ELABORACION DE MAPAS A PARTIR DE FOTOGRAFIAS AEREAS

PRIMERA PARTE: ELABORACION DEL MAPA BASE (*)

BYON F. KENT (**)

INTRODUCCION:

Hoy en día, los geólogos jóvenes que apenas se inician en los trabajos de campo, suelen contar con fotografías aéreas de la zona de trabajo y algunas veces se dejan impresionar de tal modo por los datos que se pueden obtener de las fotografías aéreas, que se olvidan de hacer el trabajo diario de compilación. Esto es un grave error, puesto que la tarea más importante de un geólogo en el campo es la compilación de un mapa geológico **mientras trabaja en el campo** y la localización de estaciones de campo, o de contactos marcados en las fotos aéreas, no substituye este trabajo.

Como fotogeólogos, estamos completamente de acuerdo con todos los geólