de M' a H' . También dichas coordenadas deben corregirse desde el punto de vista de la distorsión.

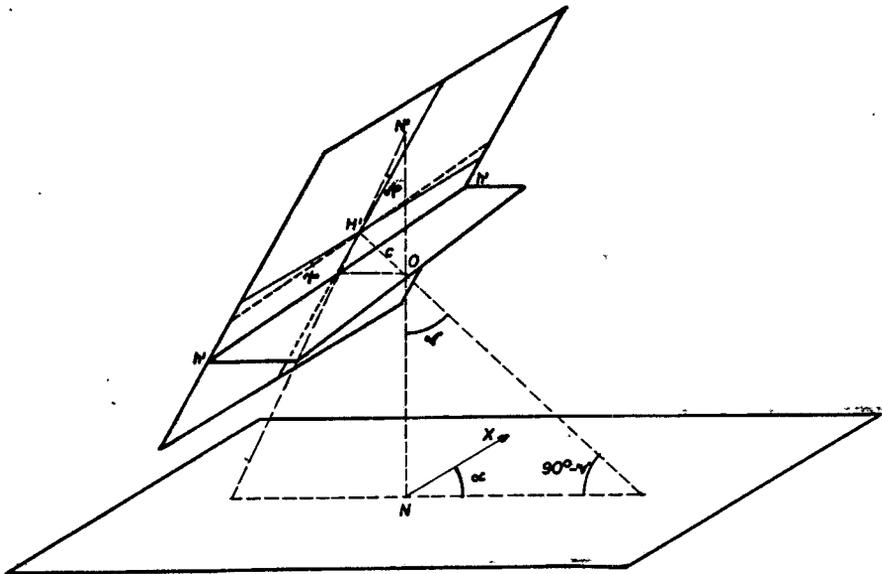


Fig. 10. Orientación Exterior.

En la prolongación de las paralelas hacia el horizonte de la fotografía y hasta las mismas rectas de nivel, la relación de escala permanece constante en fotografía y carta; en algunos casos varía dicha relación de punto a punto. En la figura 11, la relación de escala es, por ejemplo, M en los elementos situados en P'_F :

$$M = OP'_F; OP'_F = \frac{OP}{ON} = \frac{ON' - PN'}{ON};$$

$$PN' = N'P'_F \operatorname{sen} \alpha \quad M = \frac{ON' - N'P'_F \operatorname{sen} \alpha}{ON}$$

A lo largo de X' , M es variable con $N'P'_F$; en una recta de nivel, por lo tanto, M es constante, ya que su distancia medida sobre el eje --

##

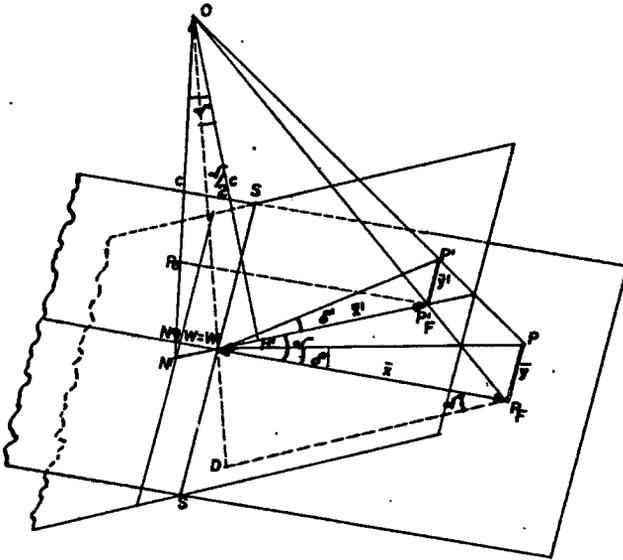


Fig. 11. Punto Focal o Punto de Angulo Verdadero.

principal, que es $N'P'_F = S'$, depende solamente de N' .

Si se ve desde la carta al terreno considerado como horizontal y tomándolo a la distancia h del centro de proyección, la relación entre fotografía y terreno a lo largo de una recta de nivel será entonces:

$$M = \frac{ON'}{h} - \frac{\text{sen } \gamma}{h} S' = \text{cte} - \frac{\text{sen } \gamma}{h} S'$$

La diferencia de relación de escala entre dos rectas de nivel distanciadas ΔS , entre sí será, por tanto, $\Delta M = \frac{\text{sen } \gamma}{h} \Delta S$.

Para la distancia nadiral se tiene: $\text{sen } \gamma = \frac{h}{\Delta S'} \Delta M$

Esta ecuación es el fundamento del método semigráfico de Anderson para la orientación exterior de una fotografía aproximadamente vertical, dicho método necesita el empleo del punto de escala.

La relación de un segmento $1' - 2'$ de la fotografía con respecto al correspondiente $1 - 2$ del terreno, que viene a dar una escala $M_1 = \frac{1' - 2'}{1 - 2}$ sólo puede dar un valor inexacto de la misma, porque M_1 es variable a lo largo del segmento $1' - 2'$. La relación de escala es muy aproximada, sin embargo, en el punto de escala S'_1 ; se encuentra-

éste trazando desde H' una perpendicular a $1' - 2'$ -siendo L' el pie de aquella -y llevando la distancia $1' - L'$ desde $2'$ en sentido contrario (fig. 12).

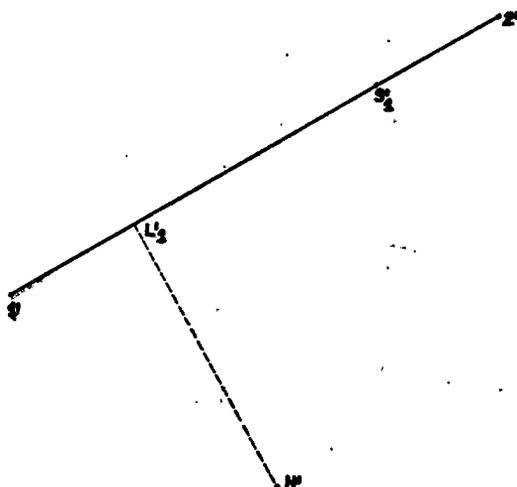


Fig. 12. Punto de la Escala $S'_1(1' - L'_1 = 2' - S'_1)$

Ejemplo para el método de Anderson:

Se suponen conocidas las coordenadas de los puntos del terreno 1,2,3, que determinan un plano. Se calculan en los correspondientes espas de fotografía y carta las relaciones de escala M_1, M_2 y M_3 y se construyen en la fotografía los puntos - escala S'_1, S'_2, S'_3 (fig. 13) Sobre la recta $S'_1 - S'_2$ se determina un punto Q' en el que la relación de escala tenga el mismo valor que en S'_3 .

La línea $Q' - S'_3$ que los une es por este motivo una recta de nivel;- la perpendicular a $Q' - S'_3$ trazada por H' es la dirección de la fotografía.

Si se trazan desde S'_1 y S'_2 las perpendiculares a la dirección de la fotografía, en los pies de las perpendiculares trazadas se encuentran las mismas relaciones de escala, M_1 y M_2 como S'_1 y S'_2 . La distancia nadiral se calcula con

$$\text{sen } \checkmark = \frac{h}{\Delta S'_1} (M_1 - M_2)$$

Además, para h se puede hallar un valor aproximado. El punto nadiral está en la dirección de la fotografía a la distancia $c \text{ Tag } \checkmark$ de H' y

#

cuando crece esta parte aumenta también la escala.

La precisión puede ser establecida por medio de la repetición del -- proceso si se usa para la construcción del punto - escala el punto - focal W' en lugar de H'. Además, cuando el terreno no se encuentra - en un plano horizontal, antes de la determinación en altura del punto del cuadro debe experimentar una reducción en su posición.

Para determinar la influencia de pequeños desplazamientos en los datos de la orientación externa, supondremos una fotografía cuyo eje - de toma es exactamente vertical y que se proyecta a la distancia h - de O, sobre un terreno plano y horizontal (Figura 14). Como base para posteriores desarrollos se investiga qué variaciones experimentan las coordenadas del punto proyectado P cuando se varían en cantidad - pequeñas los datos de la orientación exterior. Los movimientos - de rotación se verifican alrededor de tres ejes de coordenadas; se - expresan mediante las letras w, ψ y x se llaman inclinación transversal o torsión, inclinación longitudinal o convergencia y rotación -- marginal; los nombres de torsión y convergencia expresan los movi -- mientos sufridos por la cámara durante el vuelo, que se supone efectuado en dirección del eje X. En la construcción práctica de aparatos de restitución, en los proyectores donde se colocan las fotografías, no son ciertamente practicables de forma independiente los tres movimientos alrededor de los ejes X, Y, Z, por ejemplo, puede ser el ψ eje primario de giro de torsión colocado según la dirección de -- las X, necesita hacer los giros precisamente alrededor de ψ . Además, mientras los movimientos de rotación se consideren suficiente -- mente pequeños para considerarlos como diferenciales, se toma la variación conjunta de las coordenadas como la simple suma de las acciones debidas a los distintos movimientos independientes.

En la posición de la fotografía de partida será: $x = w = \psi = 0$; el - centro O de proyección tiene las coordenadas 0,0,0,h. Las pequeñas rotaciones se expresarán por dx, dw y $d\psi$; los efectos de la varia -- ción de los seis elementos de orientación serán, pues:

a).- Efecto de dx (fig. 15):

$$\frac{dy}{sdx} = \frac{X}{s}; dy = x dx$$
$$- \frac{dx}{sdx} = \frac{Y}{s}; dx = - ydx$$

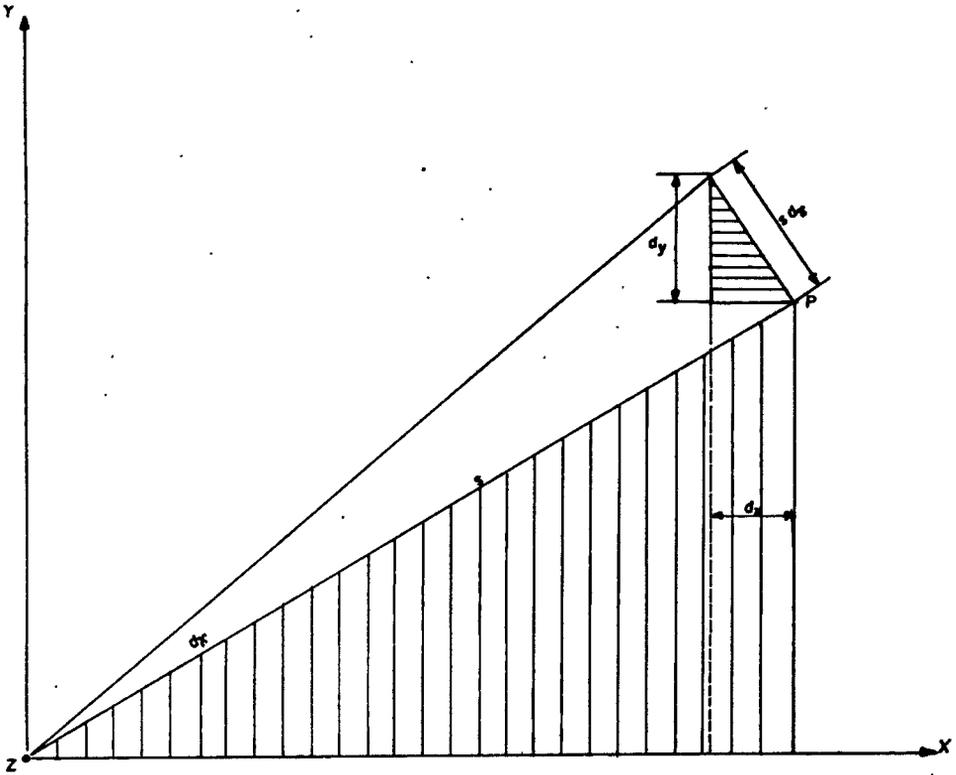


Fig. 15. Variación dx .

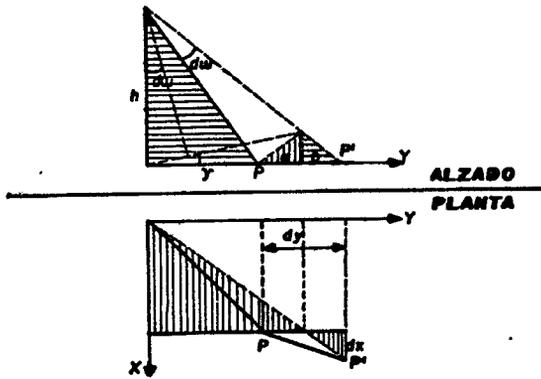


Fig. 16. Variación dw .

b).- Efecto de dw :

La variación en y es, según la figura 16 (alzado):

$dy = a + b$. Para a y b se deduce por semejanza de triángulos:

$$\frac{a}{h} = \frac{y \, dw}{y}; \quad \frac{b}{y} = \frac{y \, dw}{h}$$

$$\therefore dy = a + b = h \, dw + \frac{y^2}{h} \, dw = \left(1 + \frac{y^2}{h^2}\right) h \, dw$$

Para variación en x se deduce de la figura anterior (planta)

$$\frac{dx}{b} = \frac{x}{y + a} \approx \frac{x}{y}; \quad dx = \frac{bx}{y} = \frac{xy}{h} \, dw$$

c).- Efecto de $d\varphi$:

Las variaciones en x e y pueden hallarse en la misma forma que para dw .

Se deduce:

$$dy = -\frac{xy}{h} \, d\varphi; \quad dx = -\left(1 + \frac{x^2}{h^2}\right) h \, d\varphi$$

d).- Efecto de db_x :

Cada punto se mueve un mismo trayecto, cuyo valor es $dx = db_x$; en dirección X y no produce ningún movimiento.

e).- Efecto de db_y :

Cada punto se mueve un mismo trayecto, cuyo valor es $dy = db_y$; en dirección Y y no produce ningún movimiento.

f).- Efecto de db_z :

La proyección varía de escala. Las variaciones de coordenadas son:

$$dy = \frac{y}{h} \, db_z; \quad dx = \frac{x}{h} \, db_z$$

En la figura 17 se pueden ver los efectos que producen en puntos simétricamente colocados las variaciones de dx , dw , $d\varphi$ y db_z .

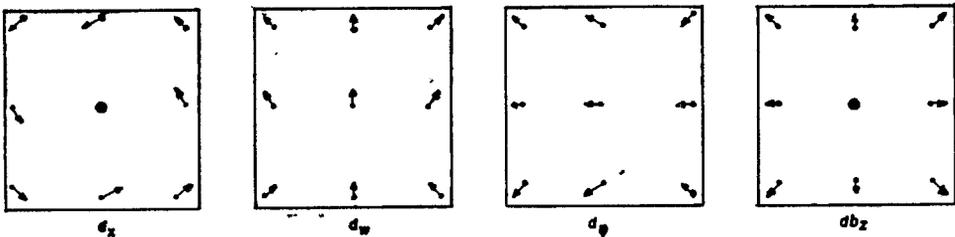


Fig. 17. Influencia de las Variaciones en x, w, φ y b_z .

Las variaciones totales de las coordenadas se pueden calcular para y :

$$dy = x dx + \left(1 + \frac{y^2}{h^2}\right) h dw - \frac{xy}{h} d\varphi + db_y + \frac{y}{h} db_z$$

Para dy y dx pueden expresarse las variaciones que se presentan a causa de variaciones en la orientación, en un cuadro de coordenadas. Entre las coordenadas del cuadro y las del terreno se presentan las siguientes relaciones, en el supuesto de tratarse de fotografías rigurosamente verticales:

$$x' = \frac{c}{h} x ; y' = \frac{c}{h} y$$

Para variaciones diferenciales de coordenadas se verifica también:

$$dx' = \frac{c}{h} dx ; dy' = \frac{c}{h} dy$$

En la tabla que sigue se expresan las variaciones totales de coordenadas de terreno y fotografía, reunidas:

	d_x	dw	$d\varphi$	db_x	db_y	db_z
dy	$+ x$	$+ \left(1 + \frac{y^2}{h^2}\right) h$	$- \frac{xy}{h}$	$-$	$+ 1$	$+ \frac{y}{h}$
dx	$- y$	$+ \frac{xy}{h}$	$- \left(1 + \frac{x^2}{h^2}\right) h$	$+ 1$	$-$	$+ \frac{x}{h}$
dy'	$+ x'$	$+ \left(1 + \frac{y'^2}{c^2}\right) c$	$- \frac{x'y'}{c}$	$-$	$+ \frac{c}{h}$	$+ \frac{y'}{h}$
dx'	$- y'$	$+ \frac{x'y'}{c}$	$- \left(1 + \frac{x'^2}{c^2}\right) c$	$+ \frac{c}{h}$	$-$	$+ \frac{x'}{h}$

Puntos epipolares y rayos epipolares.- La teoría de los puntos y rayos epipolares aclara la comprensión de los efectos de la observación estereoscópica. Pueden también servir para encontrar los puntos pertenecientes al mismo objeto en dos fotografías distintas.

Suponiendo que se tomaron dos fotografías distintas desde los puntos O' y O'' .

La base $O' - O''$ es el eje epipolar. Corta las dos fotografías B' y B'' según los puntos nodales K' y K'' (figura 18). El plano determinado por el eje epipolar y un punto P del terreno es un plano epipolar. Este plano corta los planos de las fotografías según los rayos epipolares $K'P'$ y $K''P''$; el haz de planos epipolares que pasan por el eje-

epipolar y por distintos puntos del terreno corta a los dos planos - de las fotografías formando en cada uno de ellos un haz de rayos epipolares con centros en K' y en K'' .

Los rayos epipolares que pertenecen a los mismos puntos se cortan en la intersección $s - s$ de las dos fotografías. Si se conocen las orientaciones interna y externa de ambas fotografías, se pueden construir los puntos epipolares y hallar la intersección de las dos fotografías. Si el rayo epipolar $P'K'$ de la fotografía izquierda corta en D a la intersección de las dos fotografías, el rayo epipolar DK'' será el lugar geométrico de los puntos P'' en la fotografía de la derecha.

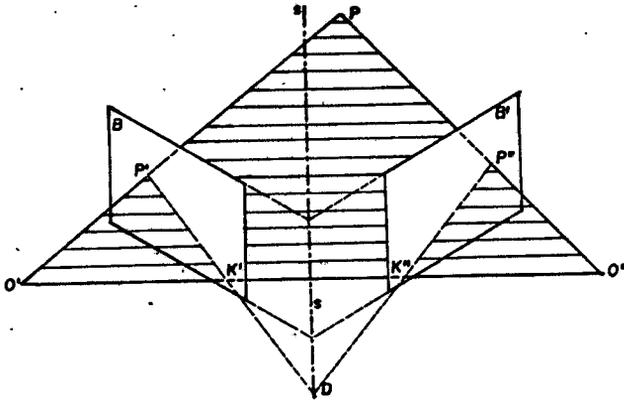


Fig. 18. Puntos Nucleares y Rayos Nucleares.

En la medición con dos fotografías se tiene como caso normal aquel en que las condiciones del conjunto de las dos sean paralelas entre sí y ambas formen ángulo recto con la base. Si la condición de caso-

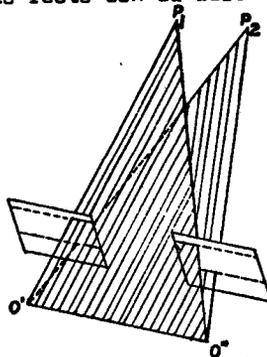


Fig. 19. Rayos Nucleares en el caso normal.

normal se cumple exactamente, entonces los rayos epipolares (figura-19). Los puntos epipolares están en el infinito, inclusive, como pasa en fotogrametría aérea, si se acerca al caso normal, los puntos epipolares caen tan lejos del centro de la fotografía que ni siquiera resultan útiles para los casos de construcción.

5. MEDIDAS EN LAS FOTOGRAFÍAS.

5.1. MEDIDAS EN FOTOGRAFÍAS AISLADAS.

Coordenadas en fotografías aisladas.- En una fotografía cuyas orientaciones interna y externa se conocen pueden ser determinados los ángulos horizontal y vertical de cualquier punto. Dos fotografías tomadas desde dos puntos distintos dan dos grupos de ángulos verticales y horizontales; éstos hacen posible el cálculo de las coordenadas espaciales por medio de sus intersecciones en el espacio. Los ángulos correspondientes a los puntos del fotograma pueden ser determinados mediante las coordenadas del fotograma o pueden ser medidos directamente mediante los correspondientes aparatos de medida de ángulos. - La transformación de ángulos de fotograma o de ángulos de fotogramen coordenadas espaciales por medio del cálculo no puede ser muy exacto, debido a lo complejo de las fórmulas empleadas. El desarrollo de los programas más complicados de las máquinas digitales automáticas ha experimentado sólo una completa transformación; pero la mayor parte de los aparatos modernos de restitución funcionan, no obstante, a base de perspectivas centrales de las fotografías, de proyecciones ortogonales del terreno y de las alturas halladas de modo óptico y mecánico, y para esto se necesitan grandes cálculos. Los elementos más esenciales de la mayor parte de los aparatos de restitución fotogramétrica, consisten en instrumentos de medida de coordenadas y ángulos de fotograma; su conocimiento aclara la comprensión de dichos aparatos.

Suponiendo que se toma en el suelo una fotografía con dirección horizontal; la inclinación es cero. Tenemos también $w = x = 0$; las coordenadas de la fotografía nos proporcionan, por tanto, los ángulos horizontales y verticales α' y β' (figura 20):

$$\text{Tag } \alpha' = \frac{x'}{c}; \quad \text{Tag } \beta' = \frac{z'}{\sqrt{x'^2 + c^2}} = \frac{z'}{c} \cos \alpha'$$

#

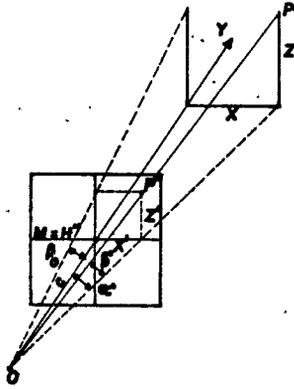


Fig. 20. Coordenadas de Fotografía y Angulo de Fotografía.

Para el ángulo de elevación β'_0 en el plano vertical que pasa por la recta de dirección de la fotografía se obtiene:

$$\text{Tag } \beta'_0 = \frac{Z'}{c}$$

Si las condiciones de toma de la fotografía $W = 0, X = 0$ no se cumplen, las ecuaciones se complican. Si, por ejemplo, la fotografía está inclinada en sentido del horizonte, o sea que W no es nulo, y se encuentra para X' y Z' , por medio de las coordenadas X'_0 y Z'_0 del fotograma inclinado (figura 21):

$$X' = X'_0 \cos X - Z'_0 \text{ sen } X$$

$$Z' = Z'_0 \cos X + X'_0 \text{ sen } X$$

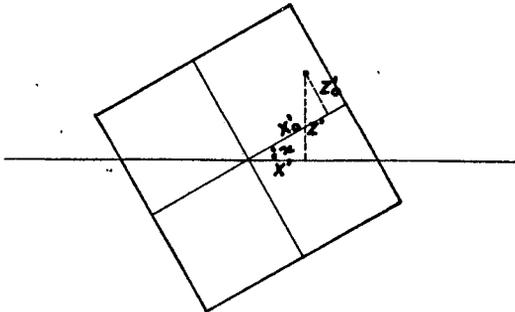


Fig. 21. Fotograma Inclinado.

Comparador de un sólo Fotograma.- Las coordenadas pueden ser medidas en un sólo fotograma mediante una regla graduada; entonces se puede llegar a alcanzar una aproximación de 0.01 mm. Para la mejor utilización de los fotogramas es necesario el uso de los comparadores (figura 22). Llevan éstos un microscopio de observación A con una cruz filar, que puede ser llevado en dos direcciones perpendiculares entre sí. En el dispositivo de traslación se pueden leer las coordenadas de fotograma mediante las señales Z_H y Z_v . Antes de empezar la medida puede ser inclinado de tal modo el portador del fotograma, que las marcas de unión del marco sea paralela al trineo portador de A. El fotograma puede estar afectado de distorsión, la cual modifica los valores de α' y β' que se han podido medir con un teodolito desde O hacia P; entonces puedan ser corregidas de antemano las coor

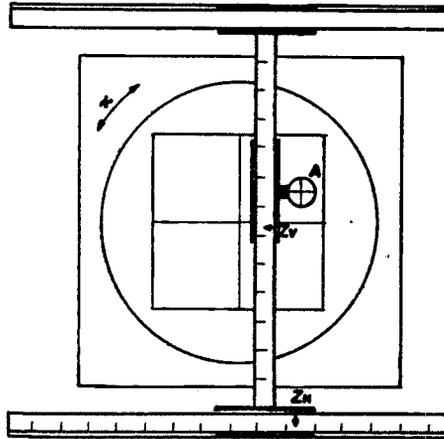


Fig. 22. Comparador de un Fotograma.

denadas de fotograma. Con un aparato de medida con elemento frontal de observación (ver figura 23), puede la distorsión ser compensada en el mismo momento de la medición.

El Fototeodolito.- Para la medición directa de ángulos de los fotogramas, puede servir el fototeodolito. Suponiendo que se toma una fotografía sin torsión y con dirección de puntería horizontal y que se coloca, una vez revelada, de nuevo en la cámara fotográfica, sin variar su orientación, tanto interna como externa. Se puede entonces, colocando un teodolito a través del objetivo de la cámara, medir los

ángulos α y β . Según esto, se puede montar un dispositivo como el - de la figura 23, en que la cámara gira alrededor de un eje vertical y el anteojo alrededor de uno horizontal. Si de una manera convencional se usa la cámara fotográfica en lugar de la cámara del teodolito, es debido a que el haz de rayos que emergen de la cámara del teodolito es congruente con los que salen de la cámara fotográfica. Los án-

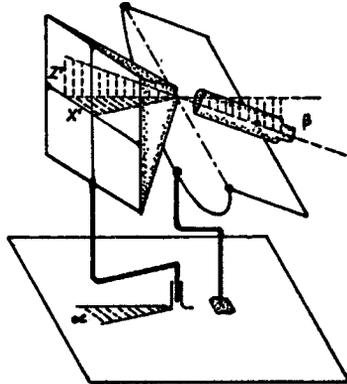


Fig. 23. Teodolito Fotográfico.

gulos α y β están libres de distorsión; este método es de Porro y --- Koppe y se llama principio de Porro - Koppe.

De hecho, la cámara del teodolito no es la misma cámara fotográfica; pero su objetivo debe por lo menos acercarse todo lo posible a tener la misma distancia focal que el objetivo de toma. Para tener la debida orientación interna, el negativo debe colocarse de tal manera en la cámara del teodolito, que resulte idéntica a la que tuvo en la cámara de toma y además de manera que se obtenga la distancia focal correspondiente al fotograma. Para evitar los errores que siguen a la convergencia o divergencia de los haces de rayos, el eje de puntería de los anteojos y los ejes horizontal y vertical de las cámaras del teodolito deben cortarse en el centro de la pupila de entrada del objetivo de la cámara del teodolito, que es el centro de proyección. - En el caso de que se deseen medir los ángulos horizontales y verticales cuando se verifica que w , x y ϕ son distintos de cero, el foto - teodolito necesita una corrección, por la cual la cámara se relaciona con el sistema de ejes del fototeodolito en tal forma que éste da

la misma orientación externa que si estuviera en el momento de tomarse la fotografía.

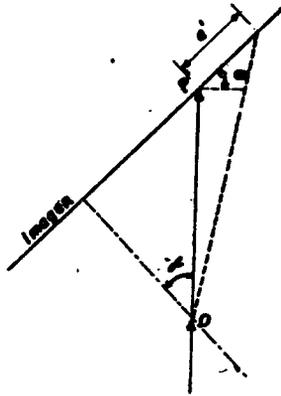


Fig. 24. Observación según Porro - Koppe.

Al observar los fotogramas según el principio de Porro - Koppe se ve que los segmentos se acortan al encontrarse en las márgenes. En la figura 24 el observador vería en la dirección P' el segmento a' como si su tamaño fuese $a' \cos \alpha$. Puede esto llegar a ser un serio inconveniente en la restitución con aparatos que emplean pares de fotogramas, si dichos aparatos emplean objetivos granangulares y trabajan fundándose en el principio de Porro - Koppe. La distorsión puede ser corregida en la medida de ángulos mediante placas de compensación. Estas pueden ser calculadas y construidas a base del conocimiento de la distorsión de las lentes de la cámara fotográfica y del aparato de restitución. Su forma de actuar se puede ver en la figura 25, para la que se ha supuesto para el punto P' una distorsión igual a $\Delta r'$ en el objetivo de la cámara fotográfica y una distorsión igual a cero en el objetivo del aparato de restitución.

Se usan aparatos de restitución organizados como un fototeodolito y fundados en el principio de Porro - Koppe. Como aparatos de medida independientes existen principalmente unas sencillas formas de goniómetros que sólo necesitan un eje de estación vertical. Son los aparatos más sencillos para determinar la distorsión de los objetivos. Se coloca una escalilla en el plano del fotograma, colocado a la distancia focal c del objetivo, y se miden a través del objetivo los ángu-

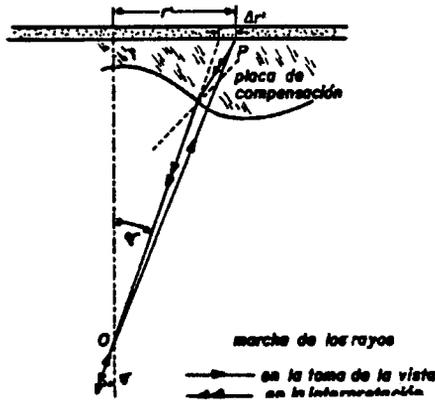


Fig. 25. Compensación de la Distorsión por Restitución según Porro - Koppe.

los σ de los distintos puntos de la escalilla. Con esto se puede calcular la distorsión en cada uno mediante la fórmula

$$\Delta r' = r' - c \operatorname{Tag} \sigma.$$

5.2. MEDIDAS EN PARES FOTOGRÁFICOS.

Observación Natural Espacial.- Para la visión natural, cuando se quiere observar un punto P, el eje óptico del ojo se dirige automáticamente de tal forma, que la imagen de los alrededores del punto que se mira va a parar sobre la mancha amarilla de la retina, donde la verá mas claramente. En seguida viene la acomodación de los ojos, sin voluntad expresa nuestra, que hace permanecer la imagen en la retina a pesar de los posibles cambios en el alejamiento del objeto. La acomodación se verifica por medio de unos músculos que rodean al cristalino cuya contracción produce cambio de espesor del mismo, lo que lo pone de acuerdo con el cambio de distancia del objeto a observar.

Cuando es observado un punto - objeto cualquiera, dicho punto da lugar a dos rectas que lo unen a la recta que une a los dos ojos, la base ocular b_A , y entonces los dos ángulos correspondientes se encuentran en un plano (figura 26). Los planos de observación son también planos nucleares con b_A como eje nuclear. Así, cabeza y ojos se

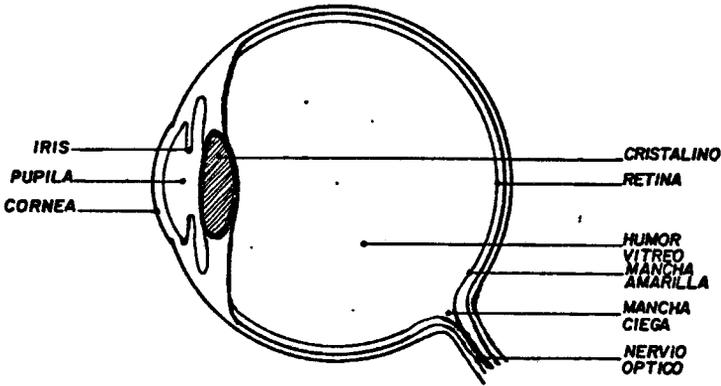


Fig. 26 Esquema del Ojo Humano.

dirigen hacia el objeto y la distancia entre ojos proporcionalmente-pequeña - $b_A \cong 65 \text{ mm}$ - puede ser tomada como base en el caso general de la visión natural.

La impresión espacial debida a la visión binocular, por la que se conoce si el punto está en las inmediaciones de P o está mas cerca se debe a la intersección que forma el ángulo de las visuales dirigidas desde cada ojo. Al lado de esta impresión sensible espacial, se encuentran a veces sensaciones parecidas como, por ejemplo, el tamaño de los objetos o el efecto producido por la comparación con los objetos que están alrededor.

En la figura 26' se suponen los ejes dirigidos a P , las imágenes de P se encuentran en F' y F'' . Para las imágenes P_1' y P_1'' del punto P_1 - situado mas acá de P , se encuentran las distancias $F'P_1'$ y $F''P_1''$. En su diferencia $F''P_1'' - F'P_1'$, la paralaje P_H , se funda la sensación de profundidad entre P y P_1 . El punto P situado a la misma distancia que P_2 - no produce ninguna paralaje, ya que $F'P_2' = F''P_2''$; por este motivo, el punto P_2 es visto a la misma distancia que el punto P .

Si los planos de observación son planos nucleares, las imágenes se encontrarán en paralelas a la base ocular; en este caso las paralajes horizontales. En cambio, se llaman paralajes verticales a las que corresponden a ángulos verticales, en dirección, por lo tanto, -

perpendicular a la base ocular.

Para medir la diferencia de profundidad por medio de los paralajes horizontales se puede usar la diferencial dy del ángulo de convergencia γ (figura 26'). De $\gamma = \frac{b_A}{y}$ y se encuentra por diferencia - ción:

$$d\gamma = -\frac{b_A}{y^2} dy; \quad dy = -\frac{y^2}{b_A} d\gamma$$

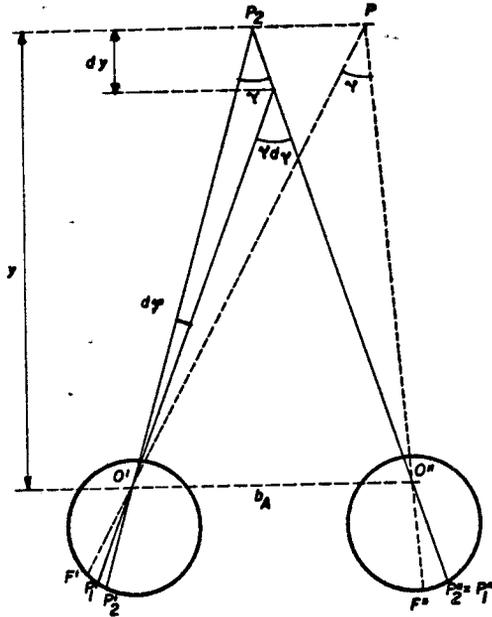


Fig. 26'. Visión Especial Natural.

Observación Estereoscópica de Imágenes Fotográficas.- Dos imágenes - fotográficas tomadas desde dos puntos distintos sobre el mismo objeto, pueden dar imágenes iguales a las percibidas naturalmente por ambos ojos en su visión perspectiva. Por observación de un tal par de imágenes se puede ver el modelo en el espacio, siempre que se cumplan las siguientes condiciones fundamentales:

- 1).- Cada ojo debe ser alcanzado por la imagen que le corresponda, o sea que el ojo izquierdo por la imagen correspondiente al punto de la izquierda, y el ojo derecho por la que corresponde al pun

to de la derecha.

II).- Antes de la ejecución de las fotografías y de la observación, - los planos de las mismas han de ser colocados aproximadamente - de forma normal, con objeto de obtener una vista espacial natural, para la que habrán de poder colocarse coincidiendo el plano nuclear con el plano de observación. Las imágenes correspondientes de los puntos han de estar sobre paralelas a la base es tereoscópica. No deben presentar ninguna diferencia de altura perpendicular a la base (paralaje vertical). Esta condición no debe ser exigida con demasiada rigurosidad, porque el ojo humano tiene la propiedad (o habilidad) de compensar naturalmente - pequeñas paralajes verticales de tal modo que no producen prácticamente perturbación.

En lo que se refiere a la percepción de la profundidad en la observación del espacio producido artificialmente, se obtiene una variación de escala en la misma debida a dos causas; una de ellas es el aumento de n veces que se verifica en la base de toma con respecto a la base formada por los dos ojos o distancia interpupilar; la otra es - debida al aumento de $\sqrt{\quad}$ obtenido por el sistema óptico de observación empleado, por ejemplo dos anteojos. Por el primer caso, mediante observación binocular se aprecia un modelo espacial n veces disminuido a la distancia igual a $1/n$ veces la natural (ver figura 27). La percepción de la profundidad, que crece al cuadrado de la distancia, ha brá quedado en definitiva aumentada n veces. Por otra parte, el au - mento de $\sqrt{\quad}$ veces debido al sistema óptico producirá otro aumento de $\sqrt{\quad}$ veces de la sensación de profundidad, ya que aquel aumento $\sqrt{\quad}$ de - la óptica producirá un aumento de los ángulos y de las paralajes en la retina. El aumento $n\sqrt{\quad}$ obtenido por las dos causas recibe el nombre de plástica total.

El cumplimiento de la condición fundamental (I) da seguridad a la ob - servación. Para que las dos fotografías puedan ser vistas por separa - do, pueden los ejes de los ojos ser paralelos o también converger a - lo lejos; al mismo tiempo deben de acomodarse para observar con lim - pia visión; o sea que el observador no debe olvidar, al empezar una - observación, acoplar debidamente la convergencia y la acomodación, - ya que en cada operación debe percibir mezclados en un limpio espa - - cio las dos fotografías.

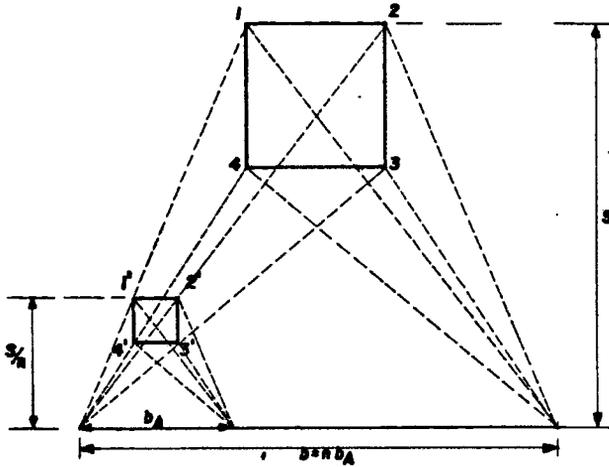


Fig. 27. Resultado de Ampliar n veces la Base.

Las observaciones por separado de las dos fotografías y mediante éstas la correcta visión espacial, se pueden conseguir en la práctica por varios medios:

1.- Estereoscopio de lentes.- Los estereoscopios conducen los haces de rayos procedentes de los dos fotogramas en forma de dos haces de rayos paralelos, de tal manera que los ojos los hacen converger y los acomodan a lo lejos (figura 28). Con los estereoscopios corrientes sólo se pueden observar fotografías de tamaño pequeño, cuya sepa

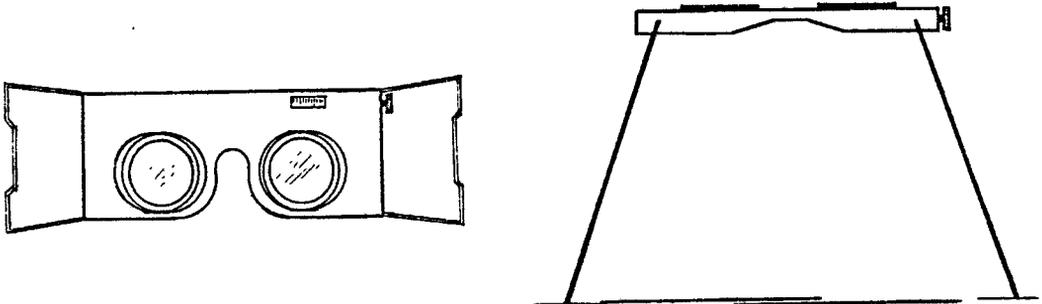


Fig. 28. Estereoscopio de Lentes.

ración de puntos medios en las fotografías es de unos 65 mm. Para fotografías de mayor formato se emplean estereoscopios de espejos (figura 29).

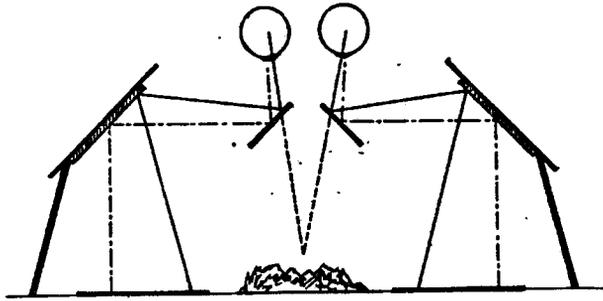


Fig. 29. Estereoscopio de Espejos.

2.- Procedimiento por anaglifos.- Se colorean individualmente los fo togramas del par estereoscópico con colores complementarios - gene - ralmente el fotograma izquierdo verde o azul y el derecho rojo - y - se imprimen o se proyectan uno encima del otro. El conjunto de foto - grafías se observa por medio de unas lentes con cristales coloreados con los correspondientes colores complementarios - rojo a la izquier - da y verde o azul a la derecha - . A través del cristal rojo se verá solamente la fotografía verde (o azul) de la izquierda y precisamen - te en un tono negruzco, mientras la fotografía roja queda sin verse. A través del cristal verde (o azul) no se ve mas que la fotografía - roja de la derecha. De esta manera, la observación a través de las - lentes coloreadas presenta una clara fotografía espacial de un color negruzco.

Se pueden proyectar también juntas diapositivas en blanco y negro, - empleando filtros de colores complementarios - rojo a la izquierda y verde o azul a la derecha -. La única luz que podrá pasar y se podrá ver a la izquierda será la proyectada en verde (o azul) por el pro - yector de la derecha, y viceversa con el otro proyector. Los filtros y los cristales de las lentes han de ser exactamente del mismo co - lor. El modelo espacial aparece con fondo blanco.

En caso de no corresponder los colores de las lentes a los de las fo tografías o de los filtros, se observarán molestos restos de color.

3.- Procedimiento de polarización.- Al proyectar los fotogramas, los haces de rayos pasan por filtros de polarización y se recogen median - te unas gafas que proporcionan la luz polarizada linealmente en dos-

planos perpendiculares entre sí. Si se desea, en la observación puede usarse la copia de los haces polarizados en los llamados Vektogra phen - Folie (proceso de Polaroid - Corporation, USA).

4.- Obturadores sincrónicos.- Las dos fotografías que se han de proyectar conjuntamente son emitidas a través de obturadores alternados o giratorios, con ritmo muy rápido, y son vistos a través de anteojos obturables que se cierran y abren al mismo ritmo. De esta forma los ojos ven cada uno su fotografía, sin que, a causa de la velocidad del movimiento de los dos obturadores, se den cuenta de la falta de continuidad de las imágenes observadas.

Con los procedimientos 2, 3 y 4, comparados con el 1, se experimenta una considerable pérdida de claridad. La observación subjetiva de las fotografías sólo se hace en los procedimientos 2, 3 y 4, y en realidad para los 3 y 4 incluso para las fotografías en color.

Una vista al revés de la profundidad en un modelo espacial, llamado efecto pseudoestereoscópico en lugar del debido efecto estereoscópico, se produce cuando se cambian de ojo las fotografías, o lo que es lo mismo, se hace girar 180° el conjunto de ambas en su mismo plano. El cambio de secuencia de los fotogramas es, por tanto, necesario en la mayor parte de los aparatos de restitución de dos fotogramas, si dichos aparatos han de servir para triangulaciones espaciales por el método de la llamada conexión sucesiva de fotogramas. Para que se produzca efecto estereoscópico (u ortoscópico), en todos los pares sucesivos, es necesario que el aparato tenga la posibilidad de dirigir los haces del fotograma izquierdo al ojo derecho y viceversa. La figura 30 muestra el correspondiente cambio de dirección verificado por los prismas 1 y 2 de la posición a) a la posición b), necesario para que el efecto pseudoestereoscópico (o pseudoscópico) producido por la sucesión del siguiente fotograma se convierta en el debido efecto estereoscópico.

Para cumplir el principio fundamental II, en tanto que el par de fotogramas puede ser observado en un estereoscopio (o estereóscopo), se procede del modo siguiente (figura 31):

Se señala en el fotograma izquierdo el punto principal del fotograma derecho, H_2^1 , y en el fotograma derecho el punto principal del fotograma izquierdo, H_1^2 ; se pica luego en ambos fotogramas sus correspondientes puntos principales H_1^1 y H_2^2 . Se hace pasar una regla por H_1^1 y

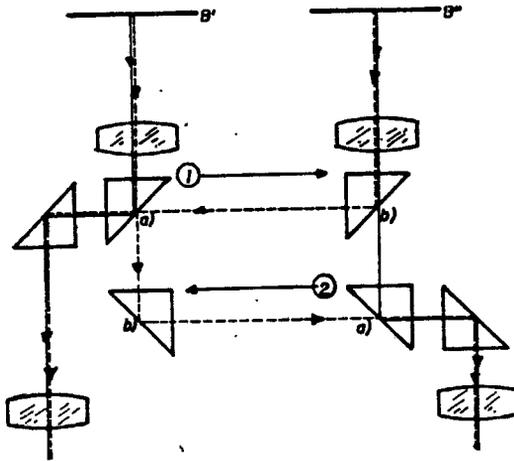


Fig. 30. Dispositivo y para cambiar la Estereoscopia por Seudoefecto y Viceversa.

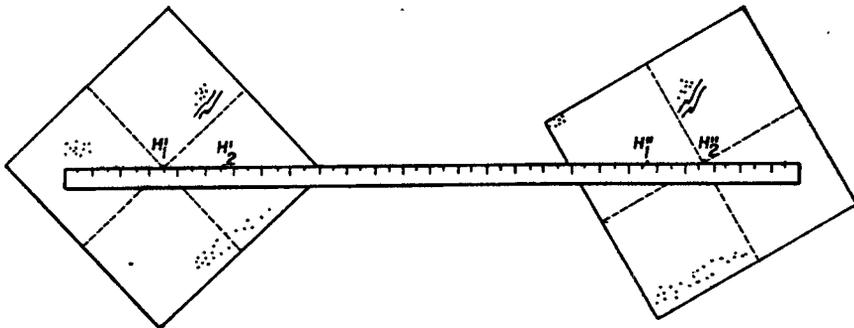


Fig. 31. Orientación de los Fotografías para su observación Estereoscópica.

H_2^m , que ha de pasar también por H_2^l y H_1^m , pues los cuatro puntos han de estar sobre una recta. Si el alejamiento de la normal ha sido pequeño, entonces se dispone en todo el ámbito del fotograma de una vi si ón es pacial libre de perturbaciones.

Si han existido grandes alejamientos de la normal, sólo una parte de los fotogramas podrá ser examinada de un modo espacial. Si se quiere obtener efecto estereoscópico en los alrededores de los puntos P' y P'' (ver Fig.), correspondientes en los fotogramas, han de ser colocados ambos a la misma altura. Las imágenes P' y P'' deben estar colocadas de tal forma que desaparezcan las paralelas verticales según los rayos nucleares que pasan por dichos puntos, ya que las imágenes han de estar orientadas según dichos rayos nucleares. En los restituidores de doble imagen, este campo de observación, debido a la relativa pequeñez de los límites de la imagen, está situado siempre en el campo nuclear, y por este motivo las perturbaciones en la observación espacial desaparecen automáticamente por medios ópticos sin ninguna acción directa del observador:

Organización de la Medida Estereoscópica de las Imágenes.- Suponiendo que se tiene en las dos partes B' y B'' de un par de imágenes unas marcas de medida M' y M'' en forma de cruz, triángulo o círculo (figura 32). Mediante la observación con un estereoscopio se mezclan ambas marcas en una sola M , que se ve suspendida en el espacio. Entonces, mediante el debido movimiento de las dos marcas en dirección y altura en una conducción común e idéntica, se deslizan y como además se puede variar la posición en el espacio de la marca derecha con respecto a la izquierda es posible colocar la marca espacial M en el punto que se elija en el modelo espacial que nos proporciona el par de imágenes. En la figura 33 se ven los puntos M' y M'' a los que corresponden los valores X' y Z' en sus posiciones. M' puede estar sobre el punto P' de B' . Para que la marca M se encuentre en la misma posición espacial que el punto P del modelo, se debe llevar M'' hacia M' por medio de la alineación variando X' . En la posición 2 de M'' estará M bajo el espacio estereoscópico, vista detrás de P . En la posición 3 de M'' se encuentra en cambio la marca espacial sobre P . Gracias a este principio de la marca flotante se pueden medir y calcular las coordenadas espaciales de cualquier punto del modelo, midien

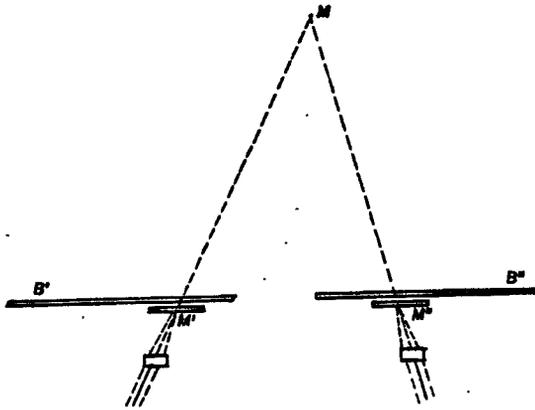


Fig. 32. Marcas Divisorias M' , M'' y Marca Espacial M .

do los movimientos conjuntos de las marcas en X' y Z' y hallando -- las distintas diferencias $X' - X''$, con lo que se conocerán las paralelas horizontales P_x . La marca flotante es un "órgano" vital para la mayor parte de los aparatos de restitución.

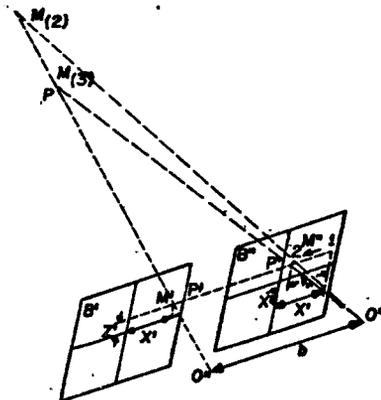


Fig. 33. Principio de la Marca Flotante.

En el caso normal de la estereofotogrametría se obtiene, mediante - operaciones terrestres con direcciones horizontales y para las coord-

denadas espaciales referidas al punto de la izquierda, debido a la semejanza de los dos triángulos rayados (figura 34):

$$Y = \frac{bc}{Px} ; \quad X = \frac{Y}{c} X' = \frac{b}{Px} X'$$

y sobre el plano vertical trazado por O' y P se tendrá:

$$Z = \frac{Y}{c} Z' = \frac{b}{Px} Z'$$

La estereofotogrametría ofrece, gracias a las medidas efectuadas en dos imágenes del mismo objeto, dos decisivas ventajas:

1. La restitución estereoscópica elimina las dificultades de identificación de los puntos que se corresponden en las distintas imágenes. Gracias a esto se puede medir de un modo uniforme un modelo espacial. La paralaje horizontal P_x es una medida de valor independiente. Por restitución separada de las imágenes sueltas se pueden medir los valores de X y X' , con lo que se podrá conocer P_x y también Y . Pero la dificultad de saber que puntos corresponden a otros en ambas imágenes sólo se resuelve por completo con la medición estereoscópica. Bajo este aspecto fracasa la restitución por imágenes sueltas, ya que el objeto de la medición - como en el caso de las vistas topográficas - no es precisamente una serie de puntos aislados y claramente definidos.

