

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO DE GRADO

“TRIANGULACION RADIAL”

MARIANO HUAPAYA MENDEZ

PROMOCION 1966

LIMA - PERU

1969

- a) Triangulación Aérea Radial, en que las medidas se toman en el plano de las fotografías mismas; no son necesarios los elementos costosos, no obstante, se obtiene tan sólo las coordenadas planimétricas de los puntos de paso. Este método es el tema del presente trabajo.
- b) Triangulación Aérea Espacial, en que se reconstruye un modelo espacial del terreno, ya sea en la máquina para dibujos de plano o por computación de las coordenadas del grabado de los puntos de imagen. Las tres coordenadas (X, Y, Z) de los puntos de paso son obtenidas.

- a) Triangulación Aérea Radial, en que las medidas se toman en el plano de las fotografías mismas; no son necesarios los elementos costosos, no obstante, se obtiene tan sólo las coordenadas planimétricas de los puntos de paso. Este método es el tema del presente trabajo.
- b) Triangulación Aérea Espacial, en que se reconstruye un modelo espacial del terreno, ya sea en la máquina para dibujos de plano o por computación de las coordenadas del grabado de los puntos de imagen. Las tres coordenadas (X, Y, Z) de los puntos de paso son obtenidas.

## C A P I T U L O I

### P R I N C I P I O S G E N E R A L E S

#### 1. Direcciones en la Fotografía y Direcciones en el Terreno

Una fotografía es una proyección en perspectiva de un terreno (desde un avión). Un mapa, sin embargo, es una proyección ortogonal del terreno. Estas dos proyecciones pueden dar el mismo resultado sólo cuando el terreno está absolutamente plano y el eje óptico de la cámara ha estado exactamente vertical durante el momento de la exposición; la fotografía resultante es entonces una representación reducida pero conformal del terreno. Los ángulos o las direcciones medidas desde cualquier punto de la fotografía hacia otros puntos de la foto, son los mismos que aquellos que se podrían medir con un Teodolito desde el mismo punto en el terreno hacia los puntos correspondientes en el campo.

Si el terreno es plano, pero la fotografía ha sido tomada con un eje de cámara inclinado, existe sólo un punto de la fotografía donde se puede medir un juego de ángulos o direcciones, que es igual al juego de mediciones que se obtendría en el punto correspondiente. Este punto de la foto

es el Isocentro (I).

Si el terreno no es plano, pero la fotografía ha sido tomada con un eje de cámara exactamente vertical, solamente en dicha fotografía existirá un punto desde el cual puedan medirse ángulos o direcciones reales, que se denomina Punto Principal de la foto (P). Pero si el eje de la cámara fuera inclinado y el terreno no plano, no podrá encontrarse ningún punto en la foto de donde puedan medirse ángulos o direcciones verdaderas.

Sin embargo, existe un punto desde donde puede medirse ángulos o direcciones, cuyas diferencias con los ángulos o direcciones medidas en el punto correspondiente del terreno son independientes de las elevaciones relativas de los puntos del terreno y son sólo una función de la inclinación de la foto. Este es el punto Nadir (N).

El punto principal (P) de la foto se encuentra en la intersección de las líneas obtenidas conectando las marcas fiduciales opuestas.

Según la figura (1), el punto Nadir (N) puede encontrarse en una distancia de  $c \operatorname{tg} i$  ( $c$  = distancia principal,  $i$  = ángulo de inclinación de la foto), el isocentro

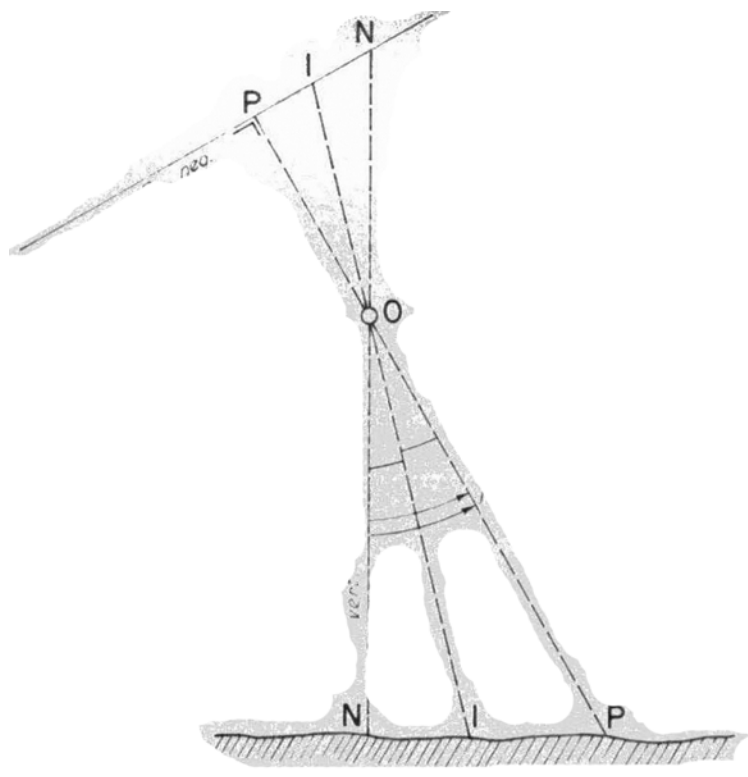


FIG. 1

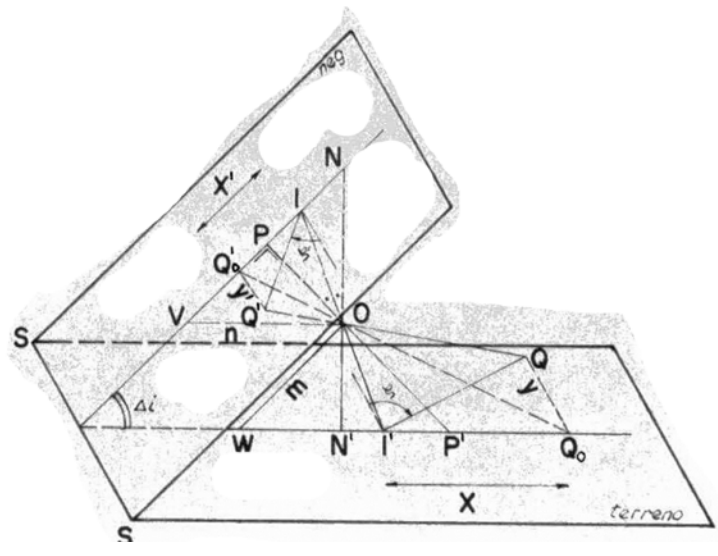


FIG. 2

(I) a una distancia de  $c \operatorname{tg} 1/2 i$ , ambos desde el punto principal (P) en la dirección del plano inclinado máximo; el isocentro y el punto nadir pueden de esta forma determinarse cuando la inclinación de la foto ( $i$ ) y la dirección de esta inclinación en el plano de la fotografía (el ángulo " $a$ " con respecto al sistema de las marcas fiduciales) se conocen. Si el cambio de " $i$ " y " $a$ " se conocen los dos componentes de la inclinación de la foto  $\varnothing$  y  $\omega$  entonces " $i$ " y " $a$ " pueden computarse de:

$$\cos "i" = \operatorname{Cos} \varnothing \operatorname{cos} \omega$$

$$\operatorname{tg} "a" = \frac{\operatorname{Sen} \varnothing}{\operatorname{tg} \omega}$$

o para los verticales próximas, de:

$$i^2 = \varnothing^2 + \omega^2$$

$$\operatorname{tg} a = \frac{\varnothing}{\omega}$$

Para las verticales próximas, el punto nadir o el isocentro puede ubicarse estableciendo, desde P; en la dirección X - la distancia,  $c \cdot \varnothing$  ó  $1/2 c \cdot \varnothing$  respectivamente, y en la dirección Y la distancia  $c \cdot \omega$  ó  $1/2 c \cdot \omega$  respectivamente. Cabe anotar que el isocentro y el punto Nadir pueden de esta forma determinarse sólo cuando la inclinación de la foto ( $i$ ,  $a$  ó  $\varnothing, \omega$ ) se conoce, esto, sin embargo, es raro el caso.

La diferencia ( $E$ ) entre las direcciones en la foto ( $e$ ) y las direcciones correspondientes en el terreno se derivará de tres casos diferentes, asumiendo que el valor " $i$ " permanece pequeño; por lo tanto, reemplazaremos el símbolo " $i$ " por  $\Delta i$ ; estos casos son:

a) Suelo plano, eje de cámara inclinado. Uso del isocentro.

En la figura (2) puede verse la relación entre una dirección medida desde el isocentro ( $I$ ) hacia un punto arbitrario  $Q'$  de la foto, y la dirección sobre el terreno, desde el punto correspondiente  $I'$  hacia el punto correspondiente  $Q$ ; ya que la dirección Cero que es elegida en la foto, es la línea a través de  $I$  paralela a  $SS$  y sobre el terreno, la línea correspondiente a través de  $I$ , por lo tanto, también paralela a  $SS$ ).

$$1) \operatorname{tg} e = \frac{x}{y} \quad \operatorname{tg} e' = \frac{x}{y}$$

$$2) \frac{y}{y'} = \frac{OQ_0}{OQ_0'} = \frac{OW}{VQ_0'} = \frac{m}{VI} - x'$$

y porque el ángulo  $VOI = \text{ángulo } VIO = 90^\circ - \frac{1}{2} \Delta i$ ,  $VI' = VO = n$  y por lo tanto  $\frac{y}{y'} = \frac{m}{n} - x'$



3) Por cuanto

el ángulo  $\angle WOI' = \angle WI' O = 90^\circ - \frac{1}{2} \Delta i$ ,  $WI' = WO = m$ .

y por ende:  $\frac{x}{x'} = \frac{WQ_0 - m}{x'}$

Sustituyendo  $WQ_0 = \frac{m}{n} - x' \cdot n$  (hallado de los triángulos iguales  $WOQ_0$  y  $VOQ'_0$ ) tenemos que:

$$\frac{x}{x'} = \frac{m}{n} - x'$$

por lo tanto  $\frac{y}{y'} = \frac{x}{x'}$ , y,  $\frac{x}{y} = \frac{x'}{y'}$  o sea  $\phi = \phi'$

b) Terreno accidentado, eje de cámara inclinado. Uso del punto Nadir.

Según la figura (3), puede verse (en la foto) que las imágenes de  $Q_p$  y  $Q$  (estando  $Q_p$  y  $N'$  en el mismo plano horizontal) caen sobre la misma línea radial, que es la intersección del plano vertical  $ON'Q_pQ$  con el plano de la foto; siendo  $N$  centro radial, los ángulos o direcciones medidas en  $N$  son por lo tanto independientes de las elevaciones relativas de los puntos.

La figura (3) muestra también la relación entre las direcciones medidas en la fotografía ( $\phi'$ ) a partir del punto Nadir ( $N$ ) como centro radial y las direcciones correspondientes en el punto  $N'$  del suelo ( $\phi$ )

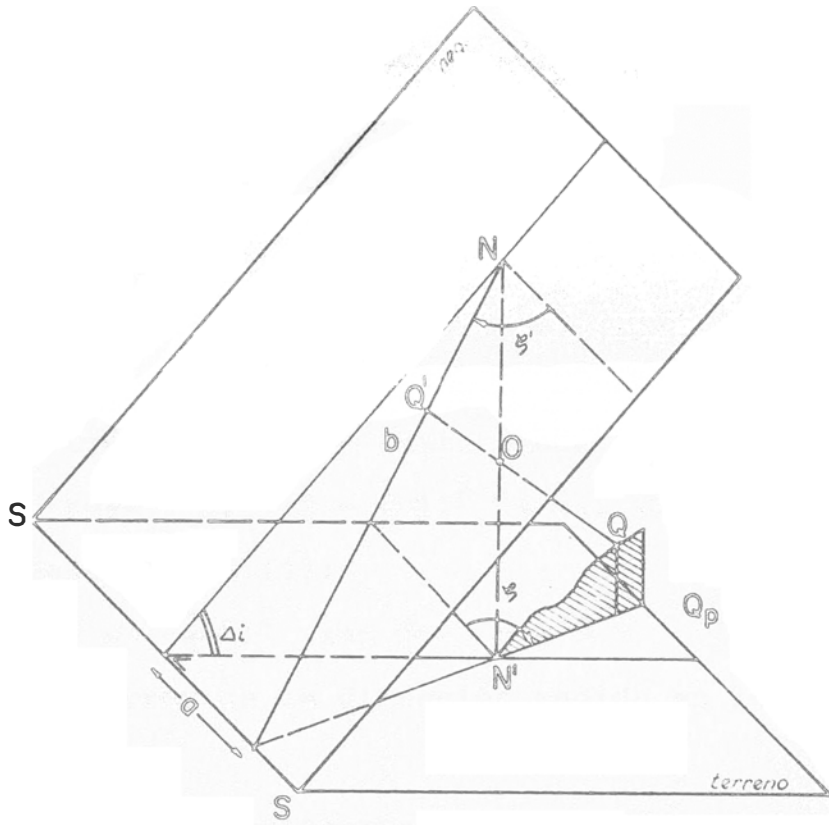


FIG. 3

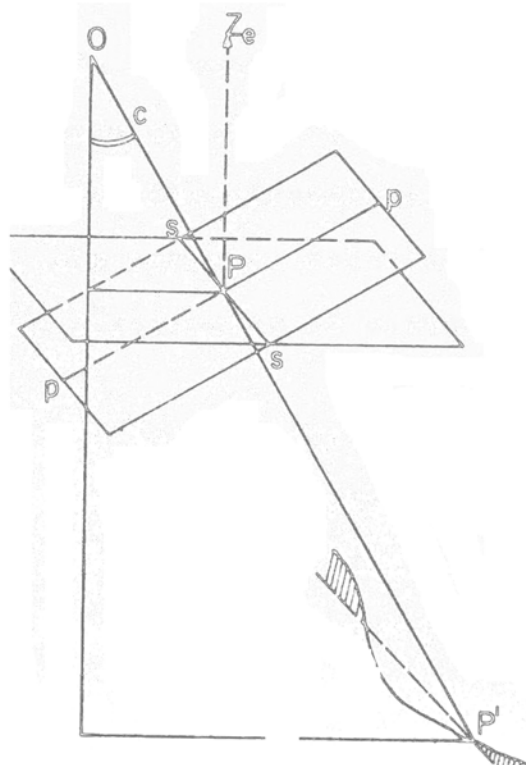


FIG. 4

Siendo:  $\beta' = \beta + E$

$$\operatorname{tg} (\beta + E) = b/a$$

$$\text{Desarrollando: } \operatorname{tg} (\beta + E) = \operatorname{tg} \beta + E \frac{1}{\cos^2 \beta} + \dots = b/a \quad (1)$$

y siendo:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b \cos \Delta i}{a} \quad \text{esto puede desarrollarse en:}$$

$$\operatorname{tg} \beta = b/a \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \Delta i^2 + \dots \right)$$

Sustituyendo (2) en (1):

$$E = + \frac{1}{2} \Delta i^2 \operatorname{sen} \beta \cdot \cos \beta \quad (2)$$

Siendo E el error de la dirección medida en la fotografía.

c) Terreno arbitrario. Uso del punto principal como centro radial.

Muy a menudo el punto principal se usa como centro radial, porque puede construirse fácilmente sin conocimiento alguno de la cámara. Las direcciones o ángulos medidos en este punto son, sin embargo, falsificados por la inclinación de la foto y las diferencias de elevación de los puntos.

En la figura (4), la cual muestra con simplicidad la situación (imaginaria) de la fotografía positiva (ubicada simétricamente al otro lado de 0 con respecto a la fotografía negativa). El plano horizontal que pasa a través de P representa el plano (dato) del terreno (ubicado en P'), con un factor de reducción en escala de  $c/O_p'$ . Estos dos planos se interceptan en una línea horizontal (SS); perpendicular a

esta línea está la dirección pp de la foto que es la línea de máxima inclinación de la foto. En la figura (5) se ve claro que los ángulos o direcciones medidas en la foto desde P, serán los mismos que aquellos obtenidos en P', con un teodolito, cuyo eje vertical está inclinado en un ángulo  $\Delta i$  con respecto a la vertical en ese punto.

Debe tenerse en mente que la proyección de un punto del terreno (reducido) en la foto se halla conectando este punto del terreno con O y por intersección del plano de la foto con esta línea, se obtiene dicha proyección.

Construyendo una esfera con centro P y radio c (distancia principal de la cámara), según muestra en la figura 5, encontramos, con la ayuda de la trigonometría esférica aplicada al triángulo SRQ<sub>o</sub>, que para un punto (Q<sub>s</sub>), situado en el mismo plano horizontal de P, se tiene que:  $\text{tg}(180^\circ - \beta') \equiv \text{tg}[180^\circ - (\beta + E)] = \text{tg}(180 - \beta) \cos \Delta i$ . Desarrollando esto tenemos que:

$$E_i = -\frac{1}{2} \Delta i^2 \quad \text{Sen } \beta. \quad \text{cos } \beta$$

Aun más, para un punto (Q<sub>h</sub>) a una altura h por encima del plano horizontal que atravieza P (ángulo vertical Q<sub>h</sub> P Q<sub>s</sub> =  $\beta$ ), tenemos el error adicional en la dirección de la foto :  $E_h = -\text{arc RT}$ .



Asimismo, en la figura (6) tenemos un triángulo (SUQ<sub>0</sub>):  
 $\cos a = -\cos \xi \cdot \sin \Delta i$

$$\operatorname{Tg} \operatorname{arco} Q_0 U = \operatorname{Sen} \xi \operatorname{tg} \Delta i$$

Aún más:

$$\begin{aligned} \operatorname{Arco} Q_0 Q'h &= \beta, \operatorname{arc} Q'h = \beta - \operatorname{arc} Q_0 U \approx \beta - \Delta i \operatorname{Sen} \xi \\ \operatorname{tg} \operatorname{arc} RU &= \operatorname{tg} \operatorname{arc} Q_0 U \cdot \cos a = -\operatorname{Sen} \xi \operatorname{tg} \Delta i \cos \xi \operatorname{Sen} \Delta i \approx \\ & -\Delta i^2 \operatorname{Sen} \xi \cos \xi \\ \operatorname{tg} \operatorname{arc} UT &\approx \operatorname{tg} (\beta - \Delta i \operatorname{Sen} \xi) \cos a \approx -(\operatorname{tg} \beta - \Delta i \operatorname{Sen} \xi) \\ & (1 - \Delta i \operatorname{Sen} \xi \operatorname{tg} \beta) \Delta i \cos \xi \\ \operatorname{Arc} UT &\approx -\Delta i \operatorname{tg} \beta \cos \xi + \Delta i^2 \operatorname{tg}^2 \beta \operatorname{Sen} \xi \cos \xi + \Delta i^2 \operatorname{Sen} \xi \\ & \operatorname{Cos} \xi \\ \text{y de esta forma es } E_h &= -\operatorname{Arc} RT = +\Delta i \operatorname{tg} \beta \cos \xi \\ & (1 - \Delta i \operatorname{tg} \beta \operatorname{Sen} \xi) \end{aligned}$$

Se asume que el ángulo  $\Delta i$  es pequeño, pero  $\beta$  puede tener valores considerables.

Si  $\beta < 20^\circ$  el término  $\Delta i^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta \operatorname{Sen} \xi \operatorname{Cos} \xi$  pueden desprejarse porque:

$E_h < 1^c$  para  $\Delta i = 3^g$ , por lo tanto:

$$E_h = + \Delta i \operatorname{tg} \beta \operatorname{Cos} \xi$$

Cabe anotar que el error precedente  $E_i$  es de igual magnitud al Error (E de signo opuesto), en el punto Nadir, es to se debe a las posiciones simétricas de N y P con respecto a I.

Las tablas siguientes muestran los errores  $E_i$  y  $E_h$ , que resultan del uso del punto principal como centro radial en una triangulación radial:

$$E_i = -\frac{1}{2} \Delta i^2 \text{ Sen } \zeta \cos \zeta$$

$$= -\frac{1}{4} \Delta i^2 \text{ Sen } 2\zeta$$

$$E_h = +\Delta i \cdot \text{tg } \beta \cos \zeta$$

ya que  $\text{tg } \beta = 0.05$

|                 | 0 <sup>g</sup> | 2 <sup>g</sup>   | 4 <sup>g</sup>    |
|-----------------|----------------|------------------|-------------------|
| 0 <sup>o</sup>  | 0              | 0                | 0                 |
| 15 <sup>o</sup> | 0              | 0.8 <sup>C</sup> | 3 <sup>C</sup> .1 |
| 30 <sup>o</sup> | 0              | 1.4 <sup>C</sup> | 5 <sup>C</sup> .3 |
| 45 <sup>o</sup> | 0              | 1.7 <sup>C</sup> | 6 <sup>C</sup> .2 |

|    | 0 <sup>g</sup> | 2 <sup>g</sup>    | 4 <sup>g</sup>    |
|----|----------------|-------------------|-------------------|
| 0  | 0              | 10 <sup>C</sup>   | 20.0 <sup>C</sup> |
| 30 | 0              | 8 <sup>C</sup> .5 | 17.0 <sup>C</sup> |
| 60 | 0              | 5 <sup>C</sup> .0 | 10.0 <sup>C</sup> |
| 90 | 0              | 0                 | 0                 |

Estos errores, causados por la aceptación del punto principal como centro radial, deben compararse con los errores accidentales en la medición o determinación de las direcciones inherentes en el Método de triangulación misma. En la triangulación del templete acanalado, estos errores accidentales en la dirección, son alrededor de 10<sup>C</sup>, pero en la triangulación radial analítica, son menores de 1<sup>C</sup>. Debe establecerse, sin embargo, que muy a menudo ocurre una inclinación sistemática de todas las fotos de una franja.

Resumen de los errores sistemáticos en las direcciones de fotos:

|                  | $E_i$  | $E_h$  |
|------------------|--|--|
| CENTRO RADIAL:   |  |  |
| PUNTO PRINCIPAL: | $-\frac{1}{2} \Delta i^2 \cdot \text{Sen } \varphi \cdot \cos \varphi$ | $+ \Delta i \text{ tg } \beta \cdot \cos \varphi$            |
| PUNTO NADIR      | $+\frac{1}{2} \Delta i^2 \cdot \text{Sen } \varphi \cdot \cos \varphi$ | nada   |
| ISOCENTRO        | Nada   | $+\frac{1}{2} \Delta i \text{ tg } \beta \cdot \cos \varphi$ |

## 2. Determinación del Punto Nadir e Isocentro en la Fotografía

Breve reseña del significado "determinación del isocentro y del punto nadir en la fotografía". Estos son:

- a) Nivel de burbuja, rígidamente conectado con la cámara.
- b) Giroscopio
- c) Cámara horizontal
- d) Medios astronómicos; periscopio solar.
- e) Medición de "y" (y "x") paralajes, en instrumentos de tipo estereómetro.

a) La burbuja de nivel es fotografiada simultáneamente con el terreno. Sin embargo, la indicación de la misma es falsada por las fuerzas de aceleración del avión. La exactitud de la indicación de la burbuja está dentro del error medio cuadrático de  $0^g.5$ . Por lo tanto, el mejor resultado depende mayormente del cuidado con que se ejecute la aero-fotografía.



b) Hay dos posibilidades para la aplicación de un giroscopio:

- 1) Que el giroscopio estabilice toda la cámara topográfica;
- 2) Que el giroscopio estabilice un dispositivo óptico para la indicación del punto nadir en la foto.

Hasta ahora, el primer método falla en exactitud, debido a la gran masa que hay que colocar en movimiento. El segundo método limita su trabajo a un sistema auxiliar de peso liviano. Este método se aplica en Francia e Italia. En Francia se usan tres giroscopios mutuamente independientes, cada uno de ellos da la posición del punto nadir. Se dice que la exactitud del promedio es de  $20^c - 28^c$  (m.sq.e.). En Italia se usan dos giroscopios, uno para cada componente del plano inclinado (en la dirección del vuelo y perpendicular a éste). Estos dos giroscopios son instalados con sus ejes primarios en ángulos rectos y se usa tan sólo la oscilación del eje primario de cada uno de ellos.

c) Los componentes del plano inclinado se obtienen por medio de fotografías horizontales especiales, tomadas simultáneamente con la fotografía del terreno. Usando este método, el  $\vartheta$  absoluto y el  $\omega$  pueden obtenerse con una exactitud de alrededor de  $6^c - 15^c$  (m. sq. e.).

d) En principio, es posible una solución completa, si se fotografían dos estrellas en el momento de la exposición de la fotografía vertical. Hasta ahora, esto es imposible en la práctica, excepto durante la combinación sol-luna; aunque, sin embargo, ésta limita el tiempo del día de la aerofoto en gran grado.

Hasta ahora, sólo una solución práctica ha sido realizada. Nos referimos al periscopio solar de Santoni (Italia), que consiste en una cámara auxiliar que apunta hacia el sol, rígidamente conectada a la cámara Topográfica. Registrando la hora, se conoce así la posición astronómica del sol; no se conoce, sin embargo, la rotación alrededor de esta línea.

Una solución total de la inclinación de la foto requiere la determinación previa de la posición azimutal de todas las fotografías; a consecuencia de este requisito y a la cantidad adicional de cálculos involucrados, el método se aplica a la triangulación aérea (espacial) únicamente.

Por supuesto que una buena imagen del sol se obtiene, generalmente, con más facilidad que una buena imagen del horizonte (bruma, nieves, montañas).

e) Medición de los paralajes de "y" ( y "x"), en instrumentos tipo estereómetro (simples y baratos).

En Finlandia, por ejemplo, se usa un estereoscopio de espejo: se giran las fotos 90° de su posición normal, de forma tal, que los paralajes "y" se ven como paralajes "X". Para las mediciones se usa una barra de paralajes.

Los planos inclinados relativos pueden computarse de los paralajes "y", usando las fórmulas de paralajes simplificados (término de primer orden, solamente, debido a las posiciones simétricas de los 6 puntos de orientación, no obstante, pueden obtenerse buenos resultados si éstos son planos inclinados no mayores que 2°, aproximadamente.

El plano inclinado absoluto puede determinarse, también analíticamente; para este método debe medirse los paralajes en "X" reales, por lo menos en tres puntos de cota conocida en un modelo y estos paralajes en "X" tienen que ser reducidos por la influencia de los elementos de la orientación relativa que fue determinada con la ayuda de paralajes medidos en "y".

Los finlandeses aseguran que la exactitud de la determinación del plano inclinado, cuando se usa este método de medición de paralaje estereoscópico, es alrededor de 4<sup>C</sup>.5 (cámara de ángulo normal 18 x 18, f=20), si existe control de terreno vertical cada 10 fotografías.

Como anteriormente se mencionó, para las fotografías verticales cercanas, el punto nadir o el isocentro pueden ubicarse partiendo desde P, en la dirección "X". La distancia  $c.\varnothing$  ó  $\frac{1}{2} c.\varnothing$ , respectivamente, y en la dirección "y", distancia  $c.\omega$  ó  $\frac{1}{2} c.\omega$  respectivamente.

## C A P I T U L O    I I

### PRINCIPIOS DE EJECUCION COMUN A TODOS LOS METODOS DE TRIANGULACION RADIAL

#### 1. Principio geométrico

El centro radial (punto principal, isocentro o punto Nadir) de cada foto, debe ser marcado en la solapa (de triple empalme, con las fotos vecinas); se eligen y marcan otros dos puntos: estos puntos se eligen a uno o dos centímetros de los bordes superiores e inferiores de la foto y son llamados "puntos de ala" o puntos de control menor, indicado con el número de la foto e índices a y b, respectivamente.

El centro radial y ambos puntos de control menor deben transferirse a las fotos adyacentes, izquierda y derecha; el resultado es 9 puntos en cada foto. Según se muestra en la figura (7).

La escala, algo diferente a la de las fotos individuales, por las variaciones en la altura del vuelo, no es de importancia, ya que sólo deben medirse las direcciones. Supongamos ahora que el juego de direcciones de cada foto se transfiera a una hoja de papel transparente (un papel "templet" para cada foto). El templet de la foto 2 y el de la foto 1 se combinan en forma tal que las direcciones correspondientes

1-2 (de la foto 1) y 2-1 (de foto 2), coincidan; las líneas  $1-1^b$  (foto 1) y  $2-1^b$  (foto 2) son interceptadas entre sí; es te punto de intercepción es en realidad el punto  $1^b$ ; de la misma manera se obtiene los puntos  $2^b$  y la  $2^a$ . La distancia escogida entre los puntos centrales (puntos 1 de la foto izquierda y 2 de la derecha) determinan una escala de triangulación; si se requiere de cierta escala, esta distancia puede tomarse en forma acorde (ver más adelante) con una longitud aceptada 1-2 y los puntos  $1^b$  y  $2^b$  pueden obtenerse por intercepción. Continuando con el templet 3, éste se coloca encima del templet 2, en forma tal que la dirección 3-2 sobre el templet 3, coincida con la dirección 2-3 en el templet 2. Seguidamente se transporta el templet 3, manteniendo las direcciones 2-3 y 3-2 de los templets en coincidencia, hasta que las direcciones  $3-2^b$  del templet 3 pasen a través del punto  $2^b$  (ya establecido). En esta forma se procede con los demás templets, teniendo en cuenta que sólo en la parte superior (o parte baja) de la red se establece las transversas de 1, 2, 3, 4 ... etc., que en la práctica se encontrarán algunas discrepancias; así, por ejemplo, cuando el punto 3 es interceptado desde 2-3 y  $2^b-3$ , la dirección  $3-2^a$  en el templet 3 normalmente no pasa exactamente a través del punto  $2^a$ . Se encuentra un triángulo de error que debe ajustarse.

## 2. Transferencia del Punto

Se puede hacer esto eligiendo puntos de imagen bien definidos para los puntos de control menor ( y eligiendo un punto bien definido en la vecindad del centro radial teórico para el centro radial real) y luego la transferencia de estos puntos, monocularmente. Esta, sin embargo, no es la mejor forma. La mejor es haciendo la transferencia del punto estereoscópicamente, porque:

- 1) El número de puntos de imagen bien definido, es limitado.
- 2) La falta de nitidez de una de las fotos se compensa usando el estereoscopio.
- 3) La razón más importante: la exactitud de la transferencia estereoscópica, con la ayuda de medios apropiados, (transportadores) es extremadamente alta, lo que rara vez puede alcanzarse mediante la marcación monocularmente.

## 3. Preparación de una Triangulación Radial; Uso de un Mapa Índice.

Usualmente debe triangularse un bloque de franjas y no solamente una. Por lo tanto, no sólo deben elegirse puntos de control menores y marcarse en la foto de cada franja

individual, como se indicó anteriormente, sino que deben elegirse puntos comunes y marcarlos en los empalmes de las franjas adyacentes, a fin de conectar las franjas. De ser posible, éstas fajas de unión se eligen en forma tal que pueden usarse también como puntos de control menor en ambas fajas involucradas; esta posibilidad depende de la posición de las estaciones de exposición (por aproximación de la posición de los puntos principales) a lo largo de ambos ejes.

Juzgando estas posibilidades y por otras razones, debe hacerse un mapa índice. Debe enfatizarse que la construcción de un buen mapa índice es de suma importancia, especialmente si deben tratarse gran número de franjas y fotos. Un tratamiento sistemático es entonces "condición indispensable". Si existe un mapa razonable de área a una escala no menor que alrededor de un cuarto de la escala de las fotos, este puede usarse como base para la construcción del mapa índice. En caso contrario, las fotos deben armarse como un mosaico. En el primer caso, los puntos principales de todas las fotos se transportan sobre el mapa (comparando el contenido de la foto y del mapa) y conectadas por una línea que indique el eje de la franja. En el segundo caso se hace lo mismo sobre una hoja de papel especial. Las posiciones relativas de los puntos principales deben igualar las del "mosaico". La escala del mapa índice no debe ser menor que alrededor de un cuarto de la escala de la foto: esto es, la distancia entre los



puntos principales sucesivos no debe ser menor que alrededor de 1.5 cms. (por razones prácticas). Si el mapa índice tuviera, por ejemplo, más de 1 x 1 m., el área debe dividirse en secciones, cada una cubierta por mapa índice. El mapa índice, que en esta etapa sólo muestra las posiciones relativas de las fotos, se usa ahora como guía para la selección de los puntos de unión. Si los puntos principales de dos fotos de franjas adyacentes se muestran como puestas entre sí, es evidente que debe haber un punto común en ambas fotos, que puede usarse como punto de control menor en ambas franjas. Dado que el punto es común a ambas franjas y simultáneamente, un punto de unión.

Si la solapa longitudinal de la franja es más de 50%, esto es normalmente verdadero. La solapa triple, en la que deben elegirse los puntos de control menor, tiene cierto ancho. Puede ser posible entonces usar un punto común como punto de control menor a ambas franjas, si sólo cada dos solapas triples opuestas tienen un área común. No es por lo tanto necesario que ambos puntos principales sean exactamente opuestos entre sí.

Se inicia la preparación eligiendo y marcando los puntos de unión.

La posición de los puntos principales indicados en el mapa índice, según la figura (8), muestran que es posible

que los puntos de unión, que son puntos de control menor en cada franja, puedan encontrarse para las combinaciones 13-28, 14-27, 15-26, mientras que la 16-25 es dudosa y la 17-24 y 18-23 son imposibles; todo, sin embargo, debe chequearse, inspeccionando las fotos de las combinaciones mencionadas bajo el estereoscopio de espejo.

Por cierto, puede encontrarse un punto (13a) en las fotos 13 y 28, que también se ve en las fotos 12 y 14, 29 y 27. Después de haber marcado, estereoscópicamente y con la ayuda de transportadores el punto 13a en la foto 13 y en la foto 28, esto indícase en el mapa índice mediante las líneas llenas 13a-28. El hecho es que la 13a también habrá de verse (pero no transferirse aún) en la 27 y la 29 solamente se indica con las líneas de puntos 29-13a, 27-13a, etc. En esta forma, el mapa índice muestra claramente el progreso de la preparación y como se hace.

Esto es de importancia práctica, la combinación 16-25 parecerá tener un punto 16a en la solapa triple 15-16-17 y 18-25-24, pero no puede encontrarse un punto similar en 17-24 y 18-23. Por lo tanto, 2 puntos menores separados de control 17a y 24a se perforan en las fotos 17 y 24, respectivamente, mientras que cada una de ellas se transfirieron a la otra franja (17a marcado en fotos 17 y 24 y a verse en 16, 18 y 23).

Después de haber marcado todos los puntos de unión y los puntos de control menores adicionales, los puntos pueden ser transferidos a lo largo de la franja, una por una. Esto se refiere para la triangulación radial gráfica y mecánica, pero debe omitirse en caso de triangulación radial analítica.

En la franja III, por ejemplo (figura 8), el punto 13a se transfiere ahora a 29 y 27, el punto 14a a 28 y 26, etc. Inmediatamente después de haber transferido la 13a a la 29, la línea de puntos se reemplaza por una línea llena, etc.

La idea guía de este procedimiento ha sido:

- 1) En cada foto (i), los puntos de control menores  $i^a$  e  $i^b$  deben marcarse y transferirse a las fotos  $i-1$  y  $i+1$
- 2) Con un mínimo de puntos adicionales, debe establecerse una conexión máxima entre las franjas adyacentes.

La influencia de la inclinación  $\beta$  de los radiales, la cual, de acuerdo a la fórmula  $Eh = \Delta i \cdot \text{tg } \beta \cdot \cos \phi$  pueden causar serios errores en las direcciones, puede reducirse, eligiendo los puntos de triangulación en cada foto, tanto como sea posible en un plano horizontal.

## C A P I T U L O   I I I

### TRIANGULACION RADIAL GRAFICA

#### 1. Notas Generales

Este tipo es el más simple de las tres (gráfica, mecánica o analítica), no requiere instrumentos especiales y puede ejecutarse con ayuda de algunas hojas de material transparente, un lápiz afilado, una regla y un par de compases, a condición de que los puntos de control menor y de control de terreno hayan sido marcados y transferidos (de preferencia estereoscópicamente) a las fotografías y que los puntos de control de terreno hayan sido armados en una "hoja maestra" o "mapa base", en la escala de triangulación requerida.

La triangulación radial gráfica, en tanto que es la más simple de los tres tipos de triangulación radial, es, sin embargo, también la menos exacta. Normalmente, en la práctica fotogramétrica este método ya no se aplica, ya que ha sido totalmente reemplazado por el método del templet acanalado.

Existen dos variedades de triangulación radial gráfica:

- a) El método de "Arundel" (Inglés)
- b) El método de "Templete Manual" (U.S.A.)

## 2. Método de Arundel

Se ubica una hoja larga de material transparente sobre la primera fotografía. El centro radial de esta foto y las direcciones de ésta hacia los puntos de control menor y hasta el centro radial de la segunda foto, se copian en la hoja. Luego, la foto Nº 1 se reemplaza por la foto Nº 2. La hoja se rota, hasta que la dirección 2-1 en la foto 2 cubra la dirección 1-2, ya armada en la hoja. Se elige la dirección 1-2 en forma tal, que corresponda aproximadamente a la escala de triangulación requerida (Si, por ejemplo, es igual a la escala de la foto, luego, la distancia pase será el promedio de las distancias 1-2 en la fotografías Nº 1 y 2).

El centro radial de la foto 2 y las direcciones desde ésta hacia todos los otros puntos marcados en la foto 2, se copian en la hoja. Seguidamente, la foto Nº 2 se reemplaza por la foto Nº 3 y la hoja se rota hasta que la dirección 2-3, en la foto 3, cubra la dirección 2-3 ya marcada en la hoja (en la fase precedente) y luego se transporta la foto 3 paralela a 2-3, hasta que las direcciones 3-2a y 3-2b se intercepten simultáneamente, tanto como sea posible, con los puntos

2a y 2b (encontrados por intercepción en la face precedente). Se continúa con las fotos 4, 5, etc.

Dado que las direcciones a los puntos de control de terreno involucradas también en las fotos se transfieren a la hoja por intercepción, la hoja de triangulación puede compararse, conectarse y ajustarse con la hoja maestra, sobre la que el control de terreno está marcado en la posición correcta. Esto se hace de la siguiente forma (Fig. 9); teniendo en cuenta que se dispone de un punto de control del terreno en ambos extremos de la franja triangulada (esto es el caso normal), la hoja maestra se ubica sobre la hoja de triangulación en forma tal, que el punto A de control de terreno, mostrado en ambas, y las direcciones correspondientes AB, coincidan. El error de cierre (el único en la escala), puede distribuirse según se indica en la figura.

Nota: Si en una combinación de dos fotos sucesivas, se dispone de dos (o más) puntos de control de terreno, se inicia la triangulación con estas fotos, se elige la distancia entre ambos centros radiales en forma tal que la distancia entre los puntos de control de terreno interceptado sea igual que la de la hoja maestra. En esta forma se obtiene una mejor aproximación de la escala en la hoja de triangulación. No obstante, la triangulación se ejecuta en una

hoja separada y más tarde se compara con la hoja maestra, tal como ya se ha discutido. Cada "puente" entre los puntos de control de terreno se cubre con una hoja de triangulación. Esta hoja se trata como una unidad. Por lo tanto, los errores, a parte de los del trabajo lineal, dentro de esta unidad, no son compensados por el procedimiento precedente. Esto, lógicamente, limita la posible aplicación del método.

Si, en cada una de las dos franjas adyacentes, se dispone de un sólo punto de control de terreno (ver. fig. 10), luego los puntos de unión común ("p" y "q"), a ambos extremos de la solapa lateral se usan para conectar las dos franjas. Ambas franjas han sido trianguladas por adelantado en hojas individuales y tienen, por lo tanto, diferentes escalas. La franja N° 2 debe ser llevada a la escala desconocida de la franja N° 1.

Los puntos A, p, q y r se copian en trozo de material transparente, lo suficientemente grande para cubrir el área de la franja N° 2, también.

Esta hoja se ubica luego por encima de la franja 2, con  $p_1$  sobre  $p_2$  y  $p_1 q_1$  a lo largo de  $p_2 q_2$  y, en este caso, lo más económico es trazar rayos a través de S y B, desde  $p_1 (= p_2)$ .

Este proceso se repite desde  $q_1 = q_2$ , con las intercepciones, fijando "S" y "B" a la escala de la franja Nº 1. Es posible ahora, ubicando la hoja maestra sobre la A y B, se transportan, sobre la nueva hoja, interceptar sobre ella las posiciones correctas de p y q ( y r y s para completar). Esto se hace tal como antes, ubicando la hoja maestra sobre la hoja nueva, con los puntos correspondientes A y la dirección común AB, coincidiendo. y dibujando rayos cortos a través de p, q, r y s. Esto se repite desde B.

Cada una de ambas hojas de triangulación pueden ahora ajustarse a la hoja maestra sobre la que los puntos de control menores ajustados y los centros radiales, pueden construirse en forma usual.

Las discrepancias entre los puntos comunes internos de ambas franjas habrán de surgir y deben ser promediados.

Si un block de más de 2 franjas deben éstas de ser ajustadas a sólo 2 puntos de control del terreno, puede aplicarse un procedimiento similar. Otro punto de unión debe usarse en lugar del punto B y el proceso se continúa, trayendo y llevando todas las franjas a la escala de la franja Nº 1.