2. La estereofotogrametría aumenta la precisión de la restitución. La diferenciación de la expresión de Y en función de P_x da:

$$dy = - \frac{bc}{P_x^2} dp_x = - \frac{Y^2}{bc} dp_x$$

Si las imágenes se miden por separado será:

$$dy = - \frac{bc}{(X' - X'')^2} (d_{X'} - d_{X''}) = - \frac{Y^2}{bc} (dx' - dx'')$$

Calculando los errores medios y dicho error estereoscópico de P_x con mp , y en el caso que se llamará monocular en X' y X'' , con mk . Entonces se encuentra para cada caso:

$$m_y = \pm \frac{Y^2}{bc} mp ; \quad m_y = \pm \sqrt{2} \cdot \frac{Y^2}{bc} mk$$

En el estereocomparador, las marcas de medición tienen una distancia fija.- En la dirección Z' se desplazan gracias a un volante, conjuntamente hacia las imágenes. En la dirección X' , en lugar de las marcas las que se mueven son las imágenes. El desplazamiento común de ambas imágenes se efectúa por medio del volante de la izquierda (figura 35); al mismo tiempo puede ser desplazada la imagen de la derecha montada en unas guías cruzadas con tornillos medidores en X' y Z' .

El desplazamiento adicional de la imagen de la derecha en la dirección X' proporciona la paralaje horizontal $X' - X'' = P_x$. El desplazamiento adicional en Z' es necesario para la eliminación de las paralajes verticales P_v que aparecen como consecuencia de las diferentes alturas de los puntos de estación o de las discrepancias respecto del caso normal.

II.- FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE.

1. APARATOS DE TOMA.

El aparato fotográfico de la fotogrametría terrestre es el fototeodolito. Este aparato consiste en una cámara métrica fotográfica con un anteojo y un sistema de lectura de direcciones, colocado todo alrededor de un eje vertical; con esto se pueden medir los datos de la orientación externa de las fotografías, o si se quiere, al contrario, se pueden colocar los valores que se quieran de aquellos datos. Los distintos modelos construidos dan lugar a las siguientes clases principales.

a).- Cámara con plano de la imagen siempre vertical y cámara basculante. En el primer caso, las fotografías se pueden hacer únicamente en dirección horizontal. En el segundo caso el objetivo no es movable, pero la cámara puede cabecear alrededor de un eje horizontal.

b).- Fototeodolitos ligeros y con equipo de precisión.

Con fototeodolitos ligeros se pueden medir sólo hasta un cierto límite de precisión los elementos de orientación externa. Para la restitución se emplean puntos de apoyo, y según sea la precisión de éstos, así será la precisión de la restitución.

Todos los fototeodolitos suelen llevar dos niveles, uno en dirección de la fotografía y otro perpendicular a la misma. Por lo general, el obturador no lleva ningún dispositivo especial. La iluminación de la cámara

ra depende de la abertura del diafragma del objetivo.

2. PRACTICA DE LA OPERACION.

2.1. FOTOGAMETRIA METRICA DE MESA.

La fotogrametría métrica de mesa es el procedimiento más antiguo de la fotogrametría. Mediante ésta, un objeto representado en las dos fotografías se obtiene su posición en el espacio por medio de intersecciones, gracias a las direcciones correspondientes a las dos imágenes y al conocimiento de las orientaciones interna y externa. El proceso se puede ejecutar gráficamente o por medio del cálculo.

Los casos principales en que se usa la determinación de puntos aislados en las fotografías son los siguientes:

- a).- Fotografías para arquitectura;
- b).- Fotografías para la triangulación terrestre en caso de expediciones. En éstas circunstancias se llegan a usar como complemento de una triangulación geodésica normal.

2.2. ESTEREOFOTOGAMETRIA.

Clasificación con respecto a las fotografías.- La estereofotogrametría elimina la dificultad de identificación que se presenta en la fotogrametría métrica y da prácticamente los mismos resultados que ésta. Desde el punto de vista de la clasificación se pueden considerar las fotografías como de caso normal, o bien se puede considerar que las direcciones de toma de las fotografías han girado desde la posición de normales a la base, aunque permaneciendo siempre paralelas entre sí (caso de fotografías desviadas).

3. COMPARACION ENTRE LA MEDICION POR FOTOGRAFIAS TERRESTRES O AEREAS.

Ambos procedimientos, la medición por fotografías terrestres o la que emplea fotografías aéreas, se han colocado ahora con respecto a los métodos de la geodesia clásica como si la mayor parte del trabajo de medición hubiese pasado del terreno al espacio a restituir. La medición terrestre tiene, con relación a la aérea, las ventajas siguientes: es más barata y necesita sólo poco instrumental y pequeña organización, depende sólo de un modo relativamente pequeño del estado del tiempo y es posible muchas veces aumentar su precisión mediante la correspondiente distancia del terreno a levantar. Proporciona las alturas con más aproximación que la planimetría.

La fotogrametría terrestre es apta sobre todo para terrenos abiertos, sin bosques y con grandes diferencias de alturas. No se recomienda para terreno plano, pero en terreno carente de vegetación y montañoso es muy conveniente usarla; sin olvidar los espacios muertos; el volumen del total de los trabajos geodésicos necesarios es relativamente elevado. De estos inconvenientes y limitaciones se ve libre la fotogrametría aérea. Con la fotografía aérea se obtiene una aproximación semejante para todo el campo fotografiado; tanto los errores planimétricos como los altimétricos permanecen en el mismo orden de importancia.

La importancia práctica de la fotogrametría terrestre se recomendaría en operaciones topográficas por lo menos en los siguientes casos:

- a).- Levantamientos en que se pide una gran precisión, en los que, a causa del movimiento del aparato, se necesitaría un gran aumento de la distancia de toma de las fotografías.
- b).- Levantamientos de pequeñas extensiones, para los que el precio del vuelo será antieconómico.

III.- FOTOGAMETRIA AEREA.

1. LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAFETRICO.

1.1. PROPIEDADES Y NATURALEZA DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS.

La fotografía aérea tomada en dirección aproximadamente vertical tiene su propia escala aproximada y proporciona una imagen parecida a un plano de la parte del terreno fotografiado.

Posee, desde luego, mucho mayor riqueza de detalles que una carta y da el objeto de levantamiento desde el punto correspondiente del vuelo con absoluta fidelidad. La fotografía aérea no distingue, como ocurre con un mapa, entre detalles importantes o secundarios, o entre situaciones permanentes o transitorias del terreno. Por medio de la interpretación, para la que no hace falta ningún pesado método, y sólo la debida diligencia de observación, se puede llegar hasta la fotogeología. Inclusive, para los no técnicos puede resultar más fácil, para orientarse, la fotografía aérea que la carta.

Fotografía con el eje rigurosamente vertical, o sea, las llamadas fotografías nadirales, no pueden ser obtenidas a causa del inevitable movimiento del avión en vuelo. Los niveles que suelen llevar las cámaras aéreas señalan, más que la verticalidad de las mismas, la resultante de las aceleraciones de la tierra y del avión. Se puede así

conseguir que las fotografías aproximadamente nadirales, llamadas fotografías verticales, presenten una distancia nadiral que ha de ser de 1.5° hasta 4.5° como máximo. Por lo general, las fotografías aéreas suelen ser voladas como fotografías verticales. Se hace también que el tiempo entre dos disparos sucesivos de la cámara sea tal que las fotografías se recubran una a otra en el 60%, de manera que cualquier porción del terreno esté representada al menos dos veces en fotografías sucesivas. La observación de dichas fotografías mediante un estereoscopio da, entonces, una impresión espacial, con percepción de las distintas altitudes del espacio fotografiado, que nunca podría obtenerse con una sola fotografía. La visión estereoscópica aumenta además la seguridad del significado del contenido de la fotografía.

El vuelo con recubrimientos estereoscópicos es por esto tan frecuente, aún en el caso en que se haya pensado únicamente en la restitución de fotografías aisladas.

Las fotografías inclinadas dan, realmente, entre las imágenes espaciales proporcionadas por fotografías aisladas, más claridad que las fotografías verticales; pero tienen una escala que decrece fuertemente desde los planos próximos hasta los alejados y según sea la distancia nadiral proporcionan unos espacios muertos más o menos dilatados por el hecho de que parte de los espacios exteriores cubren otros interiores, por ejemplo los producidos por las distintas alturas. La restitución de estas fotografías es más difícil que la de las verticales.

1.2. ORDENACION DE LAS FOTOGRAFIAS.

Condiciones básicas para fotografías verticales.- Una de las cámaras más usuales para mediciones aéreas es la R M K que cumple todos los pasos simples de una operación fotográfica (disparo del obturador, colocación de la placa del film y la iluminación y el paso de los mismos) automáticamente. El formato de la fotografía es cuadrado; el usado más frecuentemente es el de 23 X 23 cm.

Con esta cámara se vuela el terreno en fajas (o líneas) a las cuales se hace todo lo posible para que coincidan con una dirección NS o EO figura 36. El cometido del equipo de vuelo (piloto, navegante y ope-

rador de cámara) es cuidar que se consiga el recubrimiento debido entre dos fotografías consecutivas de cada pasada (para medición estereoscópica será necesario por lo menos de un 60%); que las pasadas - continuas se vuelen a la misma altura; que se vuele cada pasada en -

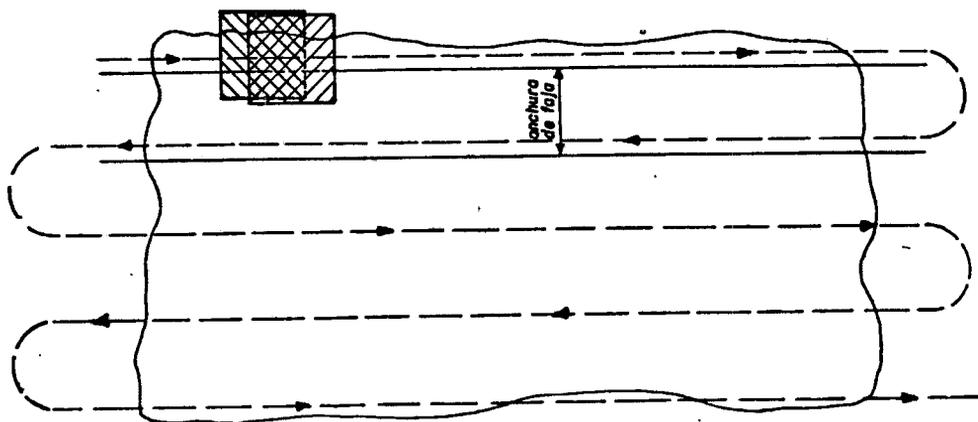


Fig. 36. Disposición del Vuelo.

línea recta; que el cabeceo y el movimiento transversal del aparato sean lo más pequeños posible y que las distintas pasadas se correspondan de modo que unas fotografías cierren con las otras, y para evitar que se formen zonas entre ellas sin fotografiar, que se superponga cada pasada (o línea) con la contigua en un 20 á 30%. Para obtener la deseada precisión en la dirección de las pasadas, se puede emplear simplemente la vista, con la ayuda de un mapa (en la llamada navegación de la vista), como se haría en una operación cartográfica a terreno abierto, o bien se puede emplear un telescopio de navegación. Su órgano principal es una lente granangular cuyo eje óptico - esta colocado en el instrumento formando un ángulo de $40^{\circ}30'$ con la vertical. Algunos de estos aparatos alcanzan un campo de vista desde 4.5° sobre el horizonte hasta 4.5° debajo del nadir, y dan por eso - al navegante la visión necesaria tanto del terreno como hacia adelante.

Elementos para el proyecto del vuelo.- La altura del vuelo sobre el suelo que se deduce de la escala deseada, depende también de la constante de la cámara fotográfica a emplear. Según se puede ver en la -

figura 37, la escala de la fotografía E_F y la altura de vuelo h_v son:

$$E_F = \frac{h_v}{c} \text{ y } h_v = cE_F$$

En la figura, s' representa el lado o formato de la fotografía y s - la distancia que corresponde a aquél en el terreno.

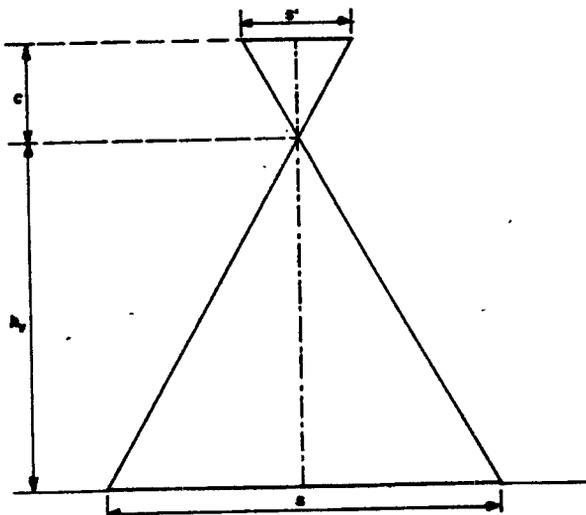


Fig. 37. Escala de la Fotografía.

La escala de la fotografía es función de la exactitud requerida, así como de la escala $1/E_p$ a que se quiere obtener la carta. Empleando - los modernos objetivos y bajo condiciones normales, se puede aceptar la siguiente relación empírica entre los números que expresan la escala de la fotografía y la de la carta $E_F = 200 \sqrt{E_p}$. Desde las escalas grandes de carta, al ir creciendo E_F hay que ir tomando valores menores que los que proporciona la fórmula. La experiencia aconseja emplear el siguiente cuadro de escalas.

E_p	1000	2000	5000	10000	25000	50000
E_F	7000 - 8000	10000 - 12000	14000	20000	32000	45000
E_F/E_p	7.5	5.5	2.8	2.0	1.3	0.9

Esta tabla representa lo que vendría a ser lo ideal, no obstante en-

caso de que la escala del plano sea mayor (en relación a las arriba-
anotadas) se obtienen precisiones muy buenas, que son más que acepta-
bles. De hecho en México se emplean fotografías hasta escala 1:25000
para obtener cartas escala 1:50000, lo cual nos modifica el cuadro -
anteriormente citado.

El espacio cubierto en terreno llano por una fotografía sencilla es:

$$F = s^2 = s'^2 \frac{h_v^2}{c^2} = s'^2 E_f^2$$

Para un recubrimiento de las fotografías de un $p\%$, las relaciones en
tre la distancia entre cada dos fotografías consecutivas, con la ba-
se b y con la relación base - altura b/h_v son ; (figura 38):

$$b = s \left(1 - \frac{p}{100}\right) = s' \frac{h_v}{c} \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

$$\frac{b}{h_v} = \frac{s'}{c} \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

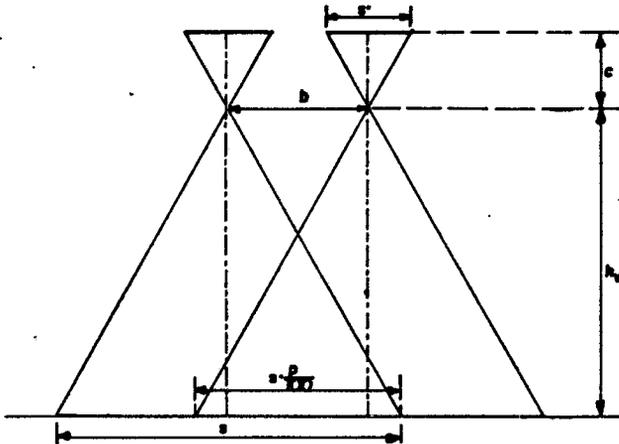


Fig. 38. Recubrimiento Longitudinal y Base.

El tiempo t entre dos disparos consecutivos de la cámara es, repre-
sentado por v_w la velocidad de vuelo sobre el suelo, será:

$$t = \frac{b}{v_w} = \frac{s'}{v_w} E_f \left(1 - \frac{p}{100}\right)$$

El espacio que sobre la placa recorre un rayo de luz durante el tiem-
po de exposición Δt , debido al movimiento del avión en vuelo, es:

##

$$\Delta s' = \frac{v_r \Delta t}{E_f}$$

Para $v_r = 150$ Km/Hr, $t = 1/500$ seg. y $E_f = 1:8000$, será, por ejem -- plo:

$$\Delta s' \text{ (mm)} = \frac{150 \times 1000 \times 1000}{3600} \cdot \frac{1}{500} \cdot \frac{1}{8000} = 0.01 \text{ mm}$$

Las pasadas se efectúan con un recubrimiento lateral de %; enton -- ces la distancia entre líneas a y el nuevo espacio cubierto por cada fotografía F_n será (figura 39):

$$a = s' E_f \left(1 - \frac{q}{100}\right)$$

$$F_n = s'^2 E_f^2 \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(1 - \frac{q}{100}\right) = F \left(1 - \frac{p}{100}\right) \left(1 - \frac{q}{100}\right)$$

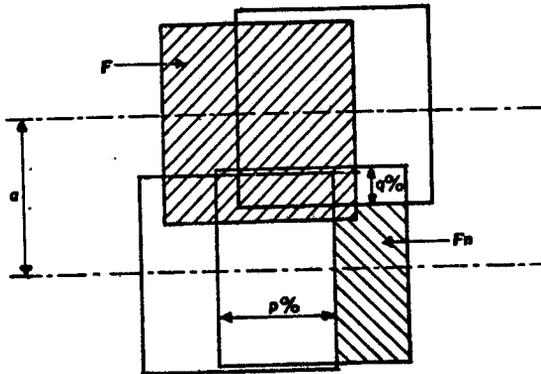


Fig. 39. Separación de Líneas y Espacio Nuevo.

Para un recubrimiento longitudinal de 60% y uno transversal de 25%, -- se encuentra $F_n = 0.3 F$. Mediante la fórmula anterior se puede calcu -- lar el número de fotografías necesarias para cubrir un terreno deter -- minado.

Para evitar un progresivo desplazamiento de las fotografías, algunas cámaras permiten dirigir el eje principal del aparato formando, con -- la dirección del vuelo, el ángulo α de deriva (figura 40).

Tipos de cámaras fundamentales para levantamientos.- Para obtener --

tos de vista tienen un importante significado para fotografías aéreas y aerotriangulación a pequeñas escalas. Por otro lado, las fotografías granangulares presentan sus ventajas de mayor proporción base/altura, mejores ángulos de intersección de los rayos correspondientes en el espacio doblemente cubierto. A causa de esto, proporcionan mayor exactitud en alturas que las fotografías normales. Son inconvenientes para las granangulares únicamente las inmediaciones de los rayos de los bordes, donde las intersecciones pueden dar grandes errores en alturas y en planimetría Δr , como consecuencia de la restitución de fotografías sencillas.

Como, por otra parte, el objetivo granangular se comporta igualmente que el normal desde el punto de vista de sus cualidades ópticas, actualmente se están efectuando vuelos con objetivos granangulares para cometidos topográficos.

También se usan actualmente las cámaras supergranangulares y se emplean para escalas muy pequeñas de fotografía, por ejemplo:

$$E_f = 1:70,000.$$

La fotografía sencilla debe cubrir, desde el punto de vista económico, un espacio lo mayor posible. Con el aumento de espacio cubierto por la fotografía o el modelo, disminuye el número de los puntos de apoyo que han de servir para la orientación de los fotogramas o el modelo en el aparato de restitución. Al mismo tiempo disminuye bastante el número de fotogramas o modelos sucesivos conservando la exactitud de los contiguos. En fotogrametría se han establecido unos límites convenientes para fotogramas simples o los modelos unidad de restitución. Se han hecho investigaciones tendientes a encontrar los límites adecuados para cubrir el máximo espacio posible; en cuanto al formato de la fotografía se ha encontrado que no debe pasarse de 23X23 cm.

Algunos problemas sobre el vuelo fotográfico.- En las fotografías de gran escala, con el fin de favorecer la economía y el grado de precisión, es conveniente dar cada vez a las fotografías una bien determinada posición en las fajas de vuelo. Se procura que los límites de la foto o del modelo se acomoden al recortado de la hoja del plano que se ha de ejecutar, es decir que los límites coincidan con los bordes de la hoja (más dos fotografías) y que las imágenes en las fajas o líneas superpuestas no interfieran o queden desplazadas unas de otras, en medida de lo posible.

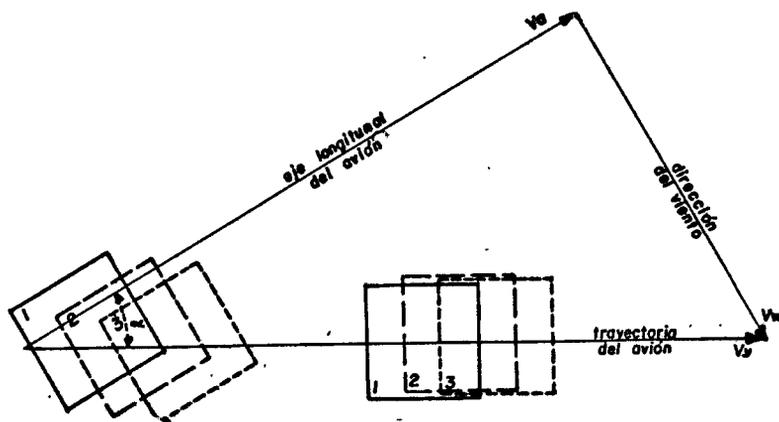


Fig. 40 Deriva.

una carta a escala $1/E_p$, es necesaria una cierta escala de fotografía que, a su vez, dependerá de la constante c de la cámara y de la altura de vuelo alcanzada; la relación base/altura depende también de c . Las cámaras en uso se pueden clasificar en los siguientes tipos:

	c cm	Formato de la foto cm x cm	Altura de vuelo m	Recub. Long.	Relación Base/Altura
Angulo normal	30	23X23	$0.3 E_f$	60%	0.31 1/3
Granangular	15	23X23	$0.15 E_f$	60%	0.61 2/3
Supergranangular	8.8	23X23	$0.088 E_f$	60%	1.05 1/1

Cuanto mayor es el ángulo de apertura del objetivo, más pequeña es la altura de vuelo necesaria para obtener una determinada escala de fotografía. Así, por ejemplo, las fotografías granangulares cubren la misma superficie terrestre con un vuelo a menor altura que la que sería necesaria para fotografías normales. En las fotografías aéreas es también evidente la necesidad de que la altura sea siempre la menor posible, entre otras razones por las pérdidas de visibilidad experimentadas por los rayos de luz al atravesar las distintas capas de aire; es preciso tener en cuenta, también, que los rayos laterales tienen un recorrido mayor a través del aire que los rayos centrales, y esto tanto más cuanto mayor es el ángulo de apertura del objetivo. Estos pun-

Las fotografías aéreas deben tomarse cuando la atmósfera esté despejada de nubes. Esta condición aumenta de importancia en relación directa a la altura de vuelo. Como consecuencia del aumento de la sensibilidad de las emulsiones empleadas se obtienen, sin embargo, fotografías aéreas de gran escala a alturas de vuelo relativamente bajas y muy aprovechables a pesar de ser tomadas con cielos nublados, siempre que las nubes estén, desde luego, suficientemente altas. Es muy probable que en el futuro la fotografía a base de rayos infrarrojos pueda minorar la dependencia meteorológica de los vuelos fotográficos.

1.3. CAMARAS FOTOGRAFICAS.

Las cámaras fotogramétricas deben cumplir principalmente con las siguientes condiciones:

- a).- El objetivo debe ser luminoso y en lo posible libre de distorsión; además necesita gran poder de resolución.
 - b).- El obturador debe garantizar la misma producción para todas las partes del campo de la fotografía; debe ser un obturador central, nunca un obturador de ranura. El obturador debe tener un alto grado de luminosidad, se expresa, entre otras cosas, la relación entre la luz que penetra a través del obturador durante el tiempo de exposición y la que correspondería a la abertura total, o sea la caída de la cantidad de luz. El grado de acción de un buen obturador oscila entre 70 y 95%.
 - c).- La caja de la cámara debe asegurar mediante su estabilidad las constantes de su orientación interna; la colocación del objetivo, obturador y bastidor debe ser invariable. El bastidor de apoyo debe evitar en lo posible que se transmitan a la cámara las vibraciones del avión. En la mayor cantidad de los casos descansa sobre soportes de caucho que permiten horizontalizar la cámara por medio del ángulo de deriva.
- La cámara debe estar provista, en suma, de los dispositivos eléctricos y mecánicos que le permitan ejecutar las operaciones durante su recorrido y que hayan sido previstas de antemano. En las cámaras con película se consigue que ésta se coloque exactamente plana, prensándola por la parte superior o inferior un momento antes del disparo del obturador, mediante presión o succión sobre una placa plana.