Este proceso se usó durante largo tiempo en Inglaterra, principalmente para cartografía de mediana y pequeña



escala. El profesor Hart recomienda que "Es preferible, cuando se emplea métodos gráficos, limitar alrededor el número de franjas que deben transportarse con la ayuda de 2 puntos de control del terreno. Dos franjas forman un block adecuado y a menos que sea inevitable, este número no deberá excederse". El número de fotos planteadas en una franja, no debe exceder de 6.

### 3. Método del Templet Manual

En los Estados Unidos, el método de triangulación radial gráfica se ha desarrollado en forma diferente del método de Arundel, que es para una o a lo más 2 franjas. En cambio, el método de templet manual es usado, especialmente para los bloques de franjas. Un templet transparente se usa para cada fotografía individual. En cada templet se copian el centro radial de la foto correspondiente y las direcciones desde ella a los otros 8 puntos de la foto concerniente. La colocación de templets sobre el "mapa base", donde se transportan los puntos de control del terreno a la escala de triangulación, se inicia donde se dispone de la mayor cantidad de puntos de control. Si, por ejemplo, existieran dos puntos, apareciendo cada uno de ellos en 2 templets sucesivos, éstos se ubican de forma tal, que las líneas de base coincidan y los radiales a los puntos de control del terreno, se intercepten en las posiciones de los respectivos puntos de control en el mapa base. Este es un procedimiento de prueba y error.

Si en cualquier fotografía se hallan presentes 3 puntos, entonces esta foto será orientada sobre el mapa base, con la ayuda de una intercepción normal de tres puntos.

La colocación se continuará a lo largo de la línea de vuelo a ambos lados de la foto antes mencionada ( o fotos).

Los templets se ajustan a la base y entre sí con pequeños trozos de cinta adhesiva removible. Pueden colocarse luego templets adicionales, llevando el control hacia adelante, a lo largo de la línea de vuelo. Al encontrar otros puntos de control del terreno, se hallarán errores cercanos. Esos tendrán que ser distribuídos proporcionalmente a lo largo de toda la distancia, recogiendo y recolocando los templets a una base aérea más pequeña o más grande y dando eventualmente, pequeñas cantidades de ala a los templets. El juicio personal es de gran importancia.

La extensión de la triangulación puede introducir ciertos errores acumulados. Cuando una franja parece estar satisfactoriamente ajustada, la siguiente franja se conecta a ésta. El examen de los puntos comunes de la solapa lateral, mostrará que deben hacerse ajustes adicionales.

De este procedimiento de prueba y error se deriva, finalmente, un resultado promedio y el tiempo que esto demanda dependerá en gran medida de la habilidad del operador. Cuando

se incrementa el número de templets, se acumulan los errores leves y la proporción de ellos se hace incrementadamente difícil y hasta cierto punto, imposible.

Nota: 1) Fairchild ha sostenido que, dentro de los límites de la exactitud (todos los puntos comprendidos dentro de 0,05 pulgadas de su posición geográfica real), el método de templet manual es alrededor de 4 veces más rápido que el método gráfico, en cambio, el control de terreno, necesario para este método, es de un 40% de lo requerido por el último método.

2) Una prueba comparativa, entre la triangulación manual de templet y la de templet acanalado, muestra que punteando 9 fotos por franja, en una triangulación de templet manual, no da un resultado correcto.

## C A P I T U L O    I V

### TRIANGULACION DE TEMPLET ACANALADO

#### 1. Procedimiento General

Como en el método de templet manual, se usa un templet para cada fotografía, estos templets deben ser de un material rígido, en el cual el centro radial se reemplaza por un hoyo y las líneas radiales por una ranura (Slot), siendo ambos pinchados por montantes especiales. El centro del hoyo debe coincidir con el centro radial y el eje de la ranura debe pasar a través de dicho centro. Dado que el slot tiene una extensión limitada de 4 a 5 cm. de longitud (suficiente para acomodar leves diferencias en la escala de las fotos individuales, al igual que las diferencias de elevación), se obtiene el mejor arreglo si el punto medio del canal coincide con la posición del punto de control menor en cuestión. Si es conveniente, puede tolerarse cierto cambio radial.

Si la escala de triangulación es igual a la escala de la foto (aproximadamente), se coloca el papel de impresión con la cara hacia arriba, sobre el templet en blanco. Con una fina aguja los puntos marcados sobre la foto, se perfora a través del templete. Con la ayuda de un punch con un

punto de centralización, se perfora el orificio central, luego de lo cual se ubica el templete en un instrumento especial de acanalado, con su orificio central sobre un montante que puede moverse en una muesca (canal) que esté en línea con el cuchillo de la acanaladora.

El templet se rota y mueve a lo largo de la muesca, con la ayuda del montante, hasta que el punto centralizador del cuchillo se halle por encima del punto de control menor marcado; el canal es luego punzado en el templete.

Si la escala de triangulación difiere de la escala de la foto, entonces, luego de haber perforado los puntos desde el papel de impresión, a través del templete, se dibujan finas líneas radialmente, desde el centro, pasando a través de los puntos de control menor, perforados. Sobre estas líneas, las distancias entre el centro radial y los puntos de control menor se alargan o reducen proporcionalmente al radio (promedio) de escala de triangulación-escala de la foto.

El acanalador descrito anteriormente es portátil y manual. Sin embargo, existen otros mejor elaborados. Estos pueden ahorrar tiempo, especialmente en casos en que debe introducirse una diferencia de escala entre las fotos y los templets. La fotografía se ubica sobre una mesa giratoria y el templet sobre una mesa, debajo de ésta. La foto se

ubica en forma tal que un centro radial esté en el centro del eje de rotación de la mesa giratoria. El templet se asegura a su mesa, la cual gira junto con la mesa giratoria, alrededor del mismo eje. Un pequeño puntero puede moverse dentro y fuera de la foto (centro), con la ayuda de una rueda de mano. La mesa giratoria y el puntero se mueven en forma tal que el punto de control menor de la foto se traen directamente debajo del puntero. El movimiento radial de este puntero se transfiere con el alargamiento o reducción necesaria, a un movimiento radial de un cuchillo acanalador por encima de la mesa inferior. De esta forma, un radio de escala automático entre la foto y el templete es obtenido.

En el modernísimo pero costoso sectador Radial de Zeiss, el puntero se reemplaza por un microscopio.

Si deben triangularse fotos con una inclinación conocida usando el punto Nadir como centro radial, las conexiones necesarias en las direcciones de las fotos pueden obtenerse automáticamente en el Sectador Radial Zeiss.

Es luego necesario orientar la foto de la mesa giratoria en la forma prescrita (de acuerdo con la dirección de inclinación máxima) y fijar o colocar el plano inclinado de la foto conocida en un dispositivo de corrección conectado con la mesa de rotación por una rueda dentada. Durante la rotación de la mesa giratoria, el microscopio se mueve auto

náticamente, perpendicular a la dirección radial, en forma tal, que las direcciones de los canales en los templets corresponda a los ángulos horizontales verdaderos.

En el Sectador Radial de Zeiss, el dispositivo de corrección, sin embargo, es sólo efectivo para planos inclinados mayores de  $4^g$ , lo que significa para fotografía no-vertical.

Después que los templets hayan sido punzados, deben ser colocados sobre una mesa horizontal y deben insertarse montantes circulares en el orificio central y en los canales de los dos puntos de control iniciales de cada templet. el ancho de los canales deberá ser de preferencia de 0,05 - 0,15 mm. más que el diámetro de los montantes, a fin de acomodar los errores inevitables en las direcciones causadas por la inclinación de la foto, diferencias de elevación y errores en la transferencia de los puntos de triangulación.

Los templets adyacentes deberán conectarse entre sí, trayendo sus canales por encima del montante, insertado y móvil en el canal del punto correspondiente en la fotografía vecina. El movimiento del montante en los ejes longitudinales de los canales debe ser posible a fin de acomodar las diferencias de la escala (foto) y los desplazamientos radiales, debido al relieve, Se usan por lo tanto canales (muecas) de 4-5 cm. de extensión.

Antes de iniciar la colocación de los templets, debe hacerse un mapa base, sobre el cual se transporten los puntos de control de terreno en sus posiciones correctas.

Dado que en etapa posterior los puntos de control menor se marcarán sobre este mapa base, insertando agujas en los montantes (cuando éstos hayan obtenido sus posiciones finales) y dado que las coordenadas de los orificios pequeños así obtenidos deben ser leídos desde el mapa base, conjuntamente con los puntos de control del terreno, formando así una red completa, indicando el sistema coordinado usado.

El material para el mapa base puede ser, por ejemplo, hoja plástica montada sobre una plancha de caucho plástico.

Si el área a triangularse es grande, será necesario un número determinado de hojas. Estas hojas (reticuladas) deberán orientarse adecuadamente, una con respecto a la otra. Puede suceder que los templetes, todos los cuales están sobrepuestos, toquen los montantes insertados en los templetes vecinos. Es posible, luego, un ajuste adecuado, ya que el montante no puede moverse libremente. Esto tendrá una mala influencia sobre todo el sistema. Los templetes, por lo tanto, deberán cortarse en forma adecuada y bien acondicionados, tanto como sea posible; deben evitarse las muescas filudas, ya que hacen los templets demasiado flexibles.



El templet debe hacerse de un material de superficie lisa; se usa a menudo cartón. No se requiere transferencia, pero puede ser útil, para detectar fallas en la colocación, cierre de los montantes, etc. En Holanda, se usa a menudo, para material de templet, la película vieja de rayos X, la que se hace transparente quitándole la emulsión. por lavado. Además, este material es bien rígido. El material plástico transparente no puede recomendarse a menudo, por ser electrostático, como resultado de mucha fricción en la colocación.

La fricción entre los templets, entre los montantes y entre las muescas (canales) y entre los templets y el mapa base, deben disminuirse lo máximo posible, a fin de permitir los movimientos de ajuste necesarios de templets y montantes. Por lo tanto, el cartón es a menudo encerado. Esto también disminuye los cambios causados por posible absorción de humedad. La película de Rayos X no es absorbente y no requiere tratamiento especial.

Los puntos de control de terreno están representados por agujas insertadas en la fibra o jebe, en el punto transportado en el mapa base; un montante debe ser ubicado sobre esta aguja.

La colocación se inicia desde un punto de control de terreno arbitrario, ubicando los templets sobre el que aparece y está acanalado; este punto de control de terreno con su correspondiente canal sobre el montante ubicado y ajustado. Seguidamente el siguiente templet se conecta al primero.

La escala y el azimuth sólo se conocen aproximadamente a menos que se dispongan de dos o más puntos de control de terreno.

Cuando se alcanza el siguiente punto de control de terreno, habrá errores cercanos en la escala, al igual que el azimuth. Estos pueden ajustarse fácilmente, moviendo todo el armado dentro o fuera, y rotándolo.

De ser necesario, puede darse a los templets cierto movimiento o rotación, aunque limitado en magnitud. Esto se debe al hecho de que siempre hay cierta tolerancia para el movimiento de los montantes en los canales, aún cuando se intercepten entre sí. Esta tolerancia es de fundamental importancia para el ajuste de los pequeños errores restantes. Debe enfatizarse que los movimientos individuales, en particular, deben ejecutarse con el máximo de cuidado. El tratamiento rudo puede causar estorbo local, tensiones, etc., que tienen mala influencia en el armado en general.

Se recomienda comenzar colocando los templets alternos de las franjas y en una segunda etapa llenar los templets intermedios. Franja tras franja puede colocarse, conectando las franjas de las superposición (solapa) lateral. Las franjas cruzadas son una ayuda para la exactitud de la construcción geométrica, pero pueden dar lugar a dificultades prácticas. Si cruzan un juego de franjas paralelas, luego localmente, hasta nueve templets, se cubren entre sí. Esta situación debe bosquejarse previamente antes o durante la etapa de preparación.

Dado que cada foto necesita 9 puntos de triangulación y cada punto debe ser provisto de un montante, surge una situación muy complicada, por el gran número de templets, canales y montantes.

Durante la preparación, debe tenerse en cuenta que el número de puntos necesarios debe mantenerse al mínimo, combinando los puntos tanto como sea posible. Ver Fig 12

a) Los puntos a son centros radiales (en una franja cruzada o las franjas de llenado) usados como puntos de control menor en las franjas de llenado o en franja cruzada.

b) Los puntos b usados como puntos de control menor en las franjas cruzadas, al igual que en las de llenado.

c) Los puntos c son puntos de control menor, usados en la franja de llenado, no usados en las franjas restantes.

d) Los puntos d son puntos de control menor en una franja de llenado, no usados en la franja cruzada.

Si, por ejemplo, la franja cruzada es proyectada antes de la franja de llenado, entonces deben punzarse orificios circulares en el templet de las franjas de llenado, que, de otra forma, cubrirían los montantes de los puntos c.

Los montantes de los puntos d se mueven por encima de los templets de la franja cruzada.

Deben asegurarse que estos montantes puedan tener libres movimientos de ajuste y que no toquen los bordes de los templets inferiores.

Después de haberse proyectado el armado completo, deben insertarse agujas en todos los montantes y pinchados (perforadas) en el mapa base.

Dado que deben evitarse las tensiones, es mejor comenzar insertando primero agujas en sólo una de cada 5 centros radiales, por ejemplo, y luego en todos los puntos.

Toda la masa de templets puede ahora levantarse del mapa base y sólo se dejan las agujas.