1.4. APARATOS PARA DETERMINAR LA ORIENTACION EXTERNA DE LAS FOTOGRAFIAS DURANTE EL VUELO.

Generalidades.- La orientación externa, como ya se mencionó en este mismo trabajo, está determinada por 6 elementos, que son los dos componentes de inclinación, el giro marginal y las 3 coordenadas del punto origen de la fotografía. Estas no se pueden deducir del vuelo, sino que, como en las fotografías del terreno, hay que determinarlas midiéndolas directamente. Las fotografías aéreas, por esta causa, se introducen en el sistema de coordenadas terrestres, generalmente por medio de puntos de apoyo. Pero se ha estudiado la utilización del mismo vuelo para obtener todos o algunos de los elementos de la orientación, proporcionados por las mismas fotografías, y así disminuir los puntos de apoyo necesarios para la orientación. De acuerdo a su nivel de desarrollo, estos procedimientos no se suelen usar para todos los casos, - debido a su limitada exactitud; pero en algunas ocasiones, para escales pequeñas, han adquirido recientemente una gran importancia. Para la determinación de la inclinación y del giro marginal de la fotografía, son posibles varios métodos:

- a).- Para un método finlandés y con aparatos marca Zeiss, se desarrolla un procedimiento de horizonte del cuadro, añadiendo a la cámara principal dos cámaras auxiliares, cuyos ejes estén unidos - entre sí y con la cámara principal rígidamente. Dichas cámaras - fotografían el horizonte en la dirección del weelo y perpendicularmente a la misma, y sus obturadores se abren sincronizadamente con el de la cámara principal.
- b).- Mediante un giróscopo se consigue registrar la posición del punto nadiral de la fotografía.
- c).- Para el empleo del método del periscopio solar aplicable con los aparatos de marca Santoni, junto a la cámara principal va acoplada otra segunda con un objetivo supergranangular. El eje de este periscopio solar, que funciona sincronizada con la cámara principal, es rigurosamente paralelo al eje de dicha cámara, pero está dirigido en sentido opuesto.

A partir de la imagen fotografiada del sol, del tiempo registrado y - de las coordenadas geográficas del lugar, que sólo requieren ser aproximadas, se pueden deducir la inclinación longitudinal, la inclinación transversaly también, con la ayuda de la brújula, el giro marginal.

Para la determinación de las coordenadas espaciales de los puntos de disparo de las cámaras se tienen las siguientes alternativas:

La altitud del avión sobre el nivel del mar se puede medir mediante un barómetro anerode. Mas exacto que el anerode resulta el estatoscopio, que es un barómetro diferencial de vuelo, que en largas fajas de las diferencias de altitud entre fotografía y fotografía con una exactitud de ± 1 á 2 m.

La altura sobre el nivel medio del suelo se puede medir con un Echo-lot, que es un aparato de medida electrónica de distancias y registrarla sobre la marcha. En unión con un estatoscopio es capaz de proporcionar un perfil de alturas del avión, referente a todo el vuelo fotogramétrico.

Para obtener las coordenadas planimétricas del punto en que se ha tomado cada fotografía, se dispone de varios medios de localización -- por radio. Según sea el procedimiento se pueden alcanzar precisiones planimétricas desde ± 20 hasta ± 1 m. Todas éstas instalaciones son demasiado costosas, de acuerdo a su grado de precisión.

2. RESTITUCION DE FOTOGRAFIAS AEREAS MEDIANTE RECTIFICACION.

2.1. FUNDAMENTOS SOBRE RECTIFICACION DE FOTOGRAFIAS.

a).- Una fotografía aérea es una proyección central del terreno representado; en cambio, una carta es una proyección ortogonal -- del mismo. En caso de que el terreno sea llano se puede, mediante las ecuaciones de la perspectiva, calcular y dibujar la carta correspondiente al terreno representado en la fotografía. Si el terreno no es plano, se presentan errores continuos a causa de las diferencias de altura, que no pueden ser determinadas -- mas que con el conocimiento de dichas diferencias. Para una fotografía nadiral (vertical), los errores planimétricos Δr , debidos a las diferencias de alturas Δh con respecto a un plano-medio horizontal, se pueden expresar de acuerdo a la figura 41, por la expresión:

$$\Delta r = \frac{r'}{c} \Delta h.$$

Para los errores planimétricos en una carta escala $1/E_f$ se tiene:

$$\Delta r_f \text{ (mm)} = \frac{1000}{E_f} \cdot \frac{r'}{c} \Delta h \text{ (m)}.$$

b).- Mediante una fotografía aérea se obtiene, en la misma dirección de la misma, un cuadrilátero del objeto fotografiado, representado en un cuadrado fotográfico sin escala regular. Para relacionar entre sí los puntos objeto y los puntos fotográficos se deben conocer como mínimo 4 puntos de la fotografía y sus respectivos puntos objeto en el terreno. Para la rectificación de los errores proyectivos producidos por las inclinaciones y también para la transformación de una fotografía aérea en una carta, es necesario conocer 4 puntos de apoyo.

Por este motivo se considera al terreno, en lo sucesivo, no sólo como plano, sino también como horizontal, porque la carta -

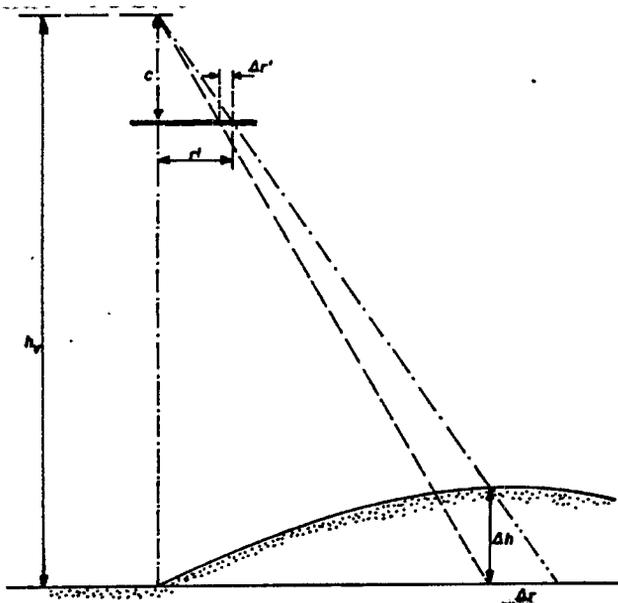


Fig. 41. Desplazamientos de los puntos de la Fotografía debido a las Diferencias de Alturas.

es, precisamente, una figura geométrica semejante al terreno -- plano.

El conocimiento de 4 puntos de apoyo basta sólo para una rectificación en sentido propio, cuando se hace uso libremente de la

propia perspectiva de las fotografías, sin necesidad de conocer su orientación interna. Con 3 puntos de apoyo, si se conocen -- los datos de la orientación externa mediante la llamada intersección inversa espacial. De ésta es un ejemplo el método de Anderson.

c).- En una fotografía aérea, los puntos que en el terreno se encuentran sobre una línea recta también se hallan en línea recta. -- Las rectas o haces de rectas paralelas en las fotografías tiene -- n su punto de fuga. Por último, a causa de las imágenes perspectivas correspondientes de los haces de rectas en los planos-objeto o carta respecto a la fotografía, existe la misma doble relación. Si se cortan con una recta cualquiera 4 rayos de un haz, en los puntos de intersección se verificará la doble relación siguiente entre los segmentos determinados en la carta y -- en la fotografía:

$$\frac{AC}{BC} - \frac{AD}{BD} = \frac{A'C'}{B'C'} - \frac{A'D'}{B'D'}$$

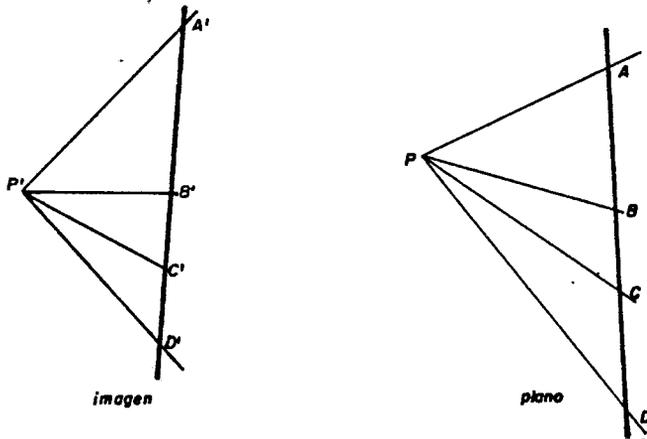


Fig. 42. Series Projectivas de Puntos.

2.2. RECTIFICACION GRAFICA.

Para la transformación del contenido de una sola fotografía a la carta se usa el procedimiento llamado de las tiras de papel, que se basa en la doble relación. Sean, por ejemplo, en la fotografía y en la

carta, los 4 puntos correspondientes A' , B' , C' , D' y A , B , C y D , y sea el punto P' en la fotografía que hay que colocar en la carta. Se trazan los rayos que van de los puntos A y A' a los otros puntos de apoyo y además al rayo $A'P'$ en la fotografía. Luego se coloca sobre el haz de rayos de la fotografía una tira de papel y se traza sobre la misma los puntos en que corta a los rayos del haz. Luego, la tira de papel se coloca sobre el papel de la carta de modo que pase sobre rectas trazadas por B , C y D . La marca P' pertenece a la recta AP , o sea a un lugar geométrico determinado en el papel de la carta desde P . Volviendo a ejecutar la operación tomando otro punto de apoyo, -- por ejemplo el B' y B , como vértice del haz, se puede hallar el punto P por medio de una intersección directa.

La transformación del contenido de una fotografía aislada se puede llevar a cabo mediante medidas ópticas cuando se observan fotografía y carta correspondientes, con la interposición de una pequeña cuadrícula.

En este caso se hace uso del procedimiento denominado de los vértices proyectivos.

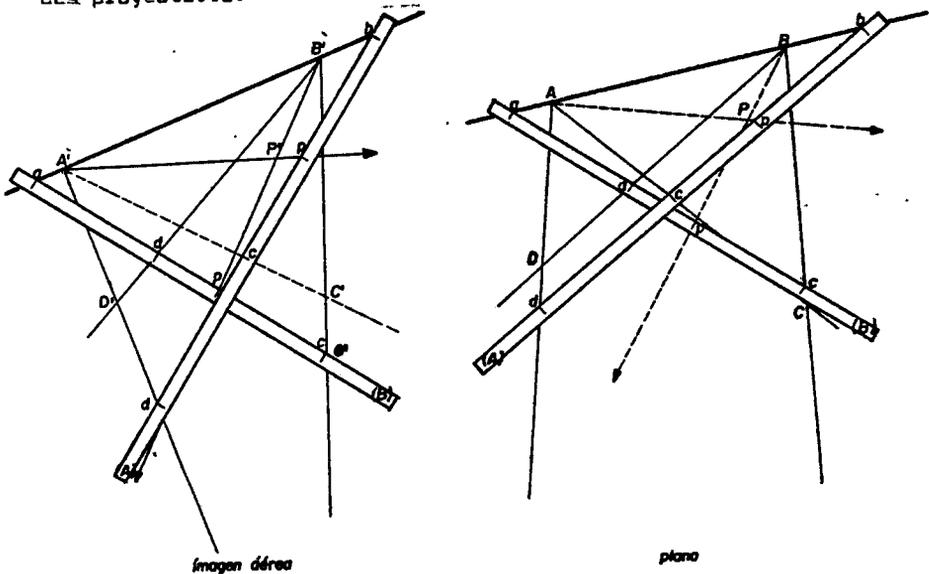


Fig. 43. Método de las Tiras de Papel.

2.3. TRANSFORMACION MEDIANTE PROYECCION OPTICA SUBJETIVA.

Mucho más cómodo que una rectificación gráfica es una transformación óptica del plano de la fotografía sobre el plano de la carta. Para ello se puede trabajar para pequeños perímetros con proyecciones ópticas subjetivas, o se pueden usar imágenes verticales proporcionadas por aparatos transformadores de imágenes. Estos se basan en el principio de la cámara lúcida. El elemento principal de tal aparato es un espejo argentado hasta la mitad o un prisma correspondiente -- que proporciona sobre el plano de la carta una figura aparentemente real de la fotografía. El contenido de la fotografía aérea puede ser dibujado entonces a mano en la carta.

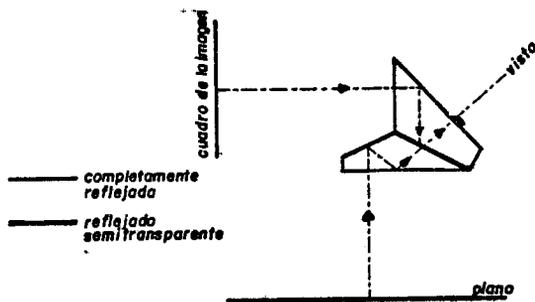


Fig. 44. Esquema de la Cámara Lúcida.

Las cámaras claras emplean, para la formación de cartas topográficas, escalas pequeñas y medias en fotografías aproximadamente verticales, con la condición de que el terreno sea sensiblemente llano. Se coloca para esto sobre el dispositivo de la carta una parte modificada de la fotografía, sobre los puntos y líneas de la carta que permanecen sin modificar, alrededor y en las proximidades de la zona de que se trata.

Para rectificación de espacios grandes, las cámaras claras resultan lentas y antieconómicas. Hay que usar entonces proyecciones ópticas-objetivas, por medio de aparatos rectificadores automáticos; éstos proporcionan las llamadas fotografías rectificadas, que son nadirales con gran exactitud.

2.4. RECTIFICACION MEDIANTE PROYECCION OPTICA OBJETIVA.

Elementos ópticos de los aparatos de rectificación.- Un aparato rec-

tificador se parece, ante todo, a un aparato fotográfico de amplia -
ción. El plano de la fotografía B debe quedar proyectado finamente -
sobre un plano mesa R, en el que estará colocada la carta. Correspon -
diendo al fenómeno de la toma de la fotografía, en el cual el plano -
del terreno se encontraba a una distancia de ∞ , en sentido óptico,
aquí también el plano R se encuentra a la máxima distancia del obje -
tivo de proyección. Para alcanzar la formación de B sobre R de una -
manera fina, B y R con el plano medio D del objetivo rectificador, -
que es el que representa los dos planos principales de los objetivos,
se deben cortar los tres en una línea recta; entonces la recta inter -
sección S desde B y D se representa a sí misma. Cuando además de cum -
plirse con la condición anterior, por lo menos para uno de los pun -
tos de B se cumple la condición de distancia se tiene la seguridad -
de que se cumple la condición de finura de la proyección mutua en la
totalidad de los planos B y R.

Las condiciones mencionadas se pueden lograr de una manera mecánica,
por medio de unos aparatos rectificadores automáticos que se llaman
inversores.

Condiciones geométricas para los aparatos de rectificación.- Para la
práctica de la rectificación son necesarios, en general, cuatro pun -
tos de apoyo. Un aparato de rectificación debe tener para eso una --
tal versibilidad de colocación recíproca e independiente que pueda colo -
car un determinado cuadrilátero de la fotografía sobre su correspon -
diente cuadrilátero está determinado por 5 segmentos, el aparato rec -
tificador necesitará poseer 5 grados de libertad. No es indispensable

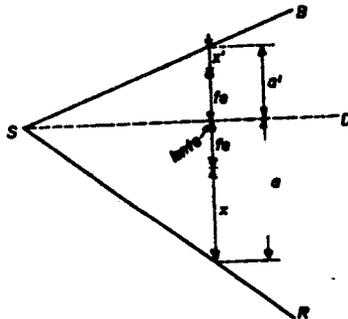


Fig. 45. Condiciones Ópticas para un Aparato Rectificador.

preocuparse de la colocación de los recorridos de los rayos de la fo

tografía.

La rectificación mediante números de posición.- Este tipo de rectificación es usado cuando han sido determinadas la altura h_v del vuelo y las inclinaciones longitudinal y transversal de las fotografías durante el levantamiento por uno de los métodos anteriormente citados (triangulaciones deducidas de los fotogramas o por el método de las paralelas). De esta manera sí es posible prescindir total o parcialmente de los puntos de apoyo y calcular a partir de los datos del levantamiento las posiciones necesarias para la rectificación en el aparato rectificador.

La realización de los aparatos rectificadores.- Los diversos aparatos rectificadores que existen se clasifican principalmente en el grupo de los que presentan el objetivo fijo (construcción del eje óptico) o en otro grupo en el cual se ha escogido alguna combinación de los conocidos 5 grupos de libertad, cuya presentación, además del cumplimiento automático de las condiciones de la línea de intersección de distancia, se haga uso de los valores calculados para distintos elementos de la orientación. Para la práctica del trabajo es muy importante la capacidad de ampliación del aparato.

Proceso práctico para la rectificación.- Consta de: a) hacer coincidir el fotograma proyectado con los puntos de apoyo de la mesa del aparato, y b) fotografiar la fotografía rectificada sobre simple papel fotográfico, Korrestostat o película. Corresponde usar el proceso de coincidencia cuando se rectifica mediante números de posición:

- a) Como papel de base se usa, según los casos, o bien un simple plano puntual con los correspondientes puntos de apoyo, o una carta anterior. El papel se ha de colocar firmemente sobre la mesa del aparato rectificador. La coincidencia de puntos se consigue paso a paso mediante pruebas sistemáticas. El camino más conveniente y definitivo se deduce de los grados de libertad de los correspondientes aparatos.
- b) Después de la completa coincidencia se coloca delante del objetivo un filtro rojo y sobre la mesa del aparato un material fotográfico sensible en lugar del papel base. El filtro rojo se aparta durante el tiempo preciso para la iluminación. La fotografía corresponde a una exacta fotografía nadiral. Es una positiva, si, como es costumbre, se ha usado una negativa como original para la

rectificación.

Aparatos rectificadores para terrenos no planos (ortofotografías). - Las grandes ventajas de la rectificación, especialmente su rapidez y su comodidad, unidas al rico contenido de información de la imagen - fotográfica, han conducido al desarrollo de los aparatos ortofotográficos, es decir, aparatos que no sólo liberan de las deformaciones proyectivas debidas a la inclinación de la fotografía, sino que la - -- transforman en una rigurosa proyección ortogonal del terreno. Las -- "ortofotografías" así obtenidas son, desde el punto de vista geométrico, equivalentes a un mapa.

En una fotografía aérea de un terreno no plano, incluso cuando dicha fotografía es rigurosamente nadiral, cada partícula superficial tiene una escala distinta que depende de la altura del correspondiente punto en el terreno. Por ello, mediante una proyección fotográfica - solamente podrá ser obtenida una ortofotografía si la distancia en - tre el objetivo de la cámara y el plano de proyección cambiase contnuamente, de punto a punto, en correspondencia con las respectivas - alturas del terreno. Para el proceso de la ortofotografía las altu - ras del terreno se obtienen mediante una restitución espacial con -- dos fotogramas.

3. TEORIA DE LA RESTITUCION CON DOS FOTOGRAFIAS.

3.1. EL PRINCIPAL PROBLEMA DE LA FOTOGRAMETRIA.

La medida espacial de la superficie terrestre por medio de dos fotografías correspondientes a vistas aéreas ejecutadas en el lugar y -- que representan el mismo terreno, exigen que sean conocidas las - -- orientaciones interna y externa de los fotogramas. Si se cumple este requisito, se puede medir planimetría y altimetría en el modelo espacial proporcionado por el par de fotogramas. Para poder llevar a cabo lo anterior, es necesario disponer de un aparato de doble proyección, en el cual puedan ser orientados los fotogramas que quedan como si se encontrasen en el momento de tomarse la fotografía.

Ya se trató lo concerniente a cómo pueden obtenerse, parcial o totalmente, los datos de la orientación externa. Por lo general, no son - suficientes estas clases de rectificación, ya que no proporcionan la debida precisión; por lo que la orientación externa debe confiarse a

los puntos de apoyo. Como se trata de una restitución por medio de un par de fotografías y no para cada fotografía aislada. La solución de este llamado principal problema de la fotogrametría consiste en la determinación de 12 incógnitas, a saber 3 coordenadas espaciales de cada uno de los puntos de toma de las fotografías y tres ángulos (ϕ , ω y X) para cada una de las dos fotografías; la orientación se divide en el aparato restituidor en dos partes: orientación relativa y orientación absoluta.

La orientación relativa hace que los haces de rayos que proceden de las dos fotografías se concuerden de manera que los rayos correspondientes a los mismos puntos del terreno se cortan entre sí y en ningún caso cruzándose mediante una correcta orientación relativa se obtiene principalmente la formación de un modelo espacial. Por medio de la orientación relativa se determinan 5 incógnitas del grupo de 12 que existían. Esto significa que se ha de verificar, en una orientación bien ejecutada, que se corten los rayos dados por la fotografía izquierda con los correspondientes de la fotografía derecha que se coloca orientada relativamente con la otra fotografía. La escala del modelo así obtenido puede, no obstante, haber sido variada a voluntad.

Para obtener el corte de rayos bastan solamente 5 condiciones; como consecuencia se necesita solamente, sin que para eso haga falta ningún punto de apoyo, que se corten 5 pares de rayos, pues con ello los otros rayos correspondientes se cortarán también.

Para que los rayos correspondientes se corten entre sí, es preciso que se encuentren situados con la base en un mismo plano (plano epipolar).

Se supone que las fotografías se colocan en un doble proyector levantado sobre un plano horizontal en el que se proyectan aquéllas. Los rayos correspondientes que atraviesan los objetivos se muestran con diversas paralajes en dirección de la base (x o paralaje horizontal p_x) y paralajes en dirección perpendicular a la base (y o paralaje vertical p_y). Las paralajes horizontales se pueden hacer desaparecer mediante variaciones en altura del plano de proyección. En cambio, las paralajes verticales no desaparecen, ya que los rayos no se cortan entre sí. Para efectuar debidamente la orientación relativa

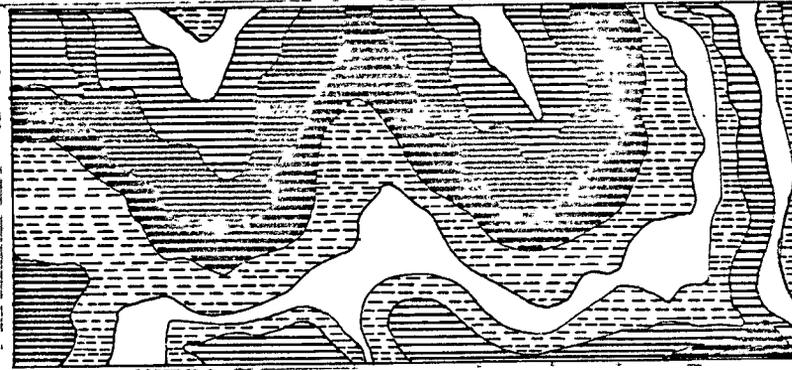


Fig. 46. Escalones Hipsométricos con Curvas de Nivel.

es necesario hacer desaparecer los paralajes en 5 puntos mediante variaciones de 5 de los 12 elementos de orientación de ambas fotogra -fías.

El modelo obtenido mediante la orientación relativa tiene una escala arbitraria y una posición y orientación desconocidas en el espacio.- Para poder efectuar medidas debe dársele al modelo espacial la co -- rrespondiente escala y además el mismo modelo debe bascular, endere -- zarse y deslizarse hasta que sus coordenadas espaciales coincidan -- con las coordenadas del terreno correspondientes a la escala del mo -- delo deseada. Para esta orientación absoluta se necesita el conoci -- miento de 7 incógnitas. Las incógnitas son: la escala, 3 giros alre -- dedor de los 3 ejes coordenados, mediante los cuales el modelo queda con un eje vertical y además queda orientado correctamente sobre el -- horizonte, y 3 traslaciones en dirección de los 3 ejes coordenados.- Para la orientación absoluta es necesario como mínimo el conocimien -- to de dos puntos de apoyo planimétricos y las altitudes de 3 puntos -- de apoyo (o sea, 2 puntos de apoyo de los que se conozcan las 3 coo rdenadas y un tercer punto de apoyo del que no se conozca más que la -- altura). En un doble proyector se consigue la escala deseada colcan -- do la distancia debida entre los dos proyectores y la colocación ver tical del modelo alrededor de los ejes x e y accionando los disposi -- tivos que en el aparato hacen girar a la vez ambos proyectores. La -- traslación en dirección de z se consigue colocando en la lectura de -- bida el índice de lectura en alturas. Las traslaciones en dirección-

x e y se pueden conseguir gráficamente mediante traslaciones y rotaciones del papel que contiene dibujados los puntos de apoyo. Las coordenadas espaciales del centro del primer fotograma no se obtienen en el transcurso de la orientación absoluta; se pueden, no obstante, calcular. De todas formas, esto no se suele hacer, toda vez que las coordenadas de los centros de proyección no son necesarias para la restitución.

3.2. ORIENTACION RELATIVA.

La finalidad de ésta operación es dar a las cámaras de restitución - las mismas posiciones relativas que las de las cámaras aéreas. Para esto, los rayos homólogos que salen de 5 puntos de las fotografías - se deben intersectar en el espacio del modelo. Se requieren para - - ello, como se mencionó anteriormente, 5 de los 12 parámetros de - - orientación externa disponibles.

No obstante que existen diferentes métodos el más común para orientación relativa con dos cámaras, hace mención a los elementos: x' , x'' (giro); φ' , φ'' (inclinación longitudinal) y w' , w'' (inclinación transversal).

La figura muestra la disposición de éstos puntos característicos. Por razón de simetría y para tener control se utilizan 6 efectivamente. - Los puntos 1 y 2 corresponden de modo aproximado a la verticalidad - de las barras - guía izquierda y derecha. Los 3, 4, 5 y 6, estén situados en las dos verticales a igual distancia (d) de los puntos - - principales 1 y 2. Estos deben ser puntos del terreno bien nítidos y claramente fotoidentificables.

A continuación se enumeran los pasos para eliminar las paralajes p_y - en los puntos.

- 1.- Eliminar p_{y1} con x'' .
- 2.- Eliminar p_{y2} con x' .
- 3.- Eliminar p_{y4} con φ' .
- 4.- Eliminar p_{y3} con φ'' , leer $w' = w_3$.
- 5.- Eliminar p_{y5} con w'' , leer $w'' = w_5$.
- 6.- Calcular $\Delta w = w_5 - w_3$.
- 7.- Calcular $w_0 = w_5 - N\Delta w$, donde $N = \text{factor de sobrecorrección} =$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{c^2}{d^2} - 1 \right).$$

- 8.- Inscribir w_0 en w' .
- 9.- Repetir las operaciones de la 1 a la 4.
- 10.- Verificar los puntos 5 y 6, si queda paralaje "y" repetir la -- operación de la 1 a la 10.