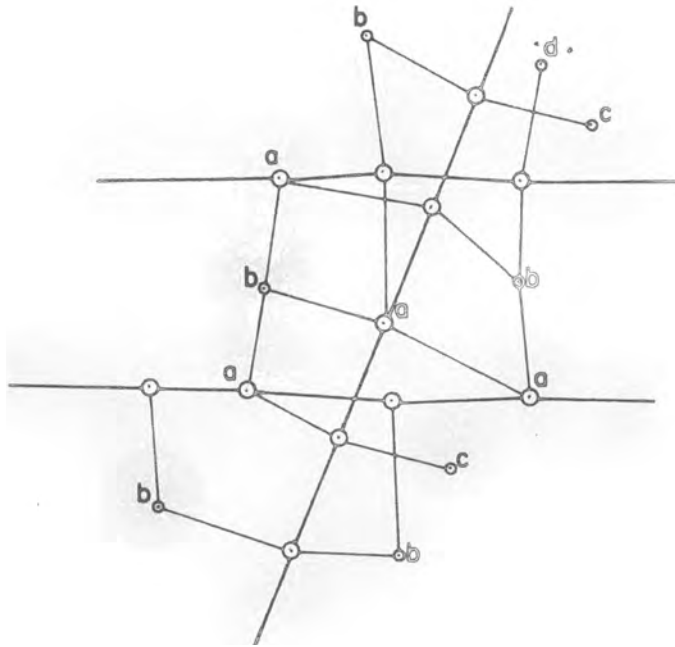


FIG. 12

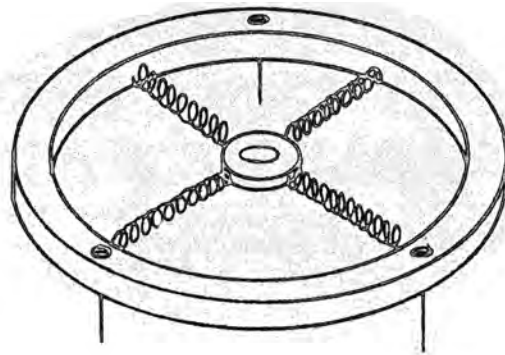


FIG. 13

Los números de los puntos se hallan comparándolos con los templets.

Para aumentar la exactitud de la escala de proyección, en un área determinada, se mide sobre el terreno, la distancia entre dos puntos bien definidos en las fotos, lo que resulta económico, por ser usualmente fácil.

En una franja de material terso pueden hacerse dos orificios, con una separación entre sí igual a la distancia medida en la escala de triangulación. Esta franja es luego proyectada sobre los montantes insertados en los canales de los puntos de foto correspondientes.

Solamente se puede medir sobre el terreno la distancia entre los puntos y también el azimuth astronómico de la línea de conexión, entonces se hace una pequeña proyección separada de aquellos templets donde se encuentra la línea de conexión de los puntos terminales sobre un mapa base pequeño especial, de material transparente rígido. Se transporta una red, orientada sobre este pequeño mapa base. El origen del sistema coordenado local puede proyectarse en uno de los puntos; el otro, u otros, se transportan en el mismo sistema, mostrando el azimuth verdadero. Después de haber completado la proyección local, todos los templets, excepto aquellos a lo largo de las filas, se quitan; los templets fronterizos se ajustan a este

mapa base, que actuará en la proyección grande como un templet, mientras que los templets a lo largo de los bordes de éste, establecerán la conexión con los otros templets.

La red sobre el mapa base pequeño, puede ahora verse en cualquier momento y debe orientarse (con un guía de paralelas espaciales) en relación de la red del mapa grande.

Para los puntos de control de terreno, de los cuales se obtiene las coordenadas por observación astronómica, se usan a veces montantes flotantes, a fin de acomodar los errores de posición, causados por la desviación desconocida de la línea de plomada.

Se erije un montante normal sobre tal punto de control del terreno y se fija un dispositivo (ver fig. 13), se coloca sobre cada montante y se presiona sobre el piso de triangulación, fijándolo firmemente en posición.

Luego, se quita el alfiler del montante, que queda en posición, en tanto no exista presión lateral sobre los montantes, provocando el alargamiento de cualquiera de los resortes. Este tipo de montante flotante también puede usarse para los puntos de control del terreno, determinado por medio electrónico (Radar, G.H. Shoran, etc.)

El siguiente, es el análisis del tiempo requerido para todas las etapas de la triangulación con templete acanalado, teniendo en cuenta que:

- 1) El punto principal se usa como centro radial;
- 2) La escala de triangulación igual a la escala de la foto; y
- 3) Se usa un acanalador simple portátil.



Horas/hombre  
por fotografía

|   |              |         |
|---|--------------|---------|
| 1. Construcción del mapa índice   | 0,075        |         |
| Marcación de los puntos principales   | 0,025        |         |
| 3. Transferencia de puntos principales a lo largo de la franja  | 0,125        |         |
| 4. Selección y marcación de puntos de enlace laterales y puntos de control menores adicionales                    | 0,200        |         |
| 5. Transferencia de los puntos de control menores y de enlace a lo largo de las franjas                           | 0,300        |         |
| b. Transferencia de los puntos de foto a los templets   |              |         |
| 7. Descripción de los puntos sobre los templets   | 0,200        |         |
| 8. Pinchado de los templets y perfecto cortado  |              |         |
| 9. Proyección de los templets   | <b>0.200</b> |         |
| 10. Inserción de agujas en los montantes, perforación en el mapa base, descripción de los puntos en el mapa base. | 0,060        |         |
| a. Construcción del mapa base   | 0,100        |         |
| b. Lectura de coordenadas de los orificios de agua (representando puntos de triangulación) de éstas.              | <u>0,250</u> |         |
|   | <b>1,535</b> | hr/foto |

Sección Fotogramétrica

Oficina de Dibujo

## 2. Métodos Especiales con Fotografías Normales

### a) Templets de Brazo Radial

En lugar de representar las direcciones de las fotos mediante corte de canales en los templets, las direcciones se representan aquí por canales pre-cortados en finos brazos metálicos de diversas extensiones. Estos brazos se empernan juntos en el centro radial. En este caso, la leve flexibilidad de los brazos permite el ajuste de pequeños triángulos de error en los puntos de paso.

La forma de esqueleto o "araña" del armado, ayuda en la observación de cualquier ajuste necesario para el rechazo de posiciones de control transportadas.

Probablemente, la mayor ventaja está en que pueden volver a usarse. Dado que es difícil a veces conseguir cartón o finas hojas de metal, éste, entonces, puede ser un factor decisivo.

La opinión actual está dividida en lo que respecta a la cartografía precisa y a los méritos relativos de los templets de brazos radiales y los templets acanalados. No obstante, el reciente desarrollo de stereo-templets abre posibilidades de incrementar la precisión en el control de templets.

El Dr. Fagerholm (ver en la parte b. de este capítulo), de Suecia, hizo una serie de pruebas comparativas en templets acanalados y de brazo radial, estableciendo que: "las pruebas con templets de estrella norteamericanos mostraron que la exactitud, estabilidad y ajuste del armado, era mucho menor y que sólo podrían aconsejarse para trabajos aproximados.

b) Triangulación de templet acanalado precisa.

Este método ha sido desarrollado en Suecia por el Dr. Fagerholm. Dado que la fricción es el enemigo más serio en un armado adecuado, debe reducirse tanto como sea posible. El Dr. Fagerholm sugiere, por lo tanto, el uso de finas láminas de acero para los templets (el costo de éstas es igual al del papel fotográfico) y que se esparzan budoques de plomo muy pequeños entre los templets. Durante el trazado deberá hacerse vibrar el armado frecuentemente, eliminando así la fricción. Todo el armado debe ser inclinado respectivamente en las 4 direcciones y vibrado.

En cada una de las cuatro posiciones, los puntos serán marcados sobre el mapa base. El centro de las cuatro marcas deberá elegirse como posición definida.

Los experimentos han demostrado que los "errores sistmáticos", al igual que los errores accidentales, se reducen

considerablemente. En una prueba teórica, con 7 franjas de 12 templets c/u., sin vibración o inclinación, se encontró un  $m_p$  de 0.84 mm, la que, después de la vibración y la inclinación, se redujo a alrededor de 0.25 mm. La exactitud relativa en el último caso, fue muy alta. Se encontró, sobre todas las distancias, un error cuadrado medio constante de alrededor de 0.2 mm. de extensión.

"El uso de impresiones de papel debe ser con material absolutamente liso, ya que el arrugado diferencial causa errores de magnitud de  $16^C$ ". El Dr. Fagerholm recomienda por lo tanto, que los puntos sean marcados directamente en los negativos.

#### c) Templets de Azimuth

La triangulación con templet acanalado da mejores resultados en la dirección del vuelo que en la perpendicular a ella. Esto es especialmente cierto cuando se debe triangular un número limitado de franjas (ver figura 14): la parte central del armado puede trasladarse fácilmente en dirección Y.

La exactitud azimutal puede incrementarse considerablemente, usando los llamados templets "Azimuth".

Según la figura (15), los centros radiales 3 y 5 deben ser transferidos a la foto 4. Aquí se traza la línea 3.5 .

Sobre esta línea se elige un punto  $p$  ( $q$ ), en forma tal, que el conjugado en la foto 3 (5), esté bastante cerca del lado derecho (izquierdo) de esta fotografía. Los templets de las fotos 3 y 5 deben tener colas. Los radiales 3. y 5q. sobre ella deben extenderse hasta que la distancia sea casi equivalente a la de 3.5 de la foto 4. En esta forma se establece una conexión azimutal directa entre los centros radiales de las fotografías alternas. Esto fortalece la dirección Y.

Limitaciones del método: 1) las direcciones 3.5, etc., se obtienen por extrapolación; esto tiene valor sólo cuando las extensiones 3.p., etc., son mucho mayores que 3.4., etc. Esto depende de la sobreposición longitudinal. 2) el punto  $p$  en la foto 3 y el punto  $q$  en la foto 5, son sólo puntos de las líneas 3.5 en la foto 3 y 5.3 en la foto, respectivamente, cuando los puntos del terreno 3.5.p y el punto  $q$  están situados en una línea espacial. En la práctica esto significa que el terreno debe ser relativamente plano.

### 3. Método de Templet Acanalado con Posición Mejorada de los Puntos de Control Menores.

#### a. Templets de fotografías rectificadas

Este método se aplica en Finlandia. El uso de la cámara de horizonte es esencial en este caso, porque:

- 1) Se localiza el punto Nadir en el negativo; y
- 2) Se rectifica el negativo.

Usando las fotografías rectificadas como base para los templets, los errores causados por el declive de la foto se eliminan; usando el punto nadir como centro radial, los errores causados no tienen influencia.

El Sr. Tikka, ingeniero Finlandés, hizo un análisis de la fuente de errores en el procedimiento que precede.

|                    |                          |                   |
|--------------------|--------------------------|-------------------|
| Fuente de errores: | inclinación              | 0 <sup>c</sup> ,4 |
|                    | Diferencias de elevación | 2 <sup>c</sup> ,4 |
|                    | Marcación                | 8 <sup>c</sup> ,0 |

#### b. Stereo-Templets

Estos son templets convencionales. La diferencia, sin embargo, con los métodos precedentes, es que estos templets se establecen con un transportador especial de un modelo estereoscópico y no de simples fotos. Este es un método muy seguro. Es, también, económico, si se requiere una triangulación para X, Y, Z.

Para la triangulación Z, se requerirá de todas formas de un instrumento espacial. Si, simultáneamente con la lectura de Z, se transportan los puntos; esto sirve como base para los templets.

En esta transportación, las diferencias de altura y de inclinación de la foto son completamente eliminadas. Sólo el error en la inclinación absoluta del modelo causa cierta,

pero, usualmente negligible, deformación de las direcciones.

La transportación puede hacerse continuamente sobre una larga hoja de papel, conectando los modelos por sus puntos comunes, o bien cada modelo puede ser transportado separadamente sobre un templet. En el segundo caso se obtiene "medios" templets. Antes de acanalar los templets, debe hacerse un templet duplicado de cada uno (Ver fig. 17). Estos dos templets idénticos se combinan para tener un medio de ajustar la escala de transportación. Para este fin, en uno de ellos un punto y en el otro, el punto puesto diagonalmente, se reemplazan por orificios.

Nota: Los puntos principales no necesitan ser transportados al templet.

Teóricamente, cualquier punto puede elegirse como punto radial (la transportación es una proyección ortogonal del terreno), pero, en la práctica, estos dos puntos son elegidos por plot, que da la mejor intersección de los radiales correspondientes. Si se presentara un punto de control terrestre, en o cerca del centro del modelo, se obtendrá una intersección de canal muy débil en este punto. En ese caso, se recomienda no usar dos puntos diagonales como centros radiales, sino dos puntos verticalmente opuestos entre sí (Ver fig. 18).

Si la franja es transportada continuamente en una hoja de papel larga, pueden elegirse otras combinaciones de puntos para cada templet.

Una combinación de dos modelos sucesivos, por ejemplo, dará stereo templets de forma cuadrada (ver fig. 19).

La triangulación de stereo-templets requiere el uso de stereo-transportadores. Este transportador, sin embargo, no necesita necesariamente estar equipado con el paralelogramo de Zeiss. Transportadores del tipo "no punteados", tales como el PG-2, Kelsh, el Wild A6.A8., etc., pueden usarse para tal fin.

El I. G. N. de París desarrolló otro tipo de stereo-templets acanalados. A fin de tener bajo todas las condiciones, intersección de los radiales correspondientes de 90 grados sobre los templets duplicados, la cuchilla del acanalador puede tener un ángulo fijo de más o menos 45 grados; más para el primero y menos para el segundo templet (ver fig.20). Un punto arbitrario en el centro de los stereo-templets se usa como centro radial. Se realiza un cambio de escala por rotación de los templets relativos entre sí.



## C A P I T U L O     V

### EXACTITUD DE LA TRIANGULACION DE TEMPLET ACANALADO

#### 1. Consideraciones Generales

Debemos distinguir entre exactitud absoluta y relativa. La exactitud relativa (en distancia) entre los puntos adyacentes, será considerablemente mejor que la exactitud en la posición absoluta de los puntos. La última es enteramente dependiente del número y arreglo de los puntos de control, pero la anterior es sólo parcial. Dividiendo el área en un número de bloques, los errores absolutos en todos los puntos dentro de cada bloque, tendrán casi la misma magnitud y dirección, debido a la correlación de altura. El promedio de todos los errores absolutos en un bloque puede considerarse como un error sistemático local, y las diferencias entre los errores individuales y el promedio precedente como errores accidentales. El límite más bajo de estos errores accidentales (irregulares) se fija por la debilidad del procedimiento de intercepción mecánica en sí. Por lo tanto, si las unidades de bloques son suficientemente pequeñas, el valor cuadrado medio de estos errores accidentales es el límite más bajo antes mencionado.