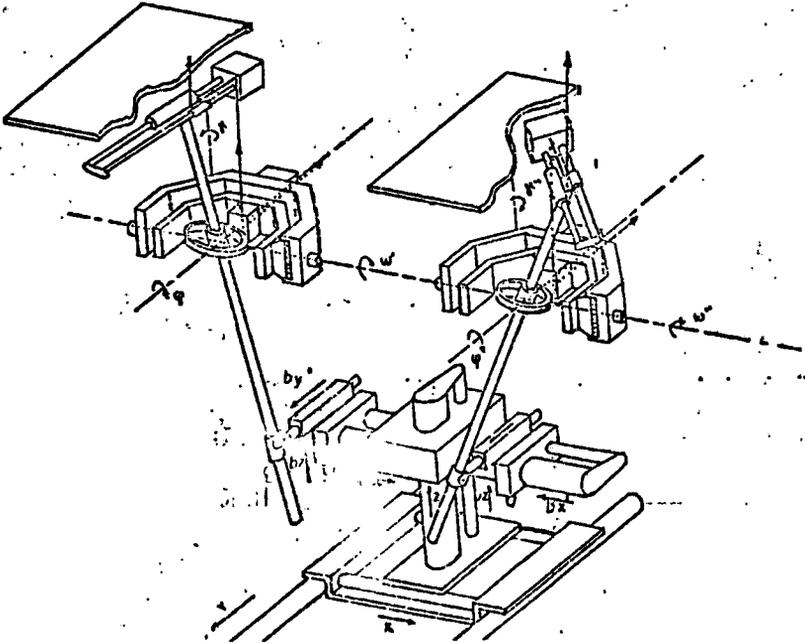


Fig. 47. Diagrama de Restituidor.

Concatenación de modelos.- Cuando se ha terminado la restitución de un par de fotogramas y se desea seguir con el siguiente par de una línea de vuelo, es conveniente concatenar el modelo para evitar grandes movimientos en la orientación absoluta de éste último modelo. -- Con ayuda del cambio de base (de positiva a negativa) se deja fija la cámara que contiene la placa común entre los dos modelos y se hace la orientación utilizando solamente la cámara que contiene la nueva placa.

Se debe tener el cuidado de que antes de quitar la placa no común -- del primer modelo, se anotan las cotas de los puntos que servirán de liga entre modelos para poder posteriormente pasarlos a escala del primer al segundo modelo.

En éste caso el proceso de orientación relativa será el siguiente:

- 1.- Eliminar p_{y2} con b_y .
- 2.- Eliminar p_{y1} con x^m .
- 3.- Eliminar p_{y4} con b_z .
- 4.- Eliminar p_{y3} con Q^m .
- 5.- Eliminar p_{y5} con w^m .
- 6.- Calcular el factor de sobrecorrección y obtener w_0 .
- 7.- Inscribir w_0 en w^m .
- 8.- Repetir las operaciones de la 1 a la 4.
- 9.- Verificar los puntos 5 y 6, si queda paralaje "y" repetir las -- operaciones de la 1 a la 9.

Una vez que ha sido orientada la cámara que contiene la placa no común del segundo modelo, se coloca el contador de la z en la cota correspondiente al punto principal de enlace entre modelos y se muevebx hasta colocar la marca flotante sobre dicho punto. De esta manera el modelo quedará asentado también absolutamente con respecto al anterior.

Nivelación de pares de fotogramas.- Para llevar a cabo lo anterior es necesario que se conozcan al menos las altitudes de tres puntos para la determinación de los ángulos de rotación para hacer bascular el modelo. Estos tres puntos, en ningún caso deben estar alineados, sino al contrario, cubrir la superficie del modelo más grande posible. No es necesario que sean los mismos que los utilizados para la puesta de escala.

Con tres puntos el proceso es el siguiente:

Primero, colocar la marca de mediciones sobre el primer punto. Segundo, ajustar, para comodidad de la lectura, el contador altimétrico a la altitud correcta de ese punto. Y, tercero, medir las de los otros dos puntos.

3.3. ORIENTACION ABSOLUTA.

La orientación absoluta comprende la determinación de la escala, tres rotaciones del modelo y tres traslaciones del mismo. Los tres puntos de apoyo necesarios para determinar aquellos movimientos se colocan por medio de sus coordenadas y a la escala elegida para la restitución en una hoja de dibujo. Para encontrar la escala del modelo se calcula para el lado más largo del triángulo de los puntos de apoyo el cociente entre la distancia debida S y la distancia correspondien

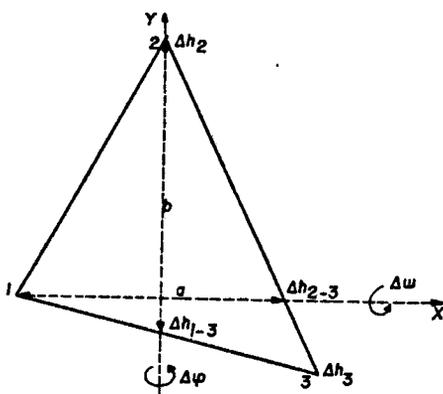


Fig. 48. Orientación Absoluta.

te s en el modelo. Con el cociente S/s se multiplican las tres componentes de la base y los valores obtenidos se colocan en el aparato. Entonces el papel de dibujo se traslada y se gira alrededor de la vertical de tal manera que el punto de apoyo 1 de la hoja coincida con el mismo punto dado por el modelo y que el punto 2 del modelo esté en el mismo lado 1-2 del triángulo formado por los puntos de apoyo. Además, el índice de alturas del aparato se coloca de tal forma que se lean en él la altura que corresponde a 1 cuando se observe estereoscópicamente por el aparato el mismo punto 1.

En lo anteriormente anotado, se han determinado las traslaciones en x , y , z , la rotación alrededor del eje z y la escala. Queda pues, únicamente colocar el modelo correctamente en el horizonte. Para esto se halla, para los puntos 2 y 3, las diferencias Δh entre las alturas que en este momento se leen en el aparato; estas diferencias, que hay que anular, se escriben en la hoja de papel enfrente de los correspondientes puntos de apoyo. Luego se trazan por 1 y 2 paralelas a los ejes x e y , respectivamente, del aparato, y se calculan para los puntos en que las paralelas cortan a los lados del triángulo de puntos de apoyo, por medio de interpolación lineal, los valores que les corresponde de Δh . De esta forma se obtiene como valores de rotación transversal $\Delta \omega$ y longitudinal $\Delta \varphi$ del modelo:

$$\Delta \omega = \frac{\Delta h_{1,3} - \Delta h_2}{b} \rho$$

$$\Delta \varphi = \frac{\Delta h_{2,3}}{a} \rho$$

Los segmentos a y b se toman midiéndolos en el dibujo.

Los valores Δu y $\Delta \varphi$ dan los movimientos que ha de experimentar el modelo total, o sea los dos proyectores con la base.

En restituciones exactas de gran escala no se considera satisfactorio el simple dibujo cartográfico del modelo; por ello las coordenadas - fotogramétricas del modelo se transforman analíticamente en coordenadas del sistema - terreno. Para esto es indispensable poder leer las coordenadas del modelo en el restituidor o que el aparato pueda registrarlas automáticamente.

4. RESTITUCION CON UN PAR DE FOTOGRAFIAS.

4.1. PROCEDIMIENTO Y APARATOS DE MEDICION CON PARES FOTOGRAFICOS.

La restitución en planimetría y altimetría de un modelo espacial con seguido por un par de fotogramas se puede obtener por dos procedimientos distintos:

I. Analítico, por el cual se puede, mediante un estereocomparador en fotogramas no orientados, obtener las coordenadas de-fotografía - de los correspondientes puntos de la misma y transformar dichas - coordenadas de fotograma, mediante el cálculo, en coordenadas de terreno; todo ello basándose en las relaciones matemáticas existentes entre las coordenadas de fotogramas y las coordenadas de - modelo. Estas, mediante el empleo de nueve de las primitivas coordenadas de fotograma en los programas automáticos de cálculo para la operación de la restitución, constituyen el objeto de la fotogrametría analítica, que fundamentalmente se limita a la medición de puntos por separado.

II. Con los aparatos de restitución con un par de fotogramas, en los que la transformación de las coordenadas de fotograma en las correspondientes de modelo o de terreno se hace automáticamente, por lo que los operadores del aparato no necesitan efectuar ningún cálculo. Los aparatos de restitución con un par de fotogramas pueden restituir por puntos o por líneas. Desde el punto de vista de su precisión, su capacidad de producción y su aplicabilidad se dividen en instrumentos de 1^o, 2^o y 3^{er} orden. Los aparatos restituidores de 1^o y 2^o órdenes corresponden fundamentalmente a soluciones geométrico - matemáticas rigurosas. Los instrumentos de --

1^{er} orden son aparatos de precisión de primer rango, que, entre -- otras operaciones, permiten restituciones numéricas y gráficas de fo togramas terrestres o aéreos, con una amplia y arbitraria disposi -- ción de ellos, y la ejecución de aerotriangulaciones espaciales por el método de las conexiones sucesivas. Los aparatos desde el segundo orden, en lo que se refiere a universalidad o precisión, llegan a re sultados más modestos.

Los aparatos de primer orden obtienen en restituciones punto a punto un promedio de precisión planimétrica de ± 0.01 mm contada en la es cala del fotograma, y una precisión altimétrica de ± 0.01 a $\pm 0.2\%$ de la altura de vuelo. Los errores de la cartografía ejecutada por -- ellos permanecen por lo general dentro del límite de la seguridad -- del dibujo, que se puede fijar en ± 0.2 mm para la escala de la car ta elegida y correspondiente a la escala de fotograma. Los aparatos de segundo orden, en sus distintas operaciones, no alcanzan estos va lores medios.

Con los instrumentos de tercer orden se dispone de unos aparatos es tereoscópicos relativamente sencillos y económicos, que trabajan con so ciones aproximadas.

En la mayor parte de los aparatos restituidores de doble fotograma -- de los órdenes primero y segundo, el recorrido de los rayos es repro ducido geoméricamente tal como existió en el momento de la toma; e igualmente se reproducen las orientaciones externa e interna de los fotogramas.

Los aparatos de restitución mencionados presuponen un observador hu mano que ha de rastrear el modelo con una señal métrica visible en -- las tres direcciones coordenadas del espacio. El proceso de restitu ción totalmente automático, es decir, que prescinda del observador, -- requiere dispositivos, por una parte, que permitan la recíproca coor dinación de las dos imágenes de un punto del objeto situadas en los dos fotogramas sin la intervención humana y, por otra parte, que -- transmita automáticamente la interpretación del contenido del foto grama necesaria para la representación del entorno. Desde aquí se -- concluye que la última función nunca podrá ser desempeñada por una -- máquina; no sucede así con la eliminación automática de las parale -- les horizontal y vertical, ya que a ambas se les han encontrado solu ciones prácticas muy aceptables.

Dentro del trabajo de la restitución exacta, el observador de un - - instrumento se ve colocado en un momento ya pasado, pues el aparato de restitución se coloca en el momento de la ejecución de la fotografía.

Esta clase de aparatos verifican la reconstrucción de los haces de rayos que impresionaron la fotografía, y que son orientados relativa y absolutamente, con ello se consigue la observación estereoscópica del modelo espacial, la realización de las intersecciones de los rayos correspondientes y los mecanismos que corresponden a la obtención automática del plano y alzado del modelo. Según la forma en que estén colocados en el aparato de restitución los rayos de los fotogramas, se clasifican de la siguiente forma:

1. Aparatos con Proyección óptica. En éstos, los rayos están representados por rayos de luz en todo su recorrido, desde la fotografía hasta el modelo. Los aparatos con proyección óptica pueden dividirse a su vez en:
 - a) Aparatos con proyección óptica objetiva del modelo, como el doble proyector.
 - b) Aparatos con proyección subjetiva del modelo, como, por ejemplo, el estereocomparador.
2. Aparatos de Proyección opticamecánica. Emplean éstos rayos de luz para el trayecto entre el fotograma y el centro de proyección; la parte restante del rayo, entre el centro de proyección y el modelo, está representada por un mecanismo director mecánico.
3. Aparatos de Proyección mecánica. En éstos los rayos están representados durante todo su recorrido por medio de varillas directoras u otro órgano lineal.

4.2. RESTITUCION CON RECONSTRUCCION DE LA ORIENTACION EXTERNA.

Aparatos de proyección óptica.

- a) Pertenece a los aparatos de proyección óptica objetiva el aeroprojector Multiplex, un doble proyector presentado por Zeiss en 1934, correspondiente a los aparatos de proyección de segundo orden. En el Multiplex cuelgan de una barra sustentadora 1, varios proyectores 2, en los que se han colocado diapositivas de las fotografías aéreas reducidas al formato de 4 X 4 cm. Las diapositivas están iluminadas mediante condensadores. La visión espacial proporciona

da por cada dos proyectores puede ser recogida sobre la plataforma superior de una mesilla de dibujo 5 y allí observada por un sistema de anaglifos; para esto se encuentran colocados filtros de colores complementarios en el recorrido de los rayos que emergen de los proyectores. La visión espacial proporcionada se observa mediante unos lentes cuyos cristales tienen los mismos colores que los filtros.

En medio de la plataforma ajustable para las alturas de la mesilla de dibujo 5 se encuentran como marca de medición un pequeño punto; perpendicularmente debajo de él está colocado un lápiz. Este dibujo al plano de cualquier línea del terreno, cuando se recorre ésta con la mesilla de dibujo de manera que el punto vaya coincidiendo con ella, llevándola en altura de tal manera que permanezca siempre en contacto el punto con el modelo. De esta forma se obtienen curvas de nivel permaneciendo en contacto con el modelo después de haber dejado la marca fija en la altura deseada.

Para proporcionar la orientación interna a los fotogramas, el aparato especial que se usa para la reducción de los mismos tiene una pequeña marca que coincide con el punto principal y que queda marcada en el fotograma reducido; este punto se hace coincidir con un punto negro que llevan los portaplacas de los proyectores.

Los proyectores del Multiplex no necesitan ninguna corrección para el mejor enfoque debido al alejamiento del objeto; dan una gran nitidez y por esto se obtiene una gran sensación en profundidad. Imágenes suficientemente nítidas se obtienen entre los 20 y 50 cm. de distancia del objetivo; la distancia óptima se encuentra hacia los 36 cm. Estos valores y los de la mínima base colocable que en proyectores de ángulo normal es de unos 9 cm - constituyen los límites que condicionan aquellos en que se puede variar la escala de restitución. El Multiplex sirve para la cartografía a pequeña escala; proporciona una precisión en altura aproximadamente de $\pm 1/1000$ de la altura de vuelo. Para aumentar su precisión planimétrica, se suele hacer la escala del modelo tan grande como sea posible y se disminuye la relación que en la restitución existe entre la fotografía y la escala de carta elegida.

El Multiplex, a causa de su sencillez y su fácil y observable construcción, sirve para demostrar la forma de actuar de un aparato de restitución de doble fotografía. Además de su sencillez y su forma

didáctica de operar, es también notable para la aerotriangulación, y que penden de la barra sustentadora un número grande de proyectores que pueden ser orientados juntos en orientación absoluta. Un inconveniente es el necesario oscurecimiento del lugar de trabajo y la pérdida de detalle de los fotogramas ocasionada por la reducción de tamaño de los mismos. Esta pérdida es tal que hay veces -- que una restitución por Multiplex se mejora mediante la observación con estereoscopio de copias en papel de las fotografías originales -- les, con lo que se pueden añadir detalles no observados en la restitución.

A últimas fechas se han desarrollado una serie de aparatos, que teniendo su origen en el Multiplex, ya se han mejorado notablemente. Dichos aparatos dan una precisión esencialmente más alta que el -- Multiplex.

- b) Como ejemplo de aparato con proyección óptica subjetiva puede servir el aparato de precisión alemán de primer orden, Zeiss - Stereo planigraph.

En el estereoplanígrafo, el fotograma (que puede ser un negativo o una diapositiva hasta el formato 23 X 23 cm) se proyecta sobre la marca de medida; ésta se encuentra en la intersección de ejes de un espejo colocado en suspensión cordánica. La marca de medida y la porción de fotograma son corregidas juntas de los efectos ortocóptico y pseudocóptico con un sistema de prismas conmutables y son conducidas a un doble ocular fijo, con el que son observadas de acuerdo con el principio de Porro - Koppe.

- c) Aparatos de proyección mecánica.- Un aparato especialmente propio de restitución con proyección mecánica es el Estereocartógrafo A8 de la casa Wild.

Con el Wild A8 se pueden restituir fotogramas aproximadamente verticales, con una constante de cámara entre 98 y 125 mm. La orientación de fotogramas hay que hacerla, por lo general, en la forma en que se ha visto para pares independientes. En caso necesario, también se pueden ejecutar con él aerotriangulaciones por el método de pares fotogramétricos independientes, aunque el aparato está -- concebido principalmente para la ejecución de restituciones numéricas y gráficas de pares estereoscópicos aislados.

De acuerdo con sus posibilidades de empleo, el A8 pertenece a la -

clase de aparatos de segundo orden. Su precisión, no obstante, es apenas inferior a la de aparatos de primer orden.

Aparatos con proyección opticomecánica.- Este tipo de aparatos sólo permiten la medición de pares independientes de fotogramas pero, por lo demás, es apto para la restitución gráfica y numérica de alta precisión, pudiendo quedar registradas las coordenadas del modelo en cinta perforada, en tarjeta o en cinta magnética.

4.3. APARATOS DE RESTITUCION SIN RECONSTRUCCION DE LA ORIENTACION EXTERNA.

En los aparatos convencionales de restitución con dos fotografías se reproducen los rayos proyectantes de ellos. El Estereótopo fue el primer aparato concebido por otro camino. En él los fotogramas permanecen inalterables en el plano xy. Las correcciones en posición planimétrica y en altura, obligadas por las inclinaciones de los fotogramas y correspondientes a las paralajes horizontales, así como las correcciones planimétricas necesarias para transformar las proyecciones centrales en proyecciones ortogonales, son realizadas mediante engranajes mecánicos y trasladadas a los dispositivos de registro de las situaciones planimétricas y de las paralajes horizontales. Este tipo de aparatos se distinguen, en su concepción fundamental, del estereótopo en que los dispositivos de cálculo mecánico han sido sustituidos por calculadores eléctricos analógicos. Este tipo de aparatos trabajan con soluciones aproximadas; pero es posible también construir éstos aparatos con soluciones rigurosas.

Un aparato de este tipo es el Estereotrigomat que proporciona una restitución de primer orden, con dispositivos adicionales para la obtención de ortofotos y de perfiles hipsométricos, que trabaja con un calculador de proyecciones constituido por un sistema plano de reglas, el cual primeramente convierte las coordenadas de fotograma y las constantes de la cámara de los fotogramas izquierdo y derecho, punto por punto, en las correctas correspondientes al caso normal, transformando seguidamente estos datos corregidos en coordenadas del modelo. Puede ser utilizado como un aparato restituidor con dos fotogramas para restituciones gráficas y numéricas de fotografías aéreas o terrestres y también para aerotriangulaciones por pasadas. En las restituciones numéricas las coordenadas del modelo pueden ser obtenidas escritas a máquina, en cinta perforada o en tarjeta perforada.

El dispositivo de deformación diferencial para la obtención de ortofotograma está incorporado en el propio aparato medidor; por lo tanto no es necesario un tercer fotograma.

Con el estereotrigomat pueden ser restituidas fotografías con distancias focales entre 35 y 500 mm., con un formato máximo de 24 X 24 cm.

El Topocart B es un aparato estereocartográfico para la obtención de mapas topográficos de escala media y pequeña, el cual transforma las coordenadas de fotograma en coordenadas de modelo mediante un calculador analógico mecánico plano que funciona según soluciones correctas, análogamente al estereotrigomat. La distancia focal de los fotogramas puede estar comprendida entre 50 y 215 mm., con un formato máximo de 23 X 23 cm.

5. APARATOS SENCILLOS DE RESTITUCION.

5.1. RESTITUCION DE FOTOGRAFIAS MEDIANTE APARATOS CON ESTEREOMETRO.

Al lado de los instrumentos de primero y segundo orden, que proporcionan soluciones exactas para la transformación de las coordenadas de las fotografías en coordenadas modelo y de terreno, hay una serie de aparatos sencillos que trabajan con soluciones aproximadas.

Dichos instrumentos son aparatos de tercer orden. El principal objeto de estos aparatos es elaborar la cartografía en medias y pequeñas escalas, donde no haga falta una gran precisión, así como los levantamientos rápidos previos. La mayor parte de estos aparatos necesitan como parte principal un estereoscopio de espejos para la observación de los fotogramas y un estereómetro para medir las paralajes horizontales, con los cuales está unido un dispositivo de dibujo para determinar las situaciones. Su empleo requiere que las fotografías se hayan tomado próximamente normales y que se puedan tener algunos puntos de apoyo planimétricos y altimétricos.

El estereómetro de dibujo consiste en dos plaquitas de cristal que llevan cada una, una marca de medida y que están unidas entre sí mediante una barra. Las marcas se pueden mover entre sí por medio de un tornillo micrométrico que se desplaza en dirección de la barra; la variación de sus distancias así como las variaciones de la paralaje horizontal se pueden leer con una aproximación de 0.01 mm en un tambor de tornillo. Además, una de las dos marcas puede ser girada alrededor de

la barra, para poder quitar las paralelas verticales. Entre las plaquitas con las marcas se encuentra un lápiz. Para aumentar la exactitud se pueden colocar en los oculares del estereoscopio de espejos, - oculares de antejo con aumento de 4 a 6 veces.

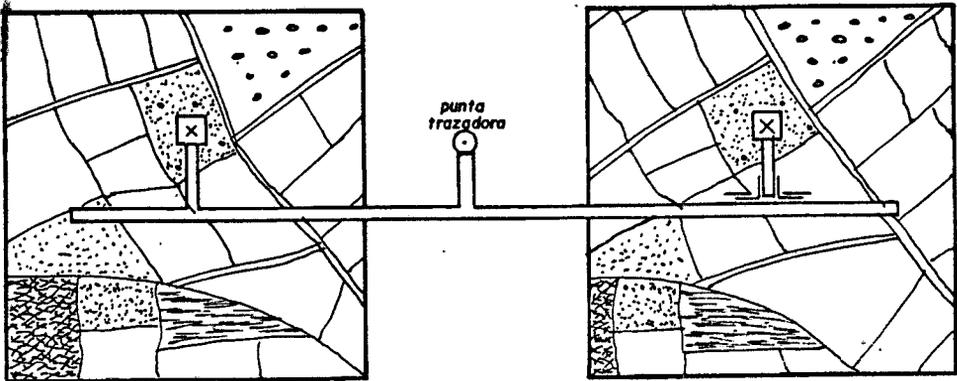


Fig. 49. Esquema del Estereómetro Dibujador.

El principio fundamental de la restitución es bastante sencillo. Se coloca debajo del estereoscopio el estereómetro trazador de manera -- que permanezca siempre paralelo a sí mismo y de tal manera que ambas marcas estén sobre el punto a medir y sus imágenes se observen fundidas en una sola marca espacial. En este momento el lápiz señala la situación planimétrica del punto considerado. La altura se calcula mediante la lectura que se hace sobre el tornillo micrométrico de las diferencias de paralelaje.

Para la restitución es necesario seguir los siguientes pasos;

- 1.- Determinación de la escala media mediante la relación entre una distancia en el terreno (s) y la correspondientes (s') en la fotografía ($E_f = s : S'$), o bien por medio de la altura de vuelo sobre el suelo (h_v) y la constante de la cámara (c) ($E_f = h_v : c$).
- 2.- Determinación del punto principal en ambas fotografías. Transferir cada punto principal a la fotografía contigua. Orientación de las fotografías según se vió anteriormente.
- 3.- Medida de la base ($b' = p_0 = H_1^m H_2^m$) en la fotografía de la derecha.

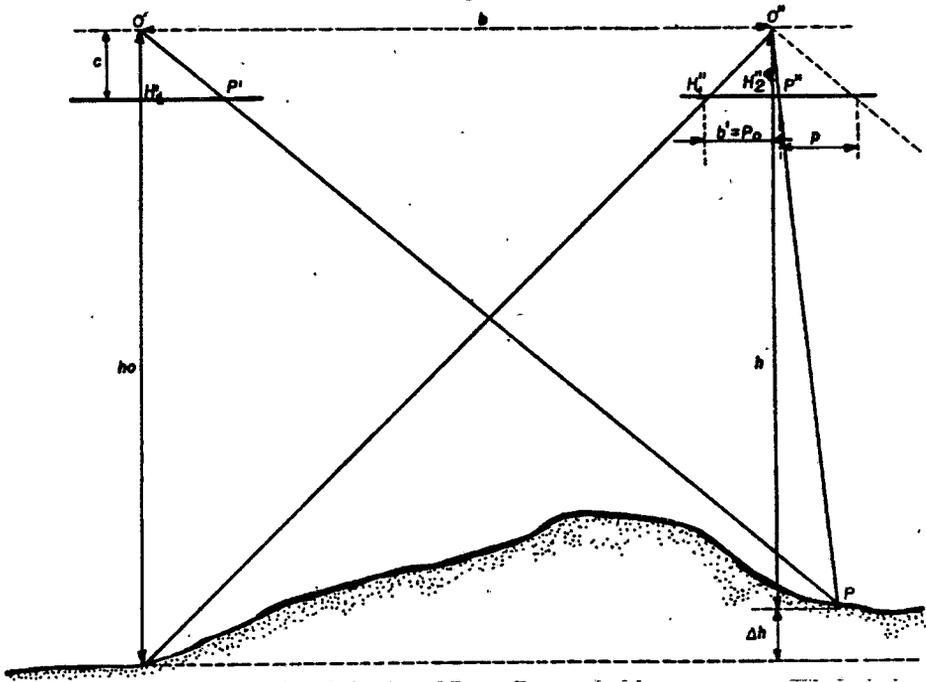


Fig. 50. Paralajes Horizontales y Alturas en el Caso Normal.