La exactitud absoluta puede ser una función lineal de la distancia promedio (d) entre los puntos de control terrestres sobre el mapa base, considerando una distribución regular de estos puntos sobre el mismo.

Dado que la distancia es proporcional a la raíz cuadrada de la "densidad de control"  $t/c$ , en que  $t$  es igual al número de templets que cubren el área y  $c$  el número de puntos de control de terreno, puede esperarse que el error total  $m$ . sq. en posición de punto absoluto sea:

$$m = K_1 d + K_2$$

$$m = K_3 \sqrt{t/c} + K_2$$

Nota:  $K_2$  parece ser de alrededor de 0,4, para los templets normales (ref. V. 3) pero sólo es 0,2 mm para el método "Fagerholm" (ref. IV.2.b) ambas en la escala de triangulación.

## 2. Pruebas Ejecutadas en los Estados Unidos (\*)

Las pruebas I-VII se ejecutaron con el mismo juego de templets. El área de prueba fue un cuadrángulo de 15 minutos (12,7 x 13,4 min. cuadrados). La diferencia de elevación má-

(\*) Referencia: Manual de Fotogrametría, Washington 1952.

xima fue de 200'.

273 fueron los puntos de control de suelo con posición conocida. En cada prueba un número indicado de estos puntos se usó como puntos de control de suelo, los otros sirvieron como puntos de chequeo. Doce franjas, cada una de alrededor de 19 fotografías, cubrieron el área. La escala de la foto fue de alrededor de 1:12,000; el formato de la foto 9" x 9". La fotografía fue de calidad promedio. Se hicieron copias en papel inarrugable. El punto principal se usó como centro radial. La triangulación se ejecutó en la escala de la fotografía (1: 12,000). Se usaron cuatro Cartones ply Bristol para los templets. El tamaño de la proyección fue de 6 x 8 piés.

Prueba I. Cuatro puntos de control de suelo en las esquinas de la proyección. "El armado se aflojó y pudo moverse y una extensión apreciable en cualquier dirección, excepto cerca de los puntos de control.

No obstante:

El error de posición absoluta - fue 54' - M. sq (alrededor de 1,25 mm en el mapa).

El error relativo (m. sq) en distancias entre puntos adyacentes tal como fuera transportada por este armado de templets, fue de 30' o sólo la mitad de m. sq. error de posición". (Ver figura 21).

Prueba II. Se repitió el trazado, usando los mismos puntos de control terrestre empleados en la Prueba 1, con un punto adicional en el centro. "El punto adicional fortaleció el armado sólo levemente. El armado pudo a'un ser movido en los bordes externos entre los puntos de control de suelo, pero se redujeron apreciablemente los errores en la vecindad del punto de control adicional. "M.sq.pos. error: 45'. Error máximo: 125' (Ver figura 22).

Prueba III. Aquí se usa tanto control terrestre que no se puentean más de 10 a 16 fotos. Esta cantidad de control es suficientemente para eliminar cualquier movimiento en los templets armados.

M.sq.pos. error: 23' (0,55 mm) Error máximo: 90' (2,25 mm) (Ver figura 23).

Prueba IV. Se usa aquí un arreglo de control terrestre que corresponde con "la transversa a través de los fines de los vuelos de una estación de triangulación a otra. Los puntos de control terrestre se eligen en la superposición lateral entre cada vuelo. Lo que es más, es siempre preferible tener uno o dos puntos a lo largo de los vuelos externos para prevenir el arqueado hacia adentro o hacia afuera de los templets.

M. sq. pos. error: 19' (0,45mm). Error Máximo: 50' (1,25mm.) (Ver figura 24).

Pruebas V, VI y VII. Pruebas de Extrapolación. Se ha encontrado que con el templete acanalado (método de) la exactitud del sistema se extiende más rápidamente fuera de los puntos de control.

M. sq. pos. error: 75'. Error máximo: 380' (Ver figura 25).

La prueba N<sup>o</sup> VI se ejecutó casi con los mismos arreglos de control que en la V, reduciendo solamente el número de puntos de control de 13 a 7. Se halló casi el mismo resultado.

Prueba N<sup>o</sup> VII. Control a lo largo de una línea exterior de vuelo solamente.

M. sq. error posible: 450' (!). Error máximo 1300' (!) (Ver figura 26).

#### Prueba Comparativa entre la Triangulación con Templete Manual y Templete Acanalado.

Los templetas manuales se hicieron de las mismas fotos que las usadas arriba. Se usó un arreglo de control de terreno, inicialmente igual al de la prueba IV. Se hizo aparentemente, no bien se inició el armado, que el número de puntos de control terrestre eran insuficientes para el método de templete manual y se agregaron, aproximadamente, un 20 por ciento más de puntos.

Se hizo luego un esfuerzo diligente para colocar los templets, pero sin éxito.

Se agregaron, eventualmente, otros ocho puntos de control, estirándolos a lo largo de los centros de vuelo. Entonces la proyección tuvo éxito. Esto estuvo en línea con la experiencia previa: no más de alrededor de 9 fotografías pueden puentearse con el método de templet manual".

M. Sq. error posible: 26' (0,65mm.)

Error Máximo: 65' (1.6 mm.)

(Ver figura 27.)

### Pruebas adicionales

En una prueba con templet acanalado grande, se experimentaron serias dificultades para mover la masa de templets (verios cientos !!), para fines de ajuste, indicando que sin desarrollo subsiguiente, éste (40 fotos entre control), era probablemente el límite al que podía extenderse el método de obtener control.

Sin embargo, las distancias entre las estaciones de control, tal como se usaron en la prueba precedente, no son el máximo requerido para puentear el espacio entre las redes de triangulación establecidas en todas las partes del mundo.

Por lo tanto, el simple experimento de encerrar los templets a fin de reducir la fricción, se logró en la siguiente prueba de gran escala (Ver figura 28).

2,700 templets de 4,400 ml. cuad. sobre 1:15.840 de 1:20,000 fotografías.

25 franjas de alrededor de 108 fotos cada una.

M. sq. pos. error: 56' (1,05 mm.)

Máximo error: 140' (2,65 mm.)

No se presentaron dificultades en la colocación del armado. El encerado de los templets hizo posible el movimiento de la masa de los templets, en forma de poder se ajustados con otros vuelos. En suma, se obtuvo un ajuste general mucho más correcto.

### 3. Pruebas Ejecutadas en Alemania (\*)

Los negativos, formato 18 x 18 cm<sup>2</sup> se proyectaron en una ampliación de 1,5 veces en papel de correctostato cubierto con emulsión fotográfica. Las ampliaciones se prepararon en la forma usual (el resultado de la preparación fue la presencia marcada de, por lo menos, los 9 puntos usuales).

(\*) Referencia Lufbilmf y Lifdbildmessung 1944, nr. 29)

En vez de transferir los puntos de la foto a templets especiales, las fotografías ampliadas mismas se usaron como templets. La escala de triangulación fue, por lo tanto, de 1,5 veces la escala del negativo, el tamaño de los templets alrededor de 30 x 30 cm. El punto principal se usó como centro radial.

Los experimentos especiales demostraron que:

1. Cierta tolerancia entre los montantes y los canales (0,05 - 0,25 mm) no baja la exactitud, pero por el contrario, facilita la proyección considerablemente: los errores en las direcciones, debidos a inclinación y elevación del suelo, por diferencias de éstas, se ajustaron automáticamente.

2. Dado que la triangulación con templet acanalado convencional parecía que la escala se ajusta mejor que el azimuth (en otras palabras: la exactitud de posición en la dirección de la línea de vuelo es más alta que en la dirección perpendicular a ésta). Se buscaron medios de mejorar la exactitud de la dirección azimutal.

Tal mejora pudo obtenerse usando más puntos de conexión longitudinal por fotografía. Se marcaron 15 puntos en vez de 9 en una foto: ver fig. 5.3 a para la posición de estos puntos (Ver figura 29).



Nota: Dado que un mayor número de canales puede disminuir la dureza de los templets si éstos son más pequeños que 30 x 30 cm., debe tenerse cuidado con la aplicación de este método, que también involucra tiempo extra.

3. En la práctica, sólo dos arreglos diferentes de puntos de control de suelo parecen ser prácticos, a saber:

- I. Los puntos de control terrestre, se distribuyen regularmente con separación (e) sobre el área.
- II. Los puntos de control terrestre se establecen con pequeños intervalos, en líneas paralelas (transversales) teniendo las líneas iguales distancias mutuas (a).

Sobre la base de un número de pruebas, los alemanes descubrieron las siguientes relaciones para el error cuadrado medio en posición de punto absoluto en estos dos casos:

- I.  $m_p$  (en mm.) =  $0,000 \sqrt{6e + 0,4}$
- II.  $m_p$  (" " ) =  $0,000 \sqrt{2a + 0,4}$

en los cuales e y a son las distancias tal como se exhiben en el mapa base en milímetros. Se recomienda que nunca se usen los valores de e mayores de 1 metro y los de a mayores de 3 metros.

4. Se ejecutó una prueba especial con triangulación de templet acanalado en una área grande : 10,000 km. cuadra dos, con grandes diferencias de elevación (de hasta 1.100 m).

La escala de la foto era de 1:50,000 y la escala de triangulación de 1:25,000.

Hubieron alrededor de mil templetas de 19 franjas, este-oeste, 2 x 4 franjas, respectivamente, a lo largo de los lados externos, occidental y oriental (norte-sur) y una franja norte-sur a través del centro. El tamaño del mapa base fue de alrededor de 5,25 x 5,25 m<sup>2</sup>.

Prueba I. Número de puntos de control de suelo, regularmente distribuidos sobre el área:

33. La distancia  $e = 95$  cm.

Resultado:

$m_p = 1,4$ mm.

max.: 4,1 mm.

(Ver figura 30)

Prueba II y III

(Ver figura 31)

Prueba II. La proyección se inició construyendo un marco circundante de 3-4 franjas conectando las cuatro "redes" de puntos de control terrestre.

Durante el llenado, sin embargo, se descubrieron discrepancias de tal magnitud que la proyección no pudo ser extendida hacia el centro.

Prueba III. Se hizo una nueva prueba con el arreglo de control de II. Se extendieron 3 franjas, conectando los grupos de control terrestre del norte. Se conectaron luego franja tras franja, extendiendo la proyección de norte a sur. En la parte central, sin embargo, no pudo continuarse la proyección debido a grandes discrepancias.

Prueba IV (Ver figura 32). Dado que con el arreglo de puntos de control terrestre antes mencionado, no pudo obtenerse resultado alguno por medio de la triangulación con templete acanalado, se trianguló un marco de franjas en el estereoplanígrafo.

De esta forma, se obtuvieron un número de puntos de control terrestre adicionales - en líneas que rodeaban el área y en una línea vertical en el centro.

Usando estos puntos en una nueva proyección con templete acanalado, se obtuvieron buenos resultados. Estos fueron aún mejores que los de la prueba I, esto es:

$$m_p = 1,0 \text{ mm. Máx.} = 3,3$$

Conclusión: el establecimiento de control terrestre adicional por medio de triangulación espacial de franjas de

marcos puede ser recomendado.

#### 4. Pruebas con Estereo Templets Ejecutadas en Francia (\*)

Area de Prueba: Huttwil (Suiza) 50 x 50 km. cuadrados, área montañosa, diferencias de elevación: 400 - 2200 m.

Fotografía: Cámara SOM - Plate, 18 x 18, f: 125 mm. 1:50,000; 7 franjas este-oeste de 15-18 modelos cada una, 3 franjas transversales (norte-sur) dos a lo largo de los límites, la tercera a través del centro.

Los estereo templets se hicieron en la pivilliers Stereotopographse B.H. - 210 puntos de contro, se usaron: (Ver figura 33)

##### Prueba Nº 1

Escala de Templets: 1:25,000 m. sq.

Error de posición absoluta: 14,5 metros = 0,58 mm. sobre el mapa.

##### Prueba Nº 2

Escala de templets: 1:50,000 m. sq.

Error de posición absoluta: 22,5 metros = 0,45 mm. sobre el mapa.

(\*) Referencia : Compte rendu des travaúx effectués para l' I.G.N. pour l'essai controlé nr: 1 Commission III Stockholm Congress 1956.

Conclusión: a pesar del terreno montañoso, en la prueba 2 se obtuvo exactitud, que es doble de la que se puede esperar de la fórmula alemana.

## C A P I T U L O    V I

APLICACION PRACTICA DE LA TRIANGULACION RADIAL (STEREO  
TEMPLETS) UTILIZANDO UN BLOQUE DE AEROFOTOGRAFIAS DE  
LA ZONA DEL VALLE DE HUAURA    ( LIMA        PERU )

### 1. Notas Generales

La explicación de los pasos a seguir en esta práctica, se hace en forma genérica y agregando algunos aspectos teóricos, para el mejor entendimiento del lector.

### 2. Preparación de las Aerofotografías

Teniendo en cuenta las consideraciones que se hacen en los apéndices 1 y 2 del Capítulo II, se procedió a la preparación de las aerofotografías determinándose, simbolizándose y registrándose, mediante picados, los puntos de imagen que, correspondiendo a un punto del terreno, tendrán luego coordenadas terrestres obtenidas en Gabinete, mediante la triangulación radial (Stereo-Templets);

Siendo este proceso de gran importancia para el resultado final de la triangulación radial, se pone en conocimiento del lector las siguientes consideraciones adicionales que se han tomado:

## 2.1 Preparación de Puntos

Tipos de Puntos de Preparación:

- Puntos de paso, para sólo realizar stereo-templets; muchas veces es posible escogerlos durante el stereo-templet, haciendo gráficos-descripción de cada punto.
- Puntos de enlace, para mejorar y apreciar la precisión relativa del stereo-templet de dos o más vuelos adyacentes.
- Puntos de apoyo, para, como su nombre lo indica, apoyar el modelo o el área por mapear en la orientación absoluta.
- Pueden haber puntos que sirvan a la vez a los tres o a dos propósitos, como se ha presentado en esta práctica.

La preparación de puntos es la etapa en la cual se registra mediante el pinchado en la fotografía o el picado en la placa, el punto imagen escogido para determinar luego sus coordenadas.

La preparación de puntos comprende las siguientes fases:

- a. Determinación de las zonas de preparación;
- b. Pinchado o picado de puntos.
- c. Transferencia de puntos.

#### 2.1.a. Determinación de las Zonas de Preparación

La zona de preparación para un punto de paso o apoyo, debe encerrar puntos con una máxima diferencia de coordenadas dentro del modelo o del área por restituir, respectivamente, para definir mejor los elementos de orientación absoluta, sin que llegue a comprender los extremos de la fotografía, donde, por razones de calidad de imagen y límite mecánico del instrumento, es impracticable, difícil e imprecisa la observación o lectura instrumental; no se deben usar puntos que estén a menos de 2.5 cm. de los bordes de la fotografía.

- Las áreas para los puntos de paso deben estar en la zona de triple traslapo; de esta manera se asegura que cada punto tenga dos lecturas diferentes en los modelos adyacentes, dando un indicio de la calidad de la fase operativa, además, elimina el exceso de puntos.



- Las zonas de preparación deben encerrar uno o más puntos de control que tengan las siguientes características:

1. Que no sean objetos inestables, o móviles, como dunas, animales, olas, etc.
2. Que no sea el límite de una sombra o ella misma.
3. Que no estén en lo posible, en zonas de fuerte pendiente (tratar de que sea zona plana).
4. Que no sean objetos agudos o angulares (postes, puntas rocosas, etc.)
5. Que no sea el límite de una zona cultivada (cambia con las labores agrícolas).
6. Que tenga contraste de imagen.
7. Que estén en una zona de buena visión estereoscópica.
8. Que no esté, en lo posible, sobre o entre árboles o sembríos (puede no verse en otro vuelo).

Al tratarse de puntos de enlace, debe constatarse que sean visibles estereoscópicamente en ambas líneas.

#### 2.1.b. Pinchado o Picado de Puntos

El pinchado de puntos en las fotos debe hacerse estereoscópicamente, dejando un borde uniforme sin rebabas ni rasgaduras; el diámetro de la pinchadura debe ser sólo visible con lupa o estereoscopio de espejos de x6 aumentos. En general, con estereoscopio o lupa de igual aumento que aquél de los instrumentos de triangulación a usarse.

El picado de placas elimina el pinchado de fotos, dando mayor rapidez y precisión a la fase instrumental. El picado debe aparecer como un círculo bien definido, no tener rasgaduras en la emulsión. El diámetro debe ser ligeramente mayor que el de la marca flotante de los instrumentos a usarse, nunca menor (a excepción de los instrumentos con marca transparente, como el Kern PG-2).

El pinchado o picado de los puntos de enlace se realiza sólo al momento de hacer la transferencia a menos que se trate de puntos de apoyo que estén situados en sólo una línea de vuelo. Los puntos de control terrestre nunca serán pinchados o picados en gabinete.

### 2.1.c. Transferencia de Puntos

Es llevar, estereoscópicamente, mediante el pinchado o picado, el punto escogido en una línea a la adyacente y sólo a ella. Es esta la etapa de preparación en la que se realiza simultáneamente el picado de placas mediante los instrumentos adecuados.

## 2.2 Instrumentos

Los instrumentos en la preparación de la triangulación radial se dividen en:

- Instrumentos de observación, estereoscopio de espejos, sólo este tipo de estereoscopio es adecuado, debido a que ofrece la posibilidad de un aumento óptico en la observación estereoscópica y de un chequeo pseudoscópico, cuando se ha pinchado la transferencia.

Instrumento de pinchado: la aguja, que debe tener la punta como un cono muy agudo; esto se consigue fácilmente y con corrección, usando una piedra de Arkansas. Al momento de ejecutar el pinchado, la aguja debe estar vertical y ligeramente traspasar la fotografía. Como auxiliar ventajoso, se puede usar el siguiente arreglo: dos círculos de plástico de 5 cm. de diámetro y con poco espesor, en cuyos centros se encuentran pequeñas circunferencias de color negro, las cuales se usan como marcas flotantes, una vez colocadas "en tierra" se atraviezan con la aguja. Algo similar es fabricado por la casa Zeiss.

- Instrumentos de picado; tenemos el PUG de la casa Wild, que trae incluida, además, la parte de observación, el picado en sí lo hace mediante fresas rotatorias.

- Transportador de puntos, diseño ITC, fabricación Zeiss, ejecuta el picado mediante una esfera muy pequeña que es golpeada sobre la emulsión, requiere estereoscopio de espejos.

La aguja para el picado debe tener la punta como un cono de 90º aproximadamente, de modo que baste presionar ligeramente la emulsión. Requiere de gran habilidad y entrenamiento, por lo cual no se usa tanto como los otros instrumentos, ya que este proceso es muy lento y riesgoso. También como el pinchado, hay un auxiliar para simplificar el trabajo en este caso, los centros de los círculos ya están perforados.

### 2.3. Confección del Mapa Índice

Para la confección de este mapa, se ha tomado en cuenta las consideraciones del apéndice 3, Capítulo II, la figura adjunta indica el mapa índice de esta práctica.

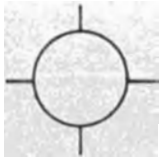
### 2.4. Simbología

En la preparación de puntos, los puntos de control terrestre se han simbolizado de la siguiente manera: Color rojo, dimensión, lado o diámetro 12 mm. (Ver figura). Los puntos de preparación se han simbolizado de la siguiente manera: color azul; dimensión, lado o diámetro 12 mm. (ver figura).

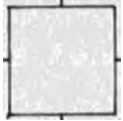
Para marcar estos puntos se usó plumón con punta fina.

## Control

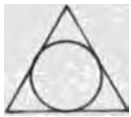
### Puntos de Control Terrestre



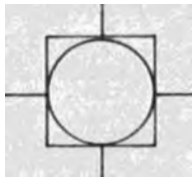
Punto de Control Vertical



Punto de Control Horizontal



Punto de Triangulación con cota

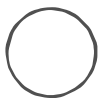


Punto de Control Vertical y Horizontal

### Puntos de Preparación



Punto de Paso



Punto de Enlace



Punto de Apoyo

### 3. Empleo del Instrumento Kern PG-2 para la Confección de Templates

Por su gran exactitud, especialmente en altura, el PG-2 es muy conveniente para la extensión del control de alturas (en una faja de fotografías), utilizandas en la producción de mapas a mediana y pequeña escala.

A fin de facilitar una exacta y conveniente transparencia de escala de un modelo al siguiente, el PG-2 puede ser equipado con dos microscopios triangulares (Fig. 34), que pueden adjuntarse fácilmente al instrumento. El procedimiento a seguir es:

Se coloca el primer modelo y se hace la orientación relativa y absoluta como lo explica en los párrafos 3 y 4 del "Manual de Instrucciones del PG-2". Los elementos disponibles de este instrumento son:  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $B$ ,  $W_1$ ,  $\psi_2$ ,  $\beta$ ,  $\rho$ , y  $\phi$ .

Después de completar los requisitos necesarios de los puntos de control en el primer modelo, el segundo modelo debe ser preparado; como no es posible el cambio de modelos (sucesivamente) "base en base a otro" (posible en el instrumento Multiplex), sin mover las placas diapositivas, en el PG-2; el siguiente modelo debe estar formado con la segunda placa en la izquierda y la tercera en la derecha; debido a

la transportación de la segunda placa a la izquierda, la referencia Z (de alturas) se perdería, sin embargo, teniendo especial previsión la referencia Z se mantendrá invariable.

Para llevar a cabo la transferencia de escala del 1º modelo a los restantes (2º, 3º, 4º), por medio de elevaciones comunes de los modelos adyacentes, el PG-2 contiene en sus varillas espaciadoras líneas grabadas a distancias iguales en ambas varillas, debidamente calibradas, que con la ayuda de los microscopios se puede hacer perfectamente la transferencia de escala de un modelo a otro independientemente de los elementos de orientación.

Las secuencias de operación para puentear los modelos es la siguiente:

1º Paso: La preparación de las placas debe hacerse como de costumbre, para puentear en la práctica fotogramétrica.

2º Paso: La orientación interna debe hacerse de acuerdo al procedimiento del párrafo 2-7 del "Manual de Instrucciones para levantamientos de planos" de este instrumento.

3º Paso: La primera fotografía debe ser centrada al lado izquierdo de la plancha suspensora; la segunda al lado derecho de dicha plancha (si al avance de la línea de

vuelo es de izquierda a derecha). El área superpuesta (empalme) debe estar en la parte interior, denominándose "modelo aerofotográfico" (ver figura 35).

4º Paso: Hacer la orientación relativa y absoluta del primer modelo, con todos los elementos disponibles; para esto se debe conocer, por lo menos, cuatro puntos de control terrestre, distribuidos en la forma que muestra el modelo de la figura 35. También se debe colocar a la escala que se desea trabajar, todo el bloque de aerofotografías.

5º Paso: Medir y registrar la elevación de todos los puntos de control requerido. Plotear dichos puntos en las plantillas (o templets) (ubicado en la mesa de dibujo del instrumento), anotando sus respectivas cotas.

6º Paso: Para la transferencia de escala al siguiente modelo, medir la altura (cota) en un punto adecuado, cerca del punto principal del lado derecho del modelo que se identifica con el signo (+). Con el fin de asegurar la precisión requerida, hacer tres puntuaciones y considerar el valor medio.

7º Paso: Desviar la base de conducción, en la posición donde la varilla espaciadora del lado derecho, es casi vertical; luego, se coloca el punto flotante en el punto



principal (+) y se empieza a cambiar el  $Z$ , observando por el microscopio triangular (derecho) una línea que se desplaza conjuntamente con el microscopio; esta línea debe quedar simétricamente entre las dos líneas grabadas en la varilla espaciadora (Ver figura 3b), luego, se anota el valor que marca el contador de alturas.

8º Paso: Sacar la placa Nº 1 de la plancha suspensora del lado izquierdo y colocar la placa Nº 3, haciendo la correspondiente orientación interna.

9º Paso: Transferir la plancha suspensora del lado derecho (con la placa Nº 2 en ella), a la izquierda y colocar la plancha suspensora, con la nueva placa, a la derecha.

10º Paso: Poner  $\rho$  y  $\phi$  n cero y hacer la orientación relativa con los elementos disponibles.

11º Paso: Se hace la orientación absoluta (nivelación) con  $\gamma$  teniendo cuidado de no cambiar la graduación del contador de alturas.

12º Paso: Repetir el 7º paso, para el lado izquierdo de la varilla, usando el mismo punto que el usado en el modelo previo (casi siempre el punto principal, pero no necesariamente), teniendo en cuenta que el desplazamiento de la línea (en el microscopio), se realiza moviendo el "B" y no el  $Z$  como en el 7º caso. El valor que se obtuvo en el contador de alturas, según el 7º caso, se debe anotar en éste

(contador de alturas), antes de empezar el movimiento de "B". Cumpliendo este paso, el modelo queda prácticamente a escala.

13º Paso: Se lleva el punto flotante tangente al terreno (punto escogido en el 5º paso), lo más exacto posible, luego se marca en el contador de alturas el valor obtenido en el 6º paso, quedando así el modelo, prácticamente nivelado.

14º Paso: Se procede al afinamiento de la nivelación de los puntos de control, terminando así con este modelo.

15º Paso: Continuar en la misma forma con los demás modelos.

Nota: Para cada modelo se debe confeccionar plantillas o templets.

#### 4. Acanalamiento de los Templets

Con ayuda de un punch, se perfora uno de los puntos marcados en el templet, quedando un orificio perfectamente circular; luego se coloca el templet en un instrumento especial de acanalado (sectador radial) con su orificio sobre un montante que puede moverse en una muesca (canal) en línea con el cuchillo acanalador.

El templet se rota y mueve a lo largo de la muesca, conjuntamente con el montante, hasta que el punto centralizador del cuchillo se halle por encima del punto de control menor marcado; el cuchillo es luego punzado en el templet.

Si la escala de triangulación difiere de la escala de la foto, entonces, antes de haber perforado los puntos, se dibujan finas líneas radialmente, desde el centro, pasando a través de los puntos de control menor. Sobre estas líneas las distancias entre el centro radial y los puntos de control menor, se alargan o reducen proporcionalmente al promedio de la escala de triangulación -escala de la foto.

El acanalador (sectador radial) descrito, es portátil y manual. Sin embargo, existen otros mejor elaborados. Estos pueden ahorrar tiempo, especialmente en casos en que debe introducirse una diferencia de escala entre la foto y los templets (Ver Capítulo IV).

##### 5. Armado del Mosaico de Templets

Después que los templets hayan sido punzados, deben ser colocados sobre el mapa base, ubicado sobre una mesa horizontal y deben insertarse montantes circulares en el orificio (centro radial) y en los canales de los dos puntos de control menor, iniciales de cada templet.

El ancho de los canales deberá ser de preferencia de 0.05-0.15 mm. Más que el diámetro de los montantes, a fin de acomodar los errores inevitables en las disecciones causadas por la inclinación y los errores en la transferencia de los puntos de triangulación.

Los templets adyacentes deberán conectarse entre sí, trayendo sus canales por encima del montante, insertado y movable en el canal del punto correspondiente en el templet vecino. El movimiento del montante en los ejes longitudinales de los canales, debe ser posible, a fin de acomodar las diferencias de escala (fotos) y los desplazamientos radiales, debido al relieve; se usan por lo tanto canales de 4-5 cm. de extensión.

En el mapa base, sobre el cual se transportan los puntos de control del terreno en sus posiciones correctas, se deben colocar montantes en posiciones fijas sobre dichos puntos de control.