4.- Cálculo de la altura de referencia (h_0), o sea de la altura del lugar de la izquierda : $h_0 = c \text{ Ef}$.

Después de lo anterior se puede empezar la medida del modelo en planimetría y en altura. La medida planimétrica reposa como antes en el tornillo de paralaje que actúa en la fotografía de la derecha, midiendo justamente la distancia a la fotografía de la izquierda; gracias a la visión estereoscópica se obtiene una gran seguridad en la identificación de los detalles de la fotografía.

Para obtener las diferencias de altura de los puntos del modelo con respecto a h_0 , se tiene el caso normal:

$$h_0 = \frac{b \cdot c}{p_0} ; \quad h = \frac{b \cdot c}{p} ; \quad \text{o bien } p - p_0 = \Delta p$$

$$\therefore \Delta p = \frac{b'}{h_0 - h} \Delta h \quad (a)$$

$$\Delta h = k \Delta p = K ; \quad k = \frac{h_0}{b'} \quad \text{y} \quad K = - \frac{\Delta h^2}{h_0} \quad (b)$$

Con el estereómetro se pueden obtener, con relativa aproximación, -- las alturas de objetos aislados (casas, árboles, antenas, etc.), sin embargo, la restitución en la altura de la superficie del modelo entero puede adolecer de desviaciones en el caso normal presentando -- errores inaceptables por existencias de deformaciones en el modelo. -- Para evitarlas, se necesita el uso de un punto de apoyo de altura. -- Se escogen algunos de ellos como puntos auxiliares y se calcula por medio de las diferencias de altura de los otros puntos con respecto a los puntos auxiliares las diferencias de paralajes debidas a Δp -- por medio de las fórmulas (b).

5.2. ERRORES DE LA MEDIDA CON ESTEREOMETRO.

El estereómetro nos da resultados correctos solamente cuando se trata de fotografías tomadas muy cerca de la normal y se trata de terreno completamente horizontal. De otra forma se presentan errores en altura y en posición.

Los errores en altura son debidos a las deformaciones del modelo, -- que se presentan cuando no se han corregido los efectos de toma. Se pueden hacer desaparecer en primera aproximación por medio de la fórmula (b). Lo mismo ocurre con los errores de altura correspondientes a los errores de paralaje. La forma de las relaciones que sólo son -- correctas para el caso normal, o sea cuando se trata de fotografías -- próximas a la vertical, da por el error de paralaje d_p el valor (ver figura 41):

$$d_p = a + bx' + cy' + dx'y' + ex'^2.$$

En la fórmula x' e y' significan las coordenadas de fotografía en la fotografía de la izquierda.

Los errores en situación son debidos en parte a las diferencias de -- altura del terreno, en parte a la inclinación de la fotografía, así -- como a la separación de la vertical de la fotografía en el momento -- de la toma.

Las diferencias en las alturas producen desviaciones radiales en -- relación con el punto nadiral de las imágenes de los puntos, las cua -- les corresponden a los errores planimétricos radiales dados por la -- restitución en relación con las deseadas proyecciones ortogonales de -- los puntos del terreno.

Los errores en posición debidos a la inclinación de las fotografías deforman por ejemplo un rectángulo en un cuadrilátero irregular. Se pueden eliminar mediante una rectificación de la fotografía. Los errores están en las coordenadas x' e y' del fotograma y dependen de los valores que alcancen las inclinaciones longitudinal y lateral. Existe una gran cantidad de instrumentos como el estereómetro, en los cuales con mayor o menor aproximación se encuentran los errores en altura o en posición de manera total o en parte automática.

5.3. EL ESTEREO TOPO.

El estereótopo se distingue del estereopantómetro principalmente por los siguientes puntos:

1. Las marcas de medida son fijas; los fotogramas se encuentran bajo las marcas de medida y son movidas por un carro. El fotograma derecho es desplazable frente al izquierdo en dirección x e y , mediante un tornillo de paralaje.
2. Los errores de paralaje horizontal producidos por las deformaciones del modelo, son eliminados automáticamente mediante un dispositivo de cálculo que está colocado en el carro de la fotografía.
3. Los errores producidos por las diferencias de alturas y las inclinaciones de la fotografía son eliminadas mediante el calculador perspectivo y rectificador.
4. Al estereótopo se le puede dotar de un pantógrafo que puede dibujar a una escala entre 0.2 y 2.5 veces la escala de la fotografía. Con el estereótopo se pueden restituir copias en papel y positivas en película hasta el formato 23 X 23 cm. Si la distancia nadiral de las fotografías es $\leq 3.5^0$ y la relación de transporte al pantógrafo de 1:1, la aproximación obtenida en planimetría puede ser de ± 0.2 mm. en la carta. En altura, un observador experimentado puede alcanzar una aproximación de $\pm 0.5\%$ de la altura de vuelo.

El estereótopo sirve principalmente para la cartografía a pequeña y media escala. No ha sido concebido para la obtención de mapas de escala 1:5,000.

6. DETERMINACION DE LOS PUNTOS DE APOYO Y AEROTRIANGULACION.

6.1. LA IMPORTANCIA DE LOS PUNTOS DE APOYO EN FOTOGRAMETRIA.

La medición de las fotografías aéreas se basa en la existencia de —

los puntos de apoyo. Para cada unidad de restitución con un par de -
fotogramas o bien para cada fotografía aislada si se trata de resti-
tución con un solo fotograma, es preciso que se tengan por lo menos-
tres o, si se desea, cuatro puntos de apoyo. Con menor número de pun-
tos de apoyo sólo se puede actuar cuando los elementos de la orienta-
ción externa de las fotografías, en su totalidad o en parte, se ob-
tiene en la toma de la misma, y con el supuesto de que la exactitud-
que con todo ello se alcance sea suficiente para el fin propuesto.
Para la determinación de los puntos de apoyo existen dos caminos: la
medida terrestre de los puntos de apoyo o bien la determinación de -
los mismos a partir de las mismas fotografías aéreas, mediante la --
llamada aerotriangulación.

Para el primer camino se pueden usar todos los procedimientos distin-
tos que estudia la geodesia y la topografía, en especial las determi-
naciones planimétricas por radiaciones polares, en las que actualmen-
te se miden los segmentos con medidores electrónicos de distancias, -
por intersecciones trigonométricas; la determinación de alturas se -
hace por medio de nivelación, midiendo las alturas trigonométricamen-
te o por el barómetro. Para la elección del método de medida a em --
plear en cada caso, la base es la escala, ya que la exactitud conse-
guida, tanto en planimetría como en altura en la restitución fotogra-
métrica, depende de la exactitud con que se han determinado los pun-
tos de apoyo. Para el establecimiento de cartas de muy pequeña esca-
la pueden ser medidas las situaciones de los puntos de apoyo por pro-
cedimientos astronómicos.

Las medidas terrestres, sobre todo en terrenos difíciles, ocasionan-
gastos muy elevados. En la mayor parte de los casos se sustituyen me-
diante la aerotriangulación, o son reducidos por ella notablemente.-
La economía de la fotogrametría ha sido aumentada de un modo notable
por dicho procedimiento.

El proceso de aerotriangulación se divide fundamentalmente en dos --
partes:

1. La triangulación radial, que determina únicamente la posición pla-
nimétrica de los nuevos puntos, pero no su altura.
2. La más verdadera y universal aerotriangulación espacial, mediante
la cual se determinan planimetría y alturas de los nuevos puntos.

Ambos procesos suponen líneas de vuelo con más del 50% de recubri --

miento de las fotografías sueltas, con lo cual, en cada par de fotografías, existe una zona común de superposición.

6.2. TRIANGULACION RADIAL.

Fundamentos generales.- Se supone, primero, que las fotografías han sido tomadas en dirección muy próxima a la vertical. Los puntos principales (puntos centrales de las fotografías) son también, al mismo tiempo, puntos nadirales. En este caso las direcciones desde el punto principal en la fotografía hacia los puntos de la misma que se han elegido, se corresponden con gran exactitud a las direcciones -- que hacia los mismos puntos se hubiesen medido en el terreno mediante un teodolito colocado en el punto nadiral. Debido a esto se pueden dibujar en sobrepuestas a las fotografías, redes de rombos en los cuales los puntos principales de las fotografías se usan como -- centros de radiación, mientras los puntos rómbicos se escogen libremente en la zona de recubrimiento de las fotografías de manera que se encuentren tres consecutivamente en las fotografías de la línea. Para la puesta en práctica de este proceso se deben trasladar a cada fotografía los puntos principales de las dos fotografías adyacentes y se deben escoger los puntos rómbicos de tal manera que se encuentren en tres de las fotografías sucesivas y que en las tres se puedan identificar claramente. Para la traslación cuidadosa de los puntos principales es conveniente usar el efecto estereoscópico y es -- muy importante la exacta identificación de los puntos rómbicos para la precisión de la triangulación radial. Se puede, por ejemplo, llevar el esquema de direcciones de las fotografías sobre papel albanene y colocar las calcas de los rayos de tal forma que los rayos correspondientes de los puntos principales caigan unos sobre otros. La triangulación radial de una línea aislada trae consigo una sobre-determinación, ya que con una fila de dos puntos rómbicos (cada uno encima o debajo del punto radial) se resuelve el caso, mientras que la posición del punto radial y con ella la dirección de los rayos de puntos rómbicos ha de ser determinada mediante una línea de puntos rómbicos. Y evidentemente serán mas numerosas las sobre-determinaciones cuando se unen entre sí dos líneas contiguas, cuando se conduce una triangulación radial en terreno llano. En el procedimiento gráfico descrito se manifiesta sobre las calcas de rayos y sobre los pun-

tos rómbicos pequeñas figuras de error, en cuyos centros de gravedad quedan colocados definitivamente dichos puntos rómbicos.

Elección de los puntos radiales.- La condición que se ha supuesto de que la fotografía fuese exactamente nadiral, no se cumple en la práctica. A consecuencia de esto, cuando se escoge como punto radial el

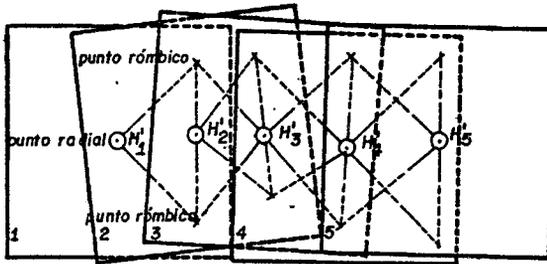


Fig. 51. Principio Básico de la Triangulación Radial.

punto principal de la fotografía, se producen errores de dirección, cuya magnitud depende de las inclinaciones de la fotografía y del relieve del terreno. Para el cálculo de la magnitud de los errores, se supone el punto H como el de partida de la dirección de la toma en el terreno las direcciones hacia el cenit Z , hacia el centro O de la fotografía y hacia el punto P del terreno situado en el ángulo vertical colocadas en la misma esfera. El ángulo horizontal que forma P con el plano OZH es W' entre la dirección de toma y la del punto P' de la fotografía.

Cerca del punto principal del fotograma vienen en cuestión, como puntos radiales, el punto nadiral y el punto focal. En el nadiral de la fotografía no tienen influencia las diferencias de altura; en el punto focal de la misma no la tienen las inclinaciones de la fotografía. Tanto el punto nadiral como el focal deben ser conocidos en su correcta posición. Se conocen de una manera aproximada cuando la fotografía va acompañada por la imagen de un nivel de burbujas. Mas aproximado que por el uso del nivel de burbuja, se pueden conocer el punto nadiral y el focal con ayuda de los procedimientos que ya se han visto, o bien incluso se pueden obtener por medio de los datos de orientación de los puntos de apoyo que se tiene para el principio y para el fin de una línea de vuelo y una vez determinados se calcu-

lan sus diferencias de fotografía por medida de paralajes.

6.3. TRIANGULACION AEROSPACIAL.

Los procesos de triangulación.- En tanto que en la triangulación radial, partiendo de las radiaciones de los fotogramas, se construyen cadenas y redes de triángulos situados en un plano, en la aerotriangulación se consigue una composición completa espacial deducida de los fotogramas de una línea de vuelo o de un bloque formado por varias líneas. La triangulación espacial puede ser analítica o puede ser hecha en los aparatos de restitución de un par de fotografías.- La diferencia real entre los dos procesos consiste en que los datos del resultado son en el primer caso coordenadas de fotografía determinadas con un castereocomparador y en el segundo caso son coordenadas de modelo determinadas con un aparato de restitución con dos fotogramas. La elaboración por el cálculo final de los datos de medida puede ser llevada en los dos casos de forma parecida; esto se refiere a la compensación de las líneas o de los bloques de la triangulación.

Para posteriores mediciones de las triangulaciones y compensaciones por líneas será entendido que la triangulación ha sido realizada en un aparato restituidor de pares de fotogramas y por el método de conexión de fotogramas sucesivos. Los errores que en este caso se presentan son debidos a los errores derivados de la orientación del modelo de partida que se suman con los errores accidentales y con los sistemáticos al hacer la orientación de los modelos sucesivos.

Compensación de bloques.- La precisión de la aerotriangulación resulta acrecentada y el número de los necesarios puntos de apoyo resulta disminuido cuando las líneas individuales de una conexión de fotogramas se incluyen en un bloque, que en seguida se somete a una compensación de bloques, que siempre presuponen la utilización de una computadora automática mas o menos grande, se pueden clasificar según sean las unidades que se introducen en la compensación de bloque: los fotogramas individualmente, los modelos individualmente, grupos de modelos (llamados secciones) o las pasadas individuales.

7. FOTOGRAMETRIA ANALITICA.

7.1. CONTENIDO, PRESENTACION INSTRUMENTAL Y PRACTICA GENERAL.

Fundamentalmente, todas las restituciones de fotogramas sea con una sola fotografía o con dos, así como la aerotriangulación, además de ser hechas con los aparatos de restitución ya mencionados, pueden -- ser efectuadas en forma de cálculo. Los aparatos comunes de restitución sirven precisamente para determinar de forma óptica y mecánica, sin cálculo, las expresiones de transformación para convertir las -- coordenadas de la fotografía en coordenadas terrestres. Desde este -- punto de vista con aparatos de cálculo analógico. Su invención permi tió a la fotografía el desarrollo del método de medida mas barato, -- al igual que las fórmulas para la transformación por el cálculo de -- las coordenadas de fotografía en coordenadas del terreno resultaban -- para su solución en máquinas de cálculo corrientes bastante complica das. Posteriormente, no obstante, fueron dispuestos programas de cál culo automático con gran velocidad de cálculo, y ahora se presenta -- para muchos casos el método analítico, conveniente y económico, por -- ejemplo, para aerotriangulaciones y para precisas restituciones por -- puntos, como en la fotogrametría catastral.

Son necesarios para los procedimientos analíticos:

- a).- Comparador de una fotografía o estereocomparador de la más alta precisión, que dé las coordenadas del aparato con una exactitud de -- por lo menos $\frac{1}{400}$ y que automáticamente las escriba claramente o las re gistre en cintas o tarjetas perforadas. Los estereocomparadores de -- precisión toman su idea fundamental del estereocomparador de Pulfrich, aunque alcanzan una exactitud mucho mayor.
- b).- Aparatos para el marcaje de puntos y eventualmente también para su transferencia destinados a la señalización de puntos idénticos en las zonas de recubrimientos longitudinal y transversal en las trian-- gulaciones de líneas y de bloques. Con el empleo de estos aparatos, -- para medir las coordenadas de fotograma, es suficiente un comparador de un solo fotograma.
- c).- Programas de dirección de cálculo automático, con los que las -- cintas o tarjetas peforadas obtenidas con los comparadores a), por -- medio de los correspondientes cálculos de transformación, se ultiman automáticamente, gracias a las disposiciones correspondientes propor -- cionadas por los programas de cálculo.
- d).- Catógrafo automático, en el cual automáticamente mediante un --

ordinatógrafo mandado por cinta o tarjeta perforada, pueden incluso ser establecidas cartas.

Con el proceso analítico, el tiempo empleado para la medida de un -- punto aislado, o sea su obtención y registro en el comparador, es -- más largo que el que se necesita en un aparato analógico, por otra -- parte, los fotogramas no necesitan una orientación especial para ser medidos en el comparador. Las ventajas de la fotogrametría analítica frente a los métodos analógicos consisten en la posibilidad de poder aplicar correcciones de toda clase a las coordenadas de fotograma, -- como por ejemplo las de distorsión o las de defectos sistemáticos de la película; en la universalidad que permite restituir con el mismo -- aparato fotogramas de cualesquiera distancias focales y con cualquier disposición de los fotogramas; en las pocas condiciones que se han -- de exigir al personal encargado de las restituciones, etc.

Los métodos analíticos para efectuar aerotriangulaciones se van impo -- niendo poco a poco. En cambio, para la restitución de modelos se em -- plea poco hasta ahora en la práctica la fotogrametría analítica.

7.2. APLICACION DE LAS FORMULAS DE CALCULO PARA LA AEROTRIANGULACION ANA -- LITICA.

Ya se han descrito anteriormente las compensaciones semianalíticas -- de líneas y bloques, ahora sólo se va a mencionar el planteamiento -- de fórmulas de cálculo para una triangulación de líneas por el proce -- dimiento de la conexión sucesiva de fotogramas como ejemplo del méto -- do analítico, para ello hay varios caminos. Las tres necesarias eta -- pes, o sea la orientación relativa de cada modelo, la transmisión de escala en las ocasionales sucesiones de modelos, junto con el cálculo de las coordenadas de pasada (línea) y la acomodación de a los -- puntos terrestres de apoyo y, con ésta, la orientación absoluta, se -- pueden realizar por separado, la primera y segunda conjuntamente o -- las tres a la vez. Es evidente que la realización conjunta de las -- tres etapas es teóricamente la más nítida pero también la más compli -- cada de ellas.

7.3. METODO DE G.H. SCHUT.

G.H. Schut da una detallada discusión de las posibilidades anterior -- mente mencionadas. Al mismo tiempo explica las variantes que cabe --

imaginar para el empleo de la orientación mutua. Para lo cual y en -
tre otros medios, pueden escogerse las condiciones en que los corres-
pondientes rayos de la imagen tienen que hallarse en un mismo plano-
(coplanaridad) o que después de la mutua orientación no presentan --
ninguna otra paralaje vertical. Schut propone en tratamiento separa-
do de las tres mencionadas secciones, y para la orientación mutua --
utiliza la condición de coplanaridad. Dicho método presupone que las
fotografías han sido tomadas directamente en forma aproximadamente -
vertical o que previamente han sido transformadas en fotos enfocadas
en forma aproximadamente vertical.

8. APLICACIONES.

8.1. FOTOGRAFÍAS AISLADAS Y ORTOFOTOGRAFÍAS.

Aplicaciones de fotogramas aislados, ampliaciones de fotografías aé-
reas y rectificaciones.- Las fotografías aéreas nadirales, están rec-
tificadas o medidas por otros procedimientos fotogramétricos, propor-
cionan, a causa del gran número de detalles que contienen y de la --
realidad del terreno representado bajo el punto de toma, muchas posi-
bilidades de empleo. El proyectista las requiere para tener una vis-
ta de conjunto del terreno; cuando es necesario visualizar una super-
ficie mayor que el de una fotografía, se unen entre sí varias de -
ellas formando mosaicos, despreciando las discrepancias mayores o me-
nores que de hecho se presentan en los bordes de las fotografías.

El topógrafo tiene en la fotografía aérea un valiosísimo auxiliar, -
ya que mediante ellas puede, inclusive, llegar a determinar aquellos
lugares donde se hayan producido variaciones con respecto a la carta
y puede, de esta forma, acelerar la información local.

También se emplean fotografías aéreas no rectificadas para muchos ca-
sos de simple finalidad de interpretación. Si dichas fotografías es-
tán tomadas con más del 50% de recubrimiento, la interpretación de -
los detalles que la fotografía por medio de la observación estereos-
cópica se ve aumentada y mejorada en todos aspectos, máxime, en es-
tos casos de interpretación, si son fotografías en color.

Las fotografías aéreas que mediante un rectificador se rectifican a-
una escala determinada, pueden colocarse en conjunto mediante un fo-
tomontaje formando lo que se denomina un fotoplano. Al fotoplano se-
le da el formato que le corresponde según una carta de escala pareci

da.

El montaje se hace sobre un papel de fibra fuerte o una superficie de escayola, etc., donde han sido colocados los puntos de apoyo, haciendo coincidir exactamente con éstos los de la fotografía y cerciorándose con cuidado de la perfecta conexión de las fotografías. Se les añaden los vértices de las cuadrículas y los nombres de los cerros, pueblos, etc., y llevan los bordes con señales y anotaciones lo mismo que una carta topográfica normal. Los fotomontajes acabados se fotografían y se reproducen mediante copias por contacto o por medio de la prensa. La exactitud de un fotoplano alcanza un valor medio de ± 1 mm en planimetría, siendo admitidos límites parecidos para las alturas.

Cuando son necesarios mapas con urgencia, los planos de fotografías aéreas acopladas (mosaicos semirectificados) o los fotogramas rectificadas constituyen un repertorio estupendo de mapas. En los planeamientos locales o regionales, en colonización, en trabajos de ingeniería civil, etc., constituyen un complemento intuitivo y muy deseable de los mapas existentes. Algunas ocasiones, como complemento de los mapas, se realizan planos completos con fotografías, por ejemplo en escalas 1:5,000 ó 1:25,000. De varias formas estos planos compuestos de fotografías, mediante la agregación de representaciones gráficas y de anotaciones o inscripciones relativas a los accidentes topográficos más importantes, se transforman en los llamados mapas de fotografías aéreas.

Para completar el terreno llano en un fotoplano puede servir la unión con una descripción planimétrica en una carta topográfica o en un plano, o puede ser útil una descripción en un plano ya hecho. Para eso, se vierte sobre una carta de dibujo o una hoja de albanene el contenido de la fotografía que se ha rectificadas. Este procedimiento tiene, frente a la medición por pares fotográficos, la ventaja de la gran facilidad, rapidez y la posibilidad de una amplia descentralización del trabajo; tiene en contra la pequeña universalidad y aproximación, ya que el procedimiento de rectificación en el caso más favorable se acerca a la aproximación gráfica de una carta, aunque nunca la alcanza por completo. A pesar de esto, para la ejecución de mapas en escalas media y pequeña normalmente es suficiente la simple inscripción de las alturas sobre las fotografías rectificadas

das, siempre que los desniveles sean regularmente pequeños.

La obtención de planos de escala grande a partir de fotografías rectificadas ha perdido su interés desde la aparición de la ortofotografía. Si se desea utilizar aquel procedimiento es necesario conocer las alturas de los objetos a representar en el plano, así como las reducciones de posición planimétrica correspondientes, si es que se quiere alcanzar, por lo menos aproximadamente, la precisión gráfica del mapa. Para ello existen dos métodos distintos:

a).- La superficie del terreno, previamente, sufre la transformación en facetas. El terreno se considera sustituido por un poliedro. Las altitudes de los puntos esquinas del poliedro se determinan en el terreno barométricamente, ya que en las inmediaciones de los ángulos de cada faceta son conocidas. Entonces cada faceta es como una totalidad, pero cada faceta en sí, dentro de la fotografía rectificada, se proyecta ortogonalmente sobre un plano mediante un aparato adecuado, y en éste se dibuja posteriormente.

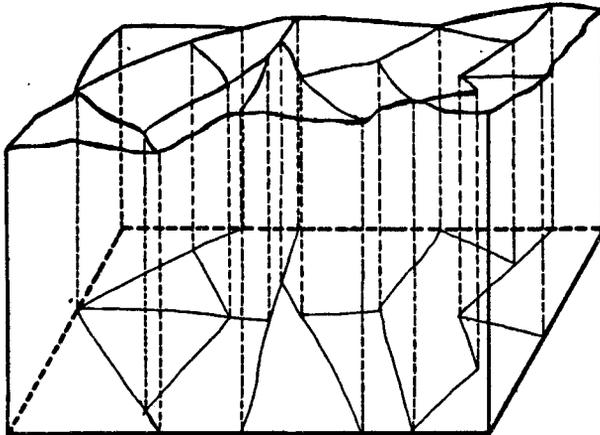


Fig. 52 Método de las Facetas.

b).- La eliminación por puntos de los errores planimétricos mediante aparatos especiales de reducción. Con ellos se pueden conocer las altitudes de cada uno de los puntos reducidos.

El procedimiento de rectificación en unión con la reducción de los -

errores de situación correspondientes a las alturas se emplea muchísimo en la actualidad cuando se trata de terreno plano y se dispone de una representación topográfica de todo el terreno y que no se necesita una precisión muy alta. Para averiguar las necesarias altitudes para la reducción de posición es suficiente el estereotopo, sobre todo cuando se utilizan cámaras con gran distancia focal.

El empleo de ortofotografías.- Los ortofotogramas, o sea los montajes de ortofotografías elaborados cartográficamente sobre una hoja soporte, con sus representaciones de trazos y signos pueden llegar a sustituir en algunos casos a los mapas tradicionales. El ortofotograma de la planimetría en la forma de una fotografía de tonos medios completada mediante dibujos de trazos y signos. Los ortofotomapas, cuya ejecución se debe limitar a escalas medias y grandes, apenas presentan una precisión inferior a la de los mapas hasta ahora tradicionales, pero son de obtención considerablemente más rápida que éstos. En los ortofotogramas se pueden incorporar las líneas de nivel obtenidas a partir de las hojas de los perfiles hipsométricos.