Dado que el acanalamiento de los templets permiten al mosaico (de templets) moverse en forma de un acordeón, se podrá, entonces, encajar los puntos (de control terrestre) punzados en los templets, sobre sus correspondientes montantes, que se encuentran fijos en el mapa base.

Cuando el armado del mosaico ha terminado, quedando el bloque, bastante rígido; los puntos de control menor se marcarán sobre este mapa base, insertando agujas en los montantes; terminada esta operación, se procederá a quitar el armado de los templets, quedando en el mapa base pequeños orificios que deben ser leídos, resultando así las coordenadas (planimétricas) de los puntos de control menor.

6. Comparación de las Coordenadas de los Puntos de la Triangulación Radial (obtenida) con las Coordenadas de los mismos Puntos por el método analítico de la compensación en bloque (I.G.M.M.)

| PUNTOS | COORDENADAS DE TRIANGULACION RADIAL (STEREO TEMPLETS) |        | COORDENADAS DE TRIANGULACION EN BLOQUE I.G.M.M. |         | E(V) | N(V') | V <sup>2</sup> | V' <sup>2</sup> |
|--------|---|--------|---|---------|------|-------|----------------|-----------------|
|        | ε   | N      | ε   | N       |      |       |                |                 |
| 358 -  | 3   | 238941 | 238942  | 8755623 | - 1  | - 2   | 1              | 4               |
| 35c -  | 4   | 240207 | 240208  | 8755394 | - 1  | + 1   | 1              | 1               |
| 35 -   | 3   | 241074 | 241077  | 8755535 | - 3  | 0     | 9              | 0               |
| 356 -  | 4   | 242401 | 242402  | 8755313 | - 1  | + 2   | 1              | 4               |
| 354 -  | 4   | 244456 | 244456  | 8755410 | 0    | 0     | 0              | 0               |
| 352 -  | 3   | 242140 | 246139  | 8755242 | + 1  | + 3   | 1              | 9               |
| 368 -  | 2   | 24659  | 248597  | 8757150 | + 1  | - 2   | 1              | 4               |
| 388 -  | 1   | 24141  | 248141  | 8757398 | 0    | - 2   | 0              | 4               |
| 382 -  | 1   | 247141 | 247144  | 8756910 | - 3  | + 1   | 9              | 1               |
| 392 -  | 5   | 244560 | 244561  | 8757729 | - 1  | + 1   | 1              | 1               |
| 392 -  | 1   | 243896 | 243896  | 8756942 | 0    | + 3   | 0              | 9               |
| 394 -  | 2   | 4421 7 | 242135  | 8756997 | + 2  | + 3   | 4              | 9               |
| 394 -  | 1   | 241309 | 241309  | 8755470 | 0    | + 1   | 0              | 1               |
| 396 -  | 2   | 240123 | 240125  | 8757298 | - 2  | + 3   | 4              | 9               |
| 396 -  | 1   | 239009 | 239006  | 757184  | + 3  | 0     | 9              | 0               |
| 398 -  | 4   | 23158  | 238161  | 8758948 | - 3  | 0     | 9              | 0               |
| 396 -  | 3   | 239403 | 239402  | 8758868 | + 1  | 0     | 1              | 0               |
| 396 -  | 4   | 240010 | 240015  | 8758836 | + 3  | 0     | 9              | 0               |
| 394 -  | 3   | 241800 | 241809  | 8759144 | - 1  | + 3   | 1              | 9               |

COORDENADAS DE TRIANGULACION RADIAL (STEREO TEMPLETS) COORDENADAS DE TRIANGULA-CION EN BLOQUE I.G.M. DIFERENCIAS DE COORDENADAS

| PUNTOS | E   | N       | E      | N       | E(V) | N(V') | V <sup>2</sup> | V'2        |
|--------|-----|---------|--------|---------|------|-------|----------------|------------|
| 394    | - 4 | 5759039 | 242772 | 8759037 | - 2  | + 2   | 4              | 4          |
| 392    | - 3 | 8759321 | 244544 | 8759320 | + 1  | + 1   | 1              | 1          |
| 390    | - 4 | 8759272 | 247023 | 8759273 | + 3  | - 1   | 9              | 1          |
| 388    | - 3 | 8759024 | 247844 | 8759025 | + 2  | - 1   | 4              | 1          |
| 424    | - 2 | 8759026 | 249106 | 8759026 | + 2  | 0     | 4              | 0          |
| 424    | - 3 | 8761532 | 24 120 | 8761531 | - 3  | + 1   | 9              | 1          |
| 422    | - 3 | 8760750 | 245854 | 8760747 | + 0  | + 3   | 0              | 9          |
| 420    | - 4 | 8761340 | 244928 | 8761337 | + 1  | + 3   | 1              | 9          |
| 418    | - 3 | 8760863 | 241610 | 8760865 | - 3  | - 2   | 9              | 4          |
| 416    | - 4 | 8761064 | 240503 | 8761067 | - 3  | - 3   | 9              | 9          |
| 116    | - 3 | 8760825 | 239120 | 8760828 | - 1  | - 3   | 1              | 9          |
| 432    | - 1 | 8763220 | 247811 | 8763221 | - 2  | - 1   | 4              | 1          |
|        |     |         |        |         |      |       | <u>116</u>     | <u>114</u> |

Error Medio Cuadrático -  $\sqrt{\frac{\sum V^2}{n}}$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{116}{31}} = 1.93 \text{ m.}$$

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{114}{31}} = 1.92 \text{ m.}$$

En el "mapa base" que se adjunta a la presente tesis se puede observar la ubicación de todos los puntos de control terrestre y los puntos de control menor, de donde se ha obtenido los valores de sus coordenadas.

#### 7. Graficación de las Discrepancias Entre los Puntos de Triangulación Radial (Stereo Templets) y los Puntos del I.G.M.

En el "mapa de discrepancias" que se adjunta a la presente tesis se puede observar vectorialmente, las discrepancias entre los puntos obtenidos por Stere-templets y los puntos obtenidos por el método de "compensación en bloque", efectuado por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.)

#### 8. Resultados Generales

Como podrá verse en el Apéndice 6 de este Capítulo, el establecimiento de puntos de control menores, utilizados para la restitución fotogramétrica por el método de triangulación Radial (Stereo-Templets) es de singular importancia por los excelentes resultados que nos proporciona; esto se debe en gran parte al empleo del equipo restituidor; puesto que ubica lo más exactamente posible las placas fotográficas reconstruyendo así la posición que tomó la cámara fotográfica en el momento de la exposición del terreno.



Los aparatos restituidores tienen la propiedad de eliminar los errores de desplazamiento del relieve del terreno, ocasionados por los movimientos defectuosos del avión; como son: movimiento de rotación y traslación espacial.

#### Movimiento de Rotación:

Movimiento de ( $\omega$ ); se efectúa sobre el eje  $x$

Movimiento de ( $\phi$ ); se efectúa sobre el eje  $y$

Movimiento de ( $K$ ), se efectúa sobre el eje  $z$

#### Movimiento de Traslación

- Movimiento de  $B_y$

- Movimiento de  $B_x$

- Movimiento de  $B_z$

El material para los templets, desempeña también un gran papel en la exactitud de la triangulación radial (stereo Templets). Para esta práctica se usó películas de rayos X, por ser un material terso, fácil en el deslizamiento y estable; no es absorbente de la humedad y no requiere tratamiento especial, constituye un material de excelente calidad.

El número de fotografías empleadas para esta práctica ha sido un bloque de 33 fotografías de 23 x 23 cms. cada una, distribuidas en tres líneas de vuelo de 11 fotografías cada una a la escala 1:10,000.

Los templets fueron confeccionados a la escala 1:15,000.

El error medio cuadrático de las coordenadas arroja el siguiente resultado:

Error en la dirección Este:  $\sigma_E = 1.93$  mts.

Error en la dirección Norte:  $\sigma_N = 1.92$  mts.

Arrojando un error relativo menor de 0.2 mm. para ambas coordenadas.

En lo que respecta al campo económico, este método es altamente económico, por los siguientes motivos:

- Por ser rápido en su ejecución
- Manuable y fácil de llevarse a cabo
- No requiere instrumentos demasiado costosos, como el registrador de coordenadas
- El material que se emplea es barato y fácil de conseguir
- Se puede llevar a cabo en cualquier equipo fotogramétrico, como por ejemplo, el "Multiplex"
- Prácticamente no se emplea gran número de personal, puesto que una sola persona puede llevarlo a cabo.

Nota: Cabe hacer presente que este método es económico, siempre y cuando no exista "compensación en bloque" (empleo de computadoras electrónicas para el registro de coordenadas) de la zona a trabajar; de lo contrario no tendría efecto su realización.

### 9. Aplicación del Estereo Templets y Recomendaciones

Este método de triangulación radial, stereo-templets, se utiliza para el establecimiento de puntos de control menores para confeccionar planos o mapas topográficos a mediana y pequeña escala de terrenos más o menos suave, no así para terrenos muy montañosos.

Para obtener mejores resultados de precisión se debe utilizar fotografías con poco grado de inclinación en  $\phi$  y de preferencia, menores que  $1^\circ$ , para así poder trabajar en el aparato restituidor con  $\phi = 0$  y  $\omega = 0$ , pero si el grado de inclinación es mayor, es necesario conocerlo, para así poder puentear la franja de fotografías lo mejor posible, dando a  $\phi$  y  $\omega$  sus respectivos grados de inclinación.

El material que debe emplearse para el "mapa base", debe ser de material lo más estable posible, como por ejemplo: hoja plástica montada sobre una plancha de caucho plástico o simplemente una plancha de cartón de buen espesor, que reúna las condiciones necesarias. No se recomienda papel

milimetrada, que fue usado para esta práctica, por ser un material inestable.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) "MANUAL PHOTOGRAMMETRY"  
Volume I y II  
American Society of Photogrammetry  
Morris M. Thompson - 1965  
(Editor in Chief)
- 2) "INTERNATIONAL TRAINING CENTER FOR AERIAL SURVEY"  
Volume III.2  
Radial Triangulation ----1963.
- 3) "GENERAL CARTOGRAPHI"  
Erwin Raisz - 1959
- 4) "COMPENDIO DE TOPOGRAFIA"  
Roberto Muller - 1950
- 5) "TRATADO DE TOPOGRAFIA"  
Davis y Foote - 1964
- 6) "INSTRUCTION FOR BRIDGING"  
Kern PG-2
- 7) "MANUAL DE INSTRUCCIONES"  
Kern PG-2
- 8) "PROCESO DE LA AEROTRIANGULACION FOTOGRAFICA"  
Pesantes y Serpa - 1967.

# I N D I C E

Pág.

PREFACIO

INTRODUCCION ..... 1

## CAPITULO I

PRINCIPIOS GENERALES

1. Direcciones en la Fotografía y Direcciones en el Terreno ..... 3
2. Determinación del Punto Nadir e Isocentro en la Fotografía ..... 12

## CAPITULO II

PRINCIPIOS DE EJECUCION COMUN A TODOS LOS METODOS DE TRIANGULACION RADIAL

1. Principio Geométrico ..... 17
2. Transferencia del Punto ..... 19
3. Preparación de una Triangulación Radial: Uso de un Mapa Índice ..... 19

## CAPITULO III

TRIANGULACION RADIAL GRAFICA

1. Notas Generales ..... 24
2. Método de Arundel ..... 25

3. Método del Templet Manual ..... 29

CAPITULO IV

TRIANGULACION DE TEMPLET ACANALADO

1. Procedimiento General ..... 32

2. Métodos Especiales con Fotografías Normales ..... 45

    a) Templets de Brazo Radial ..... 45

    b) Triangulación de Templet Acanalado

Precisa ..... 46

    c) Templets de Azimuth ..... 47

3. Método de Templet Acanalado con Posición Mejo-

rada de los Puntos de Control Menores ..... 48

    a) Templets de Fotografías Rectificadas ..... 48

    b) Stereo Templets ..... 49

CAPITULO V

EXACTITUD DE LA TRIANGULACION DE TEMPLET ACANA-  
LADO

1. Consideraciones Generales ..... 52

2. Pruebas Ejecutadas en los Estados Unidos ..... 53

3. Pruebas Ejecutadas en Alemania ..... 58

4. Pruebas con Estereo Templets Ejecutadas en

Francia ..... 63

CAPITULO VI

APLICACION PRACTICA DE LA TRIANGULACION RADIAL  
(STEREO TEMPLETS) UTILIZANDO UN BLOQUE DE AERO  
FOTOGRAFIAS DE LA ZONA DEL VALLE DE HUAURA (LI  
MA-PERU)

|  |    |
|--|----|
| 1. Notas Generales .....   | 65 |
| 2. <u>Preparación de las Aerofotografías</u> .....   | 65 |
| 2.1. Preparación de Puntos .....   | 66 |
| 2.1. a. Determinación de las Zonas de<br>Preparación .....   | 57 |
| 2.1. b. Pinchado o Picado de Puntos .....  | 68 |
| 2.1. c. Transferencia de Puntos .....  | 69 |
| 2.2 Instrumentos .....   | 69 |
| 2.3 Confección del Mapa Indice .....   | 71 |
| 2.4 Simbología .....   | 71 |
| 3. <u>Empleo del Instrumento Kern PG-2 para la<br/>    Confección de Templets</u> .....  | 73 |
| 4. <u>Acanalamiento de los Templets</u> .....  | 77 |
| 5. <u>Armado del Mosaico de Templets</u> .....   | 78 |
| 6. <u>Comparación de las Coordenadas de los Pun-<br/>tos de la Triangulación Radial (obtenido)<br/>con las Coordenadas de los Mismos Puntos<br/>or el Metodo Analítico de la Com ensación<br/>en bloque I.G.M.</u> ..... | 81 |
| 7 <u>Graficación de las discre ancias entre los<br/>Puntos de Triangulación Radial Stereo<br/>Templets y los Puntos del I.G.M.</u> .....   | 83 |
| 8. Resultados Generales.....   | 83 |
| 9. <u>Aplicación del Estereo Templets y Recomen-<br/>daciones</u> .....  | 86 |