8.2. LA RESTITUCION CON DOBLE FOTOGRAFIA EN LEVANTAMIENTO CATASTRAL.

El campo de empleo de la estereofotogrametría en la medición para el catastro y para fotografías a gran escala para finalidades análogas depende muy especialmente de la precisión que para estos trabajos se requiere. Es preciso establecer que la fotogrametría no debe usarse cuando las extensiones a levantar sean de una extensión muy pequeña. Como medida de precisión para juzgar del rendimiento de la fotogrametría sirve en primera línea el conocimiento de los errores a esperarse en las distancias; aquéllos indican la máxima aproximación a esperar en los alrededores.

El curso de los trabajos y el procedimiento para los levantamientos fotogramétricos catastrales son diferentes en cada país. En el caso especial de México, tenemos un caso que puede servir como ejemplo de aplicación de todos estos métodos hasta ahora mencionados en el presente trabajo, dicho ejemplo es el Plan Querétaro. A continuación se expone, sin entrar mucho en detalles, la esencia del trabajo desarrollado por la DETENAL (en el aspecto técnico) en el Estado de Querétaro.

Desde el punto de vista técnico, en el Plan Querétaro se empleó una de las mejores alternativas que actualmente se emplean para el levantamiento de grandes extensiones de terreno (alrededor de 1'200000 -- Has), con un grado de precisión bastante aceptable.

La metodología empleada en el Plan presenta grandes ventajas sobre los métodos topográficos que se han usado hasta la fecha para trabajos de levantamiento de predios rurales. Entre estas ventajas se pueden consignar las siguientes: los levantamientos son más rápidos que los tradicionales, lo cual nos repercute hasta en la economía del trabajo realizado; los errores que se cometan en campo quedan aislados y no llegan a afectar al total del levantamiento, por lo tanto es -- más fácil corregirlos; la presentación final del trabajo, en el caso de fotomapas integrados, es de gran ayuda para visualizar la situación real (fotográfica) del terreno; se usan procedimientos muy modernos, como computación, para calcular la totalidad de los predios, zonas de sobreposición de información, derechos de vía y coordenadas geográficas de cada uno de los vértices; se trabaja por zonas separadas y tendría necesidad de unificar criterios como sucedería en el caso de usar topógrafos, etc.

Características de la Carta Predial.- El producto que se obtuvo para el Plan Querétaro, es una carta base que contiene los linderos de todas las propiedades rústicas que sean de 4 o mas has., así como sus coordenadas geográficas y demás características naturales y artificiales del terreno. Dicha carta reúne las siguientes características:

1) Está vinculada a la red geodésica nacional.

2) Tiene precisión satisfactoria.

3) Puede actualizarse con bastante facilidad.

4) Tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- | | |
|------------------------------|--|
| a) Escala: | 1:20,000. |
| b) Tamaño: | 870 X 692 mm. |
| c) Area cubierta: | 243 Km ² (24,300 has.) |
| d) Distancia geográfica: | 0 ^o 10' y 0 ^o 07' 30". |
| e) Proyección: | U.T.M. |
| f) Retícula: | cada 2000 m. |
| g) Información planimétrica: | Linderos de predios. |

Etapas del trabajo para levantamiento catastral.- Los pasos técnicos

ESTADO DE QUERETARO

				G-27A	G-27B	G-28A	G-28B	G-29A	G-29B		
				G-27C	G-27D	G-28C	G-28D	G-29C	G-29D		
				G-37A	G-37B	G-38A	G-38B	G-39A	G-39B	D-31A	D-31B
				G-37C	G-37D	G-38C	G-38D	G-39C	G-39D	D-31C	D-31D
		G-46A	G-46B	G-47A	G-47B	G-48A	G-48B	G-49A	G-49B	D-41A	D-41B
		G-46C	G-46D	G-47C	G-47D	G-48C	G-48D	G-49C	G-49D	D-41C	D-41D
G-55A	G-55B	G-56A	G-56B	G-57A	G-57B	G-58A	G-58B				
G-55C	G-55D	G-56C	G-56D	G-57C	G-57D	G-58C	G-58D				
G-65A	G-65B	G-66A	G-66B	G-67A	G-67B	G-68A	G-68B				
G-65C	G-65D	G-66C	G-66D	G-67C	G-67D	G-68C	G-68D				
G-75A	G-75B	G-76A	G-76B	G-77A	G-77B						
G-78C	G-78D	G-76C	G-76D	G-77C	G-77D						
		G-86A	G-86B	G-87A	G-87B						
		G-86C	G-86D	G-87C	G-87D						

se siguieron para llevar a cabo el trabajo catastral son los siguientes:

- I. Campo.
- II. Revisión.
- III. Gabinete.

A continuación se hace una breve exposición de cada una de estas etapas mencionadas.

I. Campo. - En esta etapa se efectuaron todas las actividades tendientes a recabar la información de campo. Estas actividades abarcan desde la selección de zona hasta la recopilación en campo propiamente dicha.

Selección de la zona. - Para la mayor parte del Estado, DETENAL cuenta con cartas topográficas escala 1:50,000 y en la Zona Noroeste, -- donde no hay cartografía DETENAL, se utilizó la del Instituto Cartográfico Militar, escala 1:100,000.

También se contó con el 100% de la superficie del Estado en fotografías aéreas, las cuales corresponden a las zonas de vuelo 12A, 12B, 13A, 13B y 11A.

Compilación y preparación del material. - Se trata de hacer más ágil y eficiente la utilización y el manejo del material que se emplea, -- tanto en los trabajos de campo como en los de gabinete.

Equipo necesario:

- Mesa luz.
- Guillotina.
- Lupa.
- Estereoscopio de bolsillo.
- Estereoscopio de espejos.

Material:

- Fotografías aéreas de la zona de trabajo. escala 1:25,000.
- Mosaico fotográfico de la zona.
- Índice de vuelo.
- Cartas topográficas (escalas 1:50,000 1:100,000 y 1:400,000).
- Cartas de avances DETENAL.

Herramientas:

- Escuadras.
- Regla metálica de 1 m.

- Lápices de colores.
- Goma, lápices, pluma, etc.

Procedimiento:

- 1o. Se delimita la zona de trabajo sobre las cartas de avances DETENAL.
- 2o. Se hace un listado de las claves de las cartas escala 1:50,000- que cubren la zona.
- 3o. Se anotan las zonas de vuelo que cubren la zona por trabajar.
- 4o. Delimitar con color rojo, sobre las cartas topográficas la zona a trabajar.
- 5o. Por medio de los detalles comunes, se delimita con color rojo - la zona a trabajar sobre el mosaico fotográfico, de acuerdo a - la delimitación hecha sobre las cartas topográficas.
- 6o. Se anota el número de la línea que está inmediatamente al norte del límite superior marcado en el mosaico.
- 7o. Hacer un listado de las fotos que se requieren para cubrir la - zona a trabajar, procurando anotar tres fotos mas fuera de ella.
- 8o. Cada carta topográfica DETENAL escala 1:50,000 se divide en cuatro partes por medio de rayas de color rojo, quedando cuadrángu los de 10' de longitud por 7' 30" de latitud.

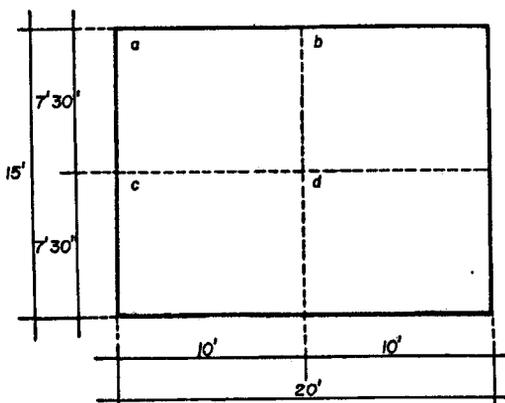


Fig. 53. Carta Detenal.

- 9o. A cada cuadrante se le asigna una letra minúscula, de la a a la d, de izquierda a derecha y de arriba a abajo. De esta manera, la clave de cada Carta Predial se forma con la - clave de la carta topográfica seguida de la letra minúscula co -

reapondiente, por ejemplo:

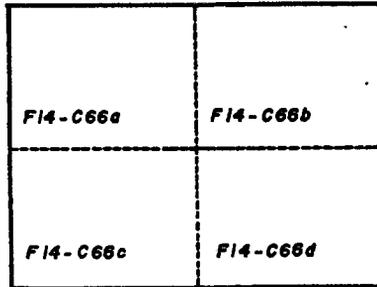


Fig. 54. Carta Topográfica F14C66.

- 10o. Cuando se tienen las fotografías, se marca sobre las cartas topográficas el centro de las líneas de vuelo, esto se hace por medio de la interpretación de detalles, se anota sobre la línea de vuelo y de la numeración de las fotografías.
 - 11o. Para cada uno de los fotomapas se obtiene la relación de fotografías, anotando el número de zona, número de línea y de foto, que son comunes a los fotomapas adyacentes.
- Recopilación de Campo.- A través de la recopilación de campo se trata de obtener, para cada uno de los predios rurales contenidos en la zona de trabajo, su localización y delimitación sobre las fotografías aéreas; así como obtener un registro que contenga el área, el nombre y localización del propietario, régimen de tenencia, documentación legal, actividad principal y datos físicos concernientes al predio, esto es lo que se denominará, en lo sucesivo, como "Cédula de Ocupante de Predio".
- A) Material:
- 1) Carta topográfica de la zona de trabajo, preferentemente escala 1:50,000 de DETENAL.
 - 2) Un juego de fotografías aéreas de la zona, de preferencia escala 1:25,000.
 - 3) Un block de cédulas de ocupante de predio.
 - 4) Agujes de chaquira.
 - 5) Juego de plumones punto extrafino en colores azul, verde, rojo y negro.

6) Libreta de campo para anotaciones y croquis.

7) Lápices, goma sacapuntas, escuadras, etc.

B) Equipo:

1) Tabla clip o posicionadora.

2) Morral de lona.

3) Cinta métrica de lienzo de 30 m.

4) Estereoscopio de bolsillo de 2 ó 4 aumentos.

5) Brújula tipo Brunton.

6) Lupa de bolsillo de 6 u 8 aumentos.

C) Procedimiento para efectuar el trabajo de campo:

Antes de exponer el procedimiento para realizar el trabajo de campo. Se hará una exposición de la preparación de las fotografías - para cada carta catastral.

Primeramente, se tiende la línea más al norte, enseguida se prepara un mosaico fotográfico, en el cual han de intervenir todas las fotografías del sector por trabajar y, con la ayuda de la carta topográfica que le corresponde, se delimita por detalles comunes a ambas con un color café.

Luego, cuando ya se conocen los límites de la carta en las fotografías, se procede a retirar del mosaico fotográfico todas las fotografías de numeración par, dejando únicamente las de numeración non, esto se ha de hacer línea a línea.

Para armar el mosaico se siguen los siguientes pasos:

1) Se tiende la línea más al norte del sector por trabajar.

2) Con una sobreposición del 60%, las fotografías se colocan una sobre otra; se hará lo posible de que la numeración sea visible, esto es que la esquina donde tiene el margen con los datos de rollo, número de línea, número de fotografía y zona de vuelo nos indique el sentido de la línea de vuelo (en algunas ocasiones no ocurre así), en caso de que queden ocultos de todas maneras se procurará que los números sean visibles. Esto se hace para cada una de las líneas.

3) En la sobreposición transversal, que es del 35%, la primera línea que se tiende será la más al norte y la que le sigue será sobre ella, que a su vez tendrá encima la parte que le corresponde de la línea que le sigue hacia el sur, y así sucesivamente hasta cubrir todas las líneas del sector a trabajar.

Cuando se han retirado todas las fotografías pares del mosai -
co, se tiene un área útil del 60% en el sentido transversal.

- 4) Como se mencionó anteriormente, se tiende la línea más al norte de manera que la numeración sea visible; enseguida se sobreponen los detalles y se delimita el área útil de cada fotografía con un color anaranjado. A todas las áreas que queden ocultas se les anotará la palabra "NO", que querrá decir no se hagan trazos, ni piquetes en esta zona. Como una ayuda se debe anotar en todas las zonas no útiles de las fotografías el norte de las mismas.
- 5) Se procede a cortar la tira marginal de las fotografías que no tienen detalles, así como las esquinas donde aparecen las marcas fiduciales de la cámara, ya que en éste caso no serán de utilidad. El objeto de este corte es con el fin de poder ensemblar perfectamente los detalles y así delimitar con exactitud las zonas útiles y no útiles de las fotografías.

Una vez que se ha hecho esto en la primera línea, se procede a hacerlo en todas las líneas que contiene la carta catastral.

- 6) El siguiente paso consiste en encontrar las zonas útiles en la zona de sobreposición transversal, y esto se realiza sobreponiendo la línea sur sobre la norte, anulando la parte oculta con la anotación "NO". También se ha de hacer fotografía por fotografía, así se tendrá una línea que nos indique cuál es el límite exacto de las zonas útiles, esta línea puede ser curva, que aunque deba ser recta, se debe a la deformación de las fotografías, que proviene de la deriva del vuelo, del cabeceo y banquero, situaciones que provocan cambios de escala.

El procedimiento para efectuar el trabajo de campo evolucionó a medida que se encontraron situaciones diferentes, de acuerdo a cada región trabajada. No obstante, en el aspecto técnico se han seguido ciertos lineamientos que a continuación se describen.

- 1.- Se analiza la zona por trabajar y se elige un poblado o ran-chería que servirá como base de operaciones.
- 2.- Trasladarse al lugar elegido y presentarse con la autoridad civil del lugar, a quien se le explicará en qué consiste el trabajo, solicitando su cooperación con el fin de llevar a cabo el trabajo de una manera mas eficiente.

- 3.- El identificador deberá entrevistar a algún ocupante de predio a quien informará sobre cuál es su cometido, a quién representa, cuál y cómo es su trabajo, qué requiere y qué fin tiene la información que se solicita, etc.
- 4.- Pedirle que notifique a sus vecinos sobre el trabajo que se está realizando y que se pasará a visitarlos en fecha próxima.
- 5.- Situarse en un vértice del predio.
- 6.- Identificarlo en la fotografía, con ayuda del estereoscopio de bolsillo; ubicándolo con una aguja delgada en el punto preciso en la fotografía non, donde corresponda en el terreno, relacionando estos con los rasgos en las fotografías y ubicar en ésta el vértice en el momento de estar completamente seguro de que la ubicación es exacta.

Se presentan casos en que la identificación de vértices no es sencilla, debido a algunos cambios que se hayan hecho en el terreno y no existan en la fotografía o bien, cuando el vértice se encuentra en zonas donde no hay buenos rasgos para identificarlo (en medio de parcelas con cultivos, en zonas de monte con pocas referencias, etc.), en estos casos se hace un croquis al reverso de la fotografía, refiriendo el vértice con ángulos y distancias a rasgos artificiales o naturales que se tengan tanto en el terreno como en las fotografías.
Cuando por alguna equivocación se haya perforado un punto, al reverso de la fotografía se circundará éste, anotando la palabra "NULO" para evitar confusiones posteriores.
- 7.- Se recorrerán todos los linderos y en cada quiebre del mismo, detenerse para identificarlo y picarlo sobre la fotografía. Cuando el lindero del predio siga una línea curva, de acuerdo a rasgos naturales (arroyos, macizos, rocosos, etc.) se debe tener cuidado de mantener lo más fiel posible la representación de este lindero.

Cuando el ocupante del predio no conoce con exactitud la ubicación de algún lindero, éste se marca con línea discontinua. En los casos en que existen caminos de acceso, que colindan con el predio, la ubicación de los vértices puede quedar al centro del camino o respetar el derecho de vía, de acuerdo a la información que proporcione el ocupante del predio en cues

tión.

- 8.- Cerrar el recorrido hasta llegar al punto de partida, y a medida que se vayan localizando vértices, ir uniéndolos por medio de líneas de color rojo, teniendo precaución de suspender la línea poco antes de llegar al vetice, con el fin de no obg taculizar la observación de la perforación.
- 9.- Cuando se vayan recorriendo los linderos, preguntar por el -- ocupante de los terrenos colindantes y, si es preciso, hacer un croquis con éstos datos.
- 10.- Al terminar el recorrido del predio, solicitar los documentos legales del mismo y llenar la cédula correspondiente.
- 11.- Se asigna el mismo número al predio localizado y a la cédula-- recabada, para evitar una posible confusión posterior.
- 12.- Cuando existen zonas de traslape de información de predios, - debe asiurarse esta área con color verde; en la zona asiura da se anota un quebrado, en el cual el numerador será el sub-- índice del número de cédula del predio que reclama esa área y el denominador será el subíndice del número de cédula del pre dio que ocupa esa área.

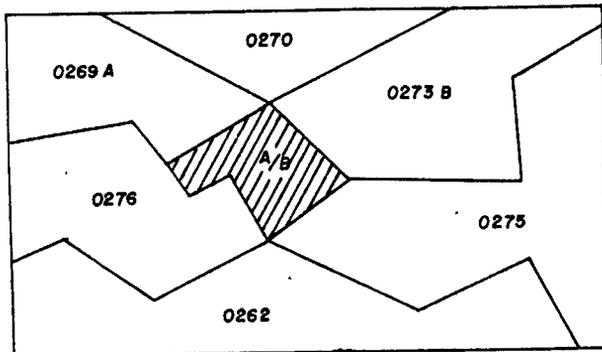


Fig. 55. Traslape de Información.

Existen casos en que dos ocupantes de predio usufructúen la tierra y los dos la reclamen; este caso se presenta solamente en tierras de - agostadero.

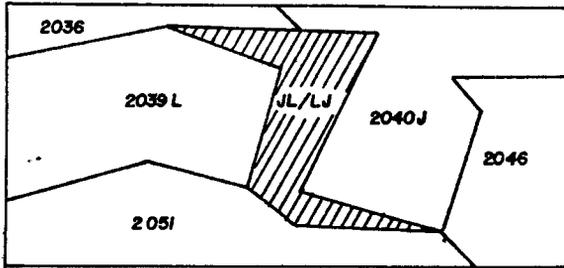


Fig. 56. Caso en Tierras de Agostadero.

Se da el caso en que dos o más reclamen una zona, pero que ninguno la usa por motivos particulares.

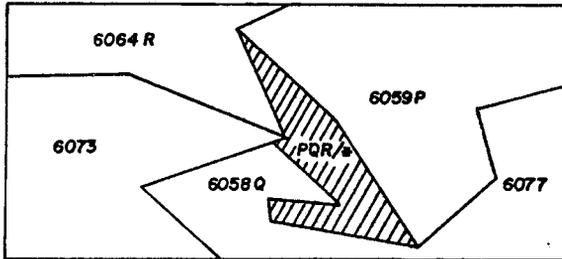


Fig. 57. Reclamantes que no usan la Zona.

Existen zonas, las cuales son reclamadas por varios vecinos y solamente uno es el que las posee.

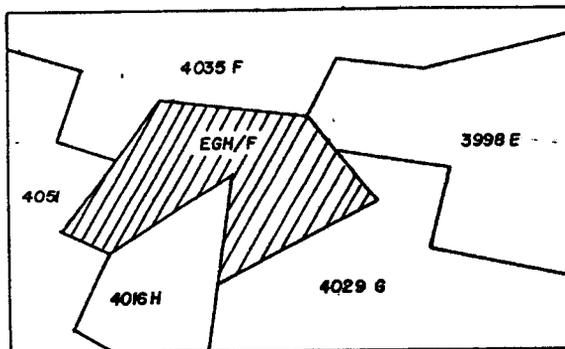


Fig. 58. Varios Reclamante y Un Solo Poseedor.

También existe el siguiente caso, en el cual alguna superficie de terreno no la reclama nadie y tal vez algún vecino la usa, en este caso se asciura con color azul.

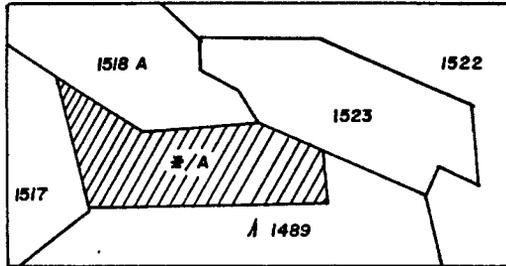


Fig. 59. Superficie no Reclamada.

El levantamiento ha de abarcar todos los ejidos existentes en el Estado (incluyendo, ampliaciones, fracciones, permutas, etc.) y - aquellos que estén dentro de los radios de afectación que sobrepasen el límite del Estado; así como todas las pequeñas propiedades rurales aisladas, independientemente de su tamaño.

De aquellas poblaciones consideradas como de población concentrada, se ubica el área de la misma por exclusión al obtener las áreas circundantes y en la cédula correspondiente se indica el número de predio, el nombre y puesto de la máxima autoridad.

En el caso de agrupaciones de pequeñas propiedades que se consideran como población dispersa, se ubican en las fotografías únicamente aquellos predios que tienen una superficie mayor de cuatro hectáreas, se llena la cédula, pero su representación en las fotografías se hace por agrupación de varios predios que tengan las mismas condiciones, indicando de que número a que número de predio se tiene en dicha área.

Es de suma importancia lo referente a la Cédula de Ocupante de -- Predio, a continuación se hará una descripción de la misma.

La cédula de ocupante de predio consta de seis bloques de información:

- a) Encabezado.
- b) Datos del ocupante de predio.
- c) Régimen de tenencia.
- d) Documentación adicional.

DETENAL

CEDULA DE OCUPANTE DE PREDIO

Clave definitiva: _____ Fotomapa _____ NP de Predio _____

DATOS DEL PROPIETARIO

Nombre: _____

APELLIDO PATERNO
APELLIDO MATERNO
NOMBRE (S)

R.F.C. _____ Nacionalidad: Mexicana otra: _____

Domicilio para Notificaciones: _____

CALLE
NUMERO
LOCALIDAD
ESTADO

Teléfono: _____

Asociación: Compeasa Agrícola Ganadera otra: _____

Nombre de la Asociación: _____

Observaciones: _____

REGIMEN DE TENENCIA

Nombre del Predio: _____

EJIDAL PARTICULAR FRACCIONAMIENTO COLONIA COMUNIDAD TERRENOS NACIONALES TERRENO

Colectivo Parcelario

N.º de Colonias _____

N.º de Comunas _____

Federal Estatal Municipal P.º. Priv.

Concesión _____

N.º de Ejidatarios _____ N.º de Nacionales _____

Definitiva Provisional Reconocida Poseedor Con Título No Reg. Si Reg. Certificada

NP _____
 Fecha de Exp. _____
 Área: _____
 GANADERA AGRICOLA

Observaciones: _____

DOCUMENTACION ADICIONAL

Manifestado no si En que lugar _____

En que dependencia: R.P. de la P. D.G.C.E.
 R.A.N. otra: _____

REGISTRO: Lugar _____ TITULO: Número _____ Lote _____
 Libro _____ Vol _____ Estado _____
 Folio _____ N.º de Reg. _____ Área que se indica _____

Área que se indica _____ Propietario que consigna _____
 Propietario que consigna _____ Fecha de expedición _____
 Fecha de expedición _____

Escritura Número: _____ Notario N.º _____
 ESCRITURA Pública Nombre del Notario: _____
 Privada Área que se indica: _____ Estado _____ Mpio. _____ Loc. _____
 Sentencia de Juez Civil Propietario que consigna: _____
 Fecha de expedición: _____

Observaciones: _____

DATOS FISICOS DEL PREDIO

Area Montañada: _____ Ha.

ACTIVIDAD

AGRICOLA

GANADERA

RECREATIVA

NO EXPLOTADO

INDUSTRIA

Ha

Ha.

Ha.

Ha.

RIESGO HURDAD TEMPORAL

_____ Ha. _____ Ha. _____ Ha.

1.-			
2.-			
3.-			

1: Nombre del cultivo.
Rendimiento.

GANADO

Mayor Menor

VEGETACION NATURAL

<input type="checkbox"/> Purical	<input type="checkbox"/> Matorral	<input type="checkbox"/> Bosque	<input type="checkbox"/> Sabana	<input type="checkbox"/> Selva	<input type="checkbox"/> Minera	<input type="checkbox"/> B. de Mat.	<input type="checkbox"/> Lechero	<input type="checkbox"/> Avicoria	<input type="checkbox"/> Paracota	<input type="checkbox"/> Cunicola	<input type="checkbox"/> Apicala	<input type="checkbox"/> Piscicola
					<input type="checkbox"/> En explotación							
					<input type="checkbox"/> No explotado							
					<input type="checkbox"/> Vedeo							

Otra actividad: _____

FACTORES DE DENERITO

PEDREGOSIDAD PREDOMINANTE

Escasa Medie Excesive

Grandes
Medianas
Pequeñas

EROSION

Lave Moderada Pesada

PENDIENTE PREDOMINANTE

0-5% 6-15% +15%

Plano
Ondulado
Quebrado

INUNDACION

_____ Ha.

Permanencia en _____
Dias _____

Periodicidad en _____
Años _____

Observaciones: _____

CONSTRUCCION

Construcción no : Uso vivienda otra: _____

Material Predominante Muros _____ Techos _____

REFERENCIAS

Ocupante { Nombre: _____
Dirección: _____

Identificador { Nombre: _____
R.F.C. _____

Fotografía: g _____ l _____ p _____ Croquis: no L. Br. nº _____

Observaciones: _____

Fecha: _____ Firma del Identificador: _____

e) Datos físicos del predio.

f) Referencias.

a) El encabezado tiene por finalidad relacionar la información contenida en la cédula con el predio identificado en campo. Como ya se mencionó anteriormente, cada fotomapa es la cuarta parte de una carta topográfica escala 1:50,000, el cual tiene 10' de longitud por 7' 30" de latitud.

La numeración que le corresponde a cada cuadrante (10' X 7' 30") es de acuerdo a la terminación de la clave (de la a a la d y es la siguiente:

- En los cuadrantes terminados en a, será del 0001 al 2000.
- En los fotomapas terminados en b, será del 2001 al 4000.
- Cuando la clave termine en c, será del 4001 al 6000.
- Y cuando la clave termine en d, será del 6001 al 8000.

Estos números son los que se le asignan a los predios localizados en cada uno de los fotomapas levantados en campo y es el -- que se anota en el encabezado, así como en el predio levantado en campo.

Anteriormente se comentó como se forma la clave del fotomapa -- que se pide en el encabezado.

b) Datos del propietario. Tiene por objeto obtener la información necesaria para localizar al propietario del predio.

Cuando el ocupante sea propietario, se anota su nombre y todos los demás datos que se piden; en caso de ejidos, se anota el -- nombre del mismo y en observaciones el nombre y puesto de la -- máxima autoridad, así como su registro federal de causantes -- (R.F.C.).

c) Régimen de tenencia. Esta parte de la cédula se presenta en forma de cuadro sinóptico para facilitar el registro de la información, que tiene por objeto determinar las características de posesión del predio.

En el Estado de Querétaro existen las siguientes modalidades de régimen de tenencia:

- Ejidal Colectivo.
- Parcelario.
- Particular.

- Colonia.
- Comunidad.
- Terrenos Nacionales Federales.
 Estatales.
 Municipales.

Se ha suprimido el fraccionamiento rústico para la venta de lotes, el cual queda englobado dentro de la Particular, pero con una nota aclaratoria en el respectivo renglón de observaciones. Para el caso de comunidades se siguen los siguientes criterios:

- 1) Se levanta una cédula por cada comunidad, la cual se ha de ubicar en la fotografía, de acuerdo al lindero que informen los comuneros.
 - 2) Cuando una comunidad está subdividida en barrios, se levanta una cédula por cada barrio y se ubica en las fotografías cada uno de ellos por separado.
 - 3) En el caso de pequeñas propiedades localizadas dentro de una comunidad, se levantan independientemente de las comunidades con su respectivas cédulas cada una.
- d) Documentación adicional, cuyo objeto es tener registrados los datos de los documentos legales que acreditan el régimen de tenencia del predio. Dicha documentación puede ser solamente de tres tipos:
- 1) Registro
 - 2) Escritura Privada
 Pública
 - 3) Título
- Estos documentos pueden estar inscritos en las siguientes dependencias:
- 1) Registro Público de la Propiedad (R.P. de la P.).
 - 2) Dirección General de Catastro del Estado (D.G.C.E.).
 - 3) Registro Agrario Nacional (R.A.N.).
- Y otras, tales como tesorería del Estado, Hacienda del Estado, Receptoría de Rentas, etc.
- e) Datos físicos del predio. Esta parte de la cédula tiene por objeto el tener un conocimiento general acerca de las cualidades físicas del predio de que se trata.
- El predio puede estar destinado a cualquiera de las siguientes

actividades:

- 1) Agrícola.
- 2) Ganadera.
- 3) Recreativa.
- 4) Industrial.
- 5) No explotada.

Puede también estar dedicada a alguna actividad que no se menciona y para indicarla existe un renglón especial para ello, - en donde se ha de anotar la actividad y superficie en hectá -- reas.

Cuando el terreno tiene por actividad la agrícola, existen - - tres alternativas: de riego, de humedad o de temporal, según - cada caso en particular.

En caso de que el terreno se dedique a actividades ganaderas, - se presentan dos alternativas, de acuerdo al ganado, éstas son ganado mayor o menor.

Se considera como no explotado cuando el terreno de que se tra ta se haya utilizado por más de un ciclo agrícola o las mues - tras de abandono sean muy claras.

en los tres casos mencionados anteriormente, existe una cubier ta vegetal que puede ser:

- 1) Pastizal.
- 2) Matorral.
- 3) Bosque.
- 4) Sabana.
- 5) Selva.

Los lineamientos generales para clasificar cada una de éstas - vegetaciones es la siguiente:

- 1) Pastizal.- Conocido también como pradera, viene a ser una - cubierta vegetal formada por hierba de tamaño pequeño y pue de ser de tres formas:
 - Natural o sea que surge por las condicones del medio am - biente.
 - Inducida es aquella que se forma cuando se desmonta o in - cendia un bosque o selva.
 - Cultivada es otro caso que existe y es cuando propiamente se siembra el pasto.

2) Matorral.- Es una vegetación que no sobrepasa los cuatro metros de altura, cuya vegetación arbustiva se presenta en zonas áridas o semiáridas.

Entre los tipos de matorrales tenemos: nopaleras, gobernadoras, arbustos micrófilos, lechuguilla, izotales, yucas, cardonales, mezquitales, huizachez, etc.

3) Bosque.- Los bosques están constituidos por pocas especies-arbóreas con tronco bien definido. Algunas ocasiones se presenta con diversos estratos herbáceos y hasta con arbustos. Existen bosques de galería, son aquellos que están a lo largo de algunos arroyos, son angostos. También hay casos, por cierto raros, de bosques cultivados.

4) Sabana.- Consiste en una vegetación herbácea, gramínea, resistente al fuego y hay árboles aislados; se presenta solamente en suelos sensiblemente planos.

En época de lluvias hay mucha humedad y en época de secas - el nivel freático baja considerablemente.

5) Selva.- Es una vegetación arbórea se da en climas cálidos.- Su estructura es muy compleja y densa. Se pueden presentar tres tipos de selva:

- Baja.- Árboles entre 8 y 15 m de altura.

- Media.- Vegetación arbórea con altura entre 15 y 30 m.

- Alta.- Los árboles son mayores de 30m.

Cuando la totalidad de la superficie del predio esta dedicada a actividades agrícolas no se anota vegetación natural; en cambio si se dedica a actividades ganaderas, recreativas o no se explota, se señala uno o varios tipos de vegetación natural, - según lo que se observe en el terreno. Siempre se marca cual - es la actividad a la que se dedica el predio, así sea una industria o cualquier otra no indicada en la cédula.

f) Factores de demérito.

Como factores de demérito se consideran los siguientes:

- 1) Pedregosidad predominante
- a) Por su presencia
 - Escasa (menos del 10%).
 - Media (entre el 10 y 20%).
 - Excesiva (más del 20%).
 - b) Por su tamaño
 - Pequeñas (diám. menor de 2.5 cm).
 - Medianas (diám. entre 2.5 y 7.5 cm).
 - Grandes (diám. mayor de 7.5 cm).

- 2) Erosión
- a) Leve.- Casi imperceptible.
 - b) Moderada.-
 - Arrastre entre el 50 y 75% del horizonte superior, se tienen surcos a menos de 30m. uno de otro.
 - c) Fuerte.-
 - Desaparece el horizonte superior, hay surcos profundos a menos de 30m uno de otro.

- 3) Pendiente predominante
- a) Por su forma
 - Plano
 - Ondulado
 - Quebrado
 - b) Por su inclinación
 - Menor del 6%.
 - Del 6 al 15%.
 - Más del 15%.

- 4) Inundación.- Se anotan los datos que proporciona el ocupante del predio referentes a superficie inundable, permanencia en días y periodicidad en años.

En algunas ocasiones no hay necesidad de anotar nada en pedregosidad y erosión, por no alcanzar las condiciones del suelo - ninguna éstas clasificaciones, se trata de suelos muy buenos,-

sin pedregosidad, cultivados de manera altamente mecanizada. Cuando existe construcción en el predio, puede ser ésta con diferentes fines o usos, a saber: vivienda, bodega, establos, silos, canales, granero, bomba, planta despepitadora, etc. En -- cuanto al material predominante, se anota solamente el que sea mayoritario en muros y techos.

g) Referencias. Es el último bloque de información de la cédula;-- en él se anota el nombre del propietario, así como su direc -- ción se anota, también, la zona de vuelo, línea y fotografías-- en que está localizado el predio.

Cuando, por alguna razón, no se puede obtener información refe-- rente al predio (ni verbal, ni por documentos), se anota en -- porción el área o la superficie que esté siendo utilizada en cada una de las actividades que ahí se desarrollan.

D) Transferencia de puntos.-- Después de concluido el trabajo de cam-- po existe lo que se denomina "transferencia de puntos", esto se -- hace de las fotografías escala 1:25,000 a los fotomapas de cronap-- pake escala 1:20,000 ó a las fotografías, también de cronapake, -- escala 1:50,000, hecha por los identificadores de campo.

Equipo:

- Mesa luz.
- Lupa de bolsillo de 6 u 8 aumentos.
- Estereoscopio de bolsillo de 2 ó 4 aumentos.

Materiales:

- Fotografías aéreas trabajadas de la zona escala 1:25,000.
- Agujas de chaquiras.
- Juego de plumines de punto extrafino de colores negro, -- azul, rojo y verde.
- Escuadras, regla, goma, etc.

Como se menciona anteriormente, la transferencia de puntos consis-- te en que, en base a los puntos ubicados en campo, se han de -- transferir a un fotomapa escala 1:20,000 ó a fotografías Konapaki escala 1:50,000.

Primero se ha de identificar el punto ubicado en campo, con ayuda del estereoscopio de bolsillo; enseguida se localiza el mismo pun-- to en el fotomapa, con ayuda de la lupa, y se ubica con una aguja delgada. Se van uniendo las vértices con plumín azul hasta ce -

rrar el predio, el número de predio se anota con rojo.

En caso de pasar puntos de fotografías trabajadas en campo a fotografías cronapake escala 1:50,000, se hace de manera similar al caso anterior.

Las zonas de sobreposición de información o superficies desocupadas se aseguran de la misma forma que en campo.

II. Revisión.- Esta etapa es de suma importancia porque a través de ella se logra una uniformidad en la presentación y mejor calidad en el acabado final del trabajo realizado en campo.

Revisión tiene las siguientes actividades:

1. Recibir el material de campo.
2. Revisar cédulas.
3. Hacer sobrepuesto.
4. Cotejar cédulas con el sobrepuesto.
5. Revisar fotografías.

A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

1. Recepción del material de campo.- Se lleva un control por expediente de cada uno de los fotomapas o cartas prediales, en donde se anota la cantidad parcial y total de cédulas que se entregan a revisión, esto es controlado también por identificador. Se lleva todo este control con el objeto de saber en cualquier momento el grado de avance de cada carta catastral por separado.

El total del material que entrega en personal de campo al de revisión incluye todas las cédulas, las fotografías trabajadas y el fotomapa o fotografías en cronapake para que sea revisado en su totalidad.

2. Revisión de cédulas.- La revisión de cédulas de ocupante tiene por objeto el lograr que todas ellas cumplan con los requisitos fundamentales de claridad, exactitud y mayor información posible, de tal suerte que cuando exista alguna duda en el revisor al observar la cédula; esta se regresa al identificador que la recabó para que aclare dicha situación y así se cumpla con el cometido de esta actividad.
3. Hacer sobrepuesto.- El sobrepuesto viene a ser la revisión --

del fotomapa transferido o bien de las fotografías en cronapa-
ke y por medio de él se detectan los predios que no hayan sido
cerrados, los números que se hayan repetido, las ligas con los
fotomapas circunvecciones, etc.

4. Cotejar cédulas con el sobrepuesto.- En esta etapa de la revi-
sión se detectan todas aquellas omisiones de predios sin cédu-
las, cédulas sin predios, dos predios con una sólo cédula o --
tal vez dos cédulas con un solo predio, de tal manera que al -
fin de ésta etapa se tiene un muy alto grado de seguridad en -
el trabajo que se piensa procesar.
5. Revisión de fotografías.- Como último paso y ya para que el ma
terial se pueda procesar en Gabinete, se hace una revisión de-
las fotografías trabajadas en campo, las que han de concordar-
con el fotomapa transferido y con las cédulas, en esta etapa -
se localizan algunas omisiones o discordancias entre los dife-
rentes elementos que se revisan, procediendo, siempre, a aclara-
rar las dudas con los identificadores de campo o directamente-
con los jefes de grupo a cargo de quien estén estos.

Al término de todo este proceso de revisión, el material está listo-
para procesarse en Gabinete, en donde se ha de editar.

8.3. ELABORACION DE CARTAS TOPOGRAFICAS MEDIANTE LA MEDICION DE PARES ES- TEREOSOPICOS.

Restitución en aparato.- No contando con los espacios muy grandes cu
biertos de bosques o selvas, la medición de pares fotográficos es --
considerada sin límites para la elaboración de cartas topográficas.-
Es considerada, a causa de su gran economía frente a los métodos te-
rrestres, como el método topográfico más usado por medio de fotogra-
fías. La fotogrametría se usa incluso para la producción de cartas -
topográficas sobre grandes extenciones.

Para el levantamiento de nuevas cartas hay que dar previamente en el
aparato los puntos de apoyo. Ellos son determinados en gran propor-
ción mediante aerotriangulación ejecutada principalmente en aparatos
de primer orden, o si se trata de cartas a pequeña escala, para las-
que la escala de las fotografías disminuye igulmente o en forma pare-
cida, se pueden usar incluso aparatos de tercer orden. A causa de es
to, se combina frecuentemente el uso de un aparato de primer orden-

con varios aparatos de segundo o tercer orden. La aproximación planimétrica alcanzable en fotogrametría, sea para puntos aislados o para situación de líneas, se alcanza en todos los casos desde el punto de vista topográfico, para grandes escalas de carta, en los aparatos de primer orden o en los de precisión de segundo orden, como es el caso del Wild 8. El multiplex puede ser usado para escalas de carta de 1:10,000 y más pequeñas. Los aparatos de restitución de tercer orden entran en cuestión para escalas de carta de 1:25,000 y menores. Este orden de empleo de los aparatos corresponden también a las necesidades que visiblemente se presenten en cuanto se refiere a la exactitud en altura. La exactitud en altura está caracterizada por los errores medios en altura presentados para puntos plenamente identificados y para curvas de nivel.

Trabajos complementarios y comparación con el terreno.- Los resultados de la restitución fotogramétrica necesitan una complementación que, entre otros cometidos, se ocupe de librar en lo posible la restitución de las curvas de nivel, así como tenga en cuenta los pequeños movimientos de curvatura de tramos rectos, presentados a causa de la involuntaria inseguridad de la conducción de la marca de medida mediante los volantes y los pedales del aparato. Como cada curva de nivel tiene su propia inseguridad diferencial, pueden las curvas de intersección fotogramétricas proporcionar una imagen morfológica de las formas de la tierra que no sea precisamente correcta y, por ejemplo, en un terreno simétricamente inclinado de hecho se produciría el engaño de no encontrar en él ningún valor de inclinación.

La complementación se lleva a cabo por observación de copias en papel de las fotografías por medio de un estereoscopio; estas correcciones se pueden introducir entre la exactitud de la medición fotogramétrica.

Un repaso general de las curvas de nivel suele ser practicado, por cuanto la verdadera naturaleza y forma de las restituciones de las líneas de corte fotogramétricos que no se puedan obtener por ningún procedimiento puntual terrestre podría desaparecer.

Lo mismo que se hace en los planos topográficos terrestres, en las producciones de la restitución hechas por curvas de nivel, será preciso complementarlas mediante dibujos del terreno, por ejemplo, con-

trazos que indicarán terrazas o grados del terreno, o dibujo de pedregales cuando se trata de estos, etc. Los últimos complementos que corresponden a la representación del campo son la colocación de los nombres, la clasificación de los caminos y carreteras, etc., como los cierres terrestres de los eventuales vacíos de la restitución. Se pueden emplear para ello las representaciones de campo parecidas-ejecutadas para medidas de catastro antes de llevar a cabo la restitución y los resultados de la ampliación de las fotografías aéreas.

8.4. LA FOTOGRAMETRIA EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS.

Para la construcción de carreteras se emplea la fotogrametría de un modo creciente para todos los grados de ejecución de trabajos de planos y proyectos (las primeras investigaciones, los anteproyectos y los proyectos de construcción).

Para el proyecto de construcción, el cual para el deslinde de la carretera y para la dirección de la obra necesita una gran cantidad de datos de forma numérica. Para la medición fotogramétrica de perfiles se usa un aparato como el Estereoplanógrafo C8, como el Antógrafo A8, en unión con el Medidor de Perfiles Zeiss o bien el Perfiloscopio de Wild.

El procedimiento fotogramétrico para la construcción de carreteras mas empleado en México es el que a continuación se describe y que consta de tres etapas muy específicas: 1a. Estudio de las rutas posibles; 2a. Elaboración de denominado proyecto preliminar y 3a. El proyecto definitivo.

De la primera etapa se puede decir que comprende los siguientes conceptos:

- a) Recopilación y clasificación de datos previos.
- b) Reconocimiento preliminar de la zona de estudio.
- c) Obtención de fotografías aéreas a escala 1:50,000.
- d) Estudio de rutas en las fotografías tomadas para tal fin.
- e) Interpretación fotogeológica del terreno.
- f) Reconocimiento aéreo y terrestre de rutas.
- g) Evaluación de las rutas.

Recopilación y clasificación de datos previos.- En esta etapa se lleva a efecto la recopilación, ordenación y clasificación de todos los

datos que de alguna manera puedan intervenir para la toma de decisiones a la hora de proyectar la ruta mas conveniente. Tales datos se refieren a los aspectos económico, social, cultural y de servicios de todas y cada una de las poblaciones a comunicar, así como lo referente a la agricultura, ganadería o cualquier otra actividad en que se empleen los predios que se van beneficiar y afectar con el posible proyecto. Por otro lado, también es muy importante indagar lo referente a la tenencia de la tierra de dichos predios.

Para poder llevar a cabo la mayor parte de lo anteriormente mencionado, se cuenta con la valiosa ayuda de las cartas temáticas de DETENAL (Topográfica, Edefológica, Uso Actual, Geológica y Uso Potencial) escala 1:50,000, así como con las Fichas de Población y cartas topográficas escala 1:250000. Además se cuentan con otras fuentes de información como son los Censos Nacionales de Población y Vivienda, -- Cartas de Climas, etc.

Reconocimiento preliminar de la zona en estudio.- El reconocimiento preliminar de la zona de estudio, al igual que la recopilación de datos, se puede llevar a cabo desde las oficinas centrales y abarca -- los siguientes conceptos:

- 1) Se debe definir la faja de terreno que deberá fotografiarse a escala 1:50,000.
- 2) Establecer cuáles son los puntos obligados de paso.
- 3) Visualizar los posibles problemas referentes a la cobertura vegetal y los de índole geotécnico, que se hallarán en cada una de -- las rutas posibles a elegir.
- 4) Llevar a cabo los estudios económicos referentes a la rentabilidad de la obra; esto es, hallar las relaciones beneficio-costos de cada una de las rutas posibles.

Obtención de fotografías aéreas a escala 1:50,000.- A las fotografías a esta escala, en este caso, se les ha denominado como de "reconocimiento" ya que presentan algunas ventajas de amplitud para el estudio de rutas. Es importante destacar, asimismo, las ventajas que -- representa la interpretación desde los puntos de vista biológico, hidrologico, topográfico y de uso del suelo. Aquí también se puede hacer uso de las fotografías que ya ha de tener DETENAL, las cuales, -- en su vuelo alto, son escala 1:50,000 en blanco y negro, y se ajustan a las necesidades o especificaciones de la S.A.H.O.P., que es la

dependencia que va a llevar a cabo el proyecto carretero.

De los requisitos que deben cumplir las fotografías son los siguientes:

- 1) Que sean de eje vertical, esto es nadirales.
- 2) Que sean de formato de 23 X 23 cms.
- 3) Que se tomen con cámara de lente granangular.
- 4) Que la sobreposición longitudinal sea de 60 al 80% y la transversal del 20 al 30%.

Estudio de rutas.- Para llevar a cabo el estudio de rutas, se aprovechan los informes del primer reconocimiento, se debe de marcar en -- las fotografías las líneas de las rutas factibles, para esto es necesario auxiliarse de las elevaciones conocidas en la zona, así como -- de la barra de paralaje y poder así determinar de una manera aproximada los desniveles. Se hace notar que este procedimiento ya está cayendo en desuso debido a que ahora ya existe una catografía bastante confiable para la mayor parte de la República, no obstante se sigue empleando en aquellas regiones donde todavía no se cuenta con dicha información.

De lo anterior se selecciona una serie de rutas posibles y se pasa a la siguiente etapa.

Interpretación fotogeológica del terreno.- La fotogeología se define como la ciencia que ayuda a entender por medio de fotografías (normalmente aéreas) las condiciones geológicas cuya existencia se deduce de dichas fotografías por los trazos de ríos, tonalidades de suelos y distribuciones, alineaciones, formas de colinas y valles, y -- presencia o ausencia de tipos específicos de vegetación.

Para efectos de éste trabajo, solo se mencionan aquellos puntos, que son claves para el buen proyecto de una carretera, los cuales son: -- estudio geológico de las rutas, hidrológico y geohidrológico. Además se delimitan las unidades geométricas, tipos de rocas, suelos, drenaje, sitios apropiados para cruces y localización de bancos de materiales de construcción. Todo esto ha de detallarse lo suficiente en los corredores de las rutas posibles.

La información que se obtiene así, debe de comprobarse en campo mediante puntos de verificación o de control geológico, que hayan sido seleccionados previamente por su representatividad y accesibilidad.- Estos datos se presentan en mapas fotogeológicos y mosaicos fotográ-

ficos escala 1:50,000.

Solamente había que agregar, que mucho de este trabajo ya está prácticamente elaborado e impreso en las cartas Geológicas de DETENAL y también existen unas fichas que se refieren a datos de los puntos de Verificación que se enumeran en dichas cartas.

Reconocimiento terrestre y aéreo de rutas.- Después de haber llevado cabo el punto anterior, se procede al reconocimiento aéreo (en helicóptero o avioneta) y terrestre de las rutas posibles, con el fin de complementar las informaciones obtenidas en el reconocimiento preliminar y en la fotointerpretación geológica de la zona.

De ser posible, en esta etapa se decide cual es la ruta que ofrece - mas posibilidades técnicas para llevarse a cabo.

Evaluación de las rutas.- A estas alturas ya es posible emitir un -- juicio acerca de cuál o cuales son las rutas que ofrecen mayores posibilidades de llevarse a cabo, ya que ahora si se tendría un marco de comparación entre las diferentes alternativas de acuerdo a los estudios que ya se han llevado a efecto para todas y cada una de ellas. Habrá que hacerse, también, un estudio de la relación beneficio costo para poder seleccionar aquella que ofrezca una mayor rentabilidad. La segunda etapa, o sea la elaboración del proyecto preliminar, se divide en las siguientes fases: a) obtención y estudio de fotografías aéreas escala 1:25,000, b) apoyo terrestre y aerotriangulación y c) elaboración del anteproyecto escala 1:50,000 en Balplex.

Para llevar a cabo la tercera etapa, que consiste en la elaboración - del proyecto definitivo, deben seguirse los siguientes pasos:

- a) Se ha de levantar una poligonal de referencia, que sirven de apoyo terrestre.
- b) Obtención de fotografías aéreas escala 1:50,000.
- c) Restitución de planos para la elaboración del proyecto definitivo
- d) Trazo del proyecto definitivo.
- e) Se estudia el drenaje existente en la ruta, de manera preliminar.
- f) Reconocimiento del terreno por líneas proyectadas.
- g) Exploración y clasificación de suelos.
- h) Seccionamiento.
- i) Proyecto de alineamiento vertical.
- j) Cálculo de curva-masa y geometría de secciones de construcción.
- k) Proyecto definitivo del drenaje menor.

l) Cálculo de los datos para el estacamiento del trazo.

m) Estudios de campo para pasos, cruces y puentes.

Planos y datos necesarios para la construcción.- Para la construcción de la obra, es necesario contar con los siguientes datos y planos:

1) Planta horizontal con el trazo del eje y sus datos de alineamiento horizontal; 2) Seccionamiento transversal del terreno; 3) Datos para el estacamiento del trazo; 4) Perfil estimativo de cantidades de obra; 5) Listado de volúmenes de terracería y ordenadas de curvamasa; 6) Geometría del seccionamiento de construcción. Se presentan trabajos (proyectos) por separado en el caso de obras de drenaje menor, pasos, entronques, puentes, etc.

El uso de procedimientos fotogramétricos en la construcción de vías terrestres, tiene bastantes ventajas en relación a los métodos tradicionales, entre los cuales destacan:

- 1) El estudio de rutas se hace con economía y seguridad en una zona tan amplia como se requiera.
- 2) Ahorra esfuerzo al proyectista, relevándolo de los cálculos rutinarios, permitiéndole, así, concentrar toda su atención y su criterio en la obtención de mejores resultados.
- 3) Rapidez en la elaboración del proyecto.
- 4) Economía en el proyecto, comparado con el sistema convencional. - Reporta considerables economías en los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Un factor muy importante, que puede llegar a ser una limitante de consideración, es que como se trabaja en base a observación de fotografías aéreas, en el caso de bosques o selvas, densamente pobladas, así como en zonas permanentemente inundadas, el método aplicable.

* * *

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

- TOPOGRAFIA Y FOTOGRAFIA EN LA PRACTICA MODERNA.
Carl-Olof Tenryd y Eliz Lundin.
CECSA
Tercera Impresión, Septiembre de 1974.
- MANUAL DE FOTOGRAFIA AEREA.
Carl H. Strandberg.
Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1975.
- TOPOGRAFIA.
J.A. Sandover.
CECSA.
- INFORMACION DETENAL APLICADA A LA INGENIERIA CIVIL.
Gerardo Tapia Martínez y Noé Uribe de León.
Tesis Profesional, 22 de Febrero, 1979.
- APUNTES DE FOTOGRAFIA DE DETENAL.
Dirección General de Estudios del Territorio Nacional.
- APUNTES DE FOTOINTERPRETACION DE DETENAL.
Dirección General de Estudios del Territorio Nacional.
- APUNTES DE LA MATERIA "FOTOINTERPRETACION".
Ing. Rodolfo Magnus Galán.
Escuela de Ingeniería , U.A.Q., Enero de 1975.

Febrero de 1980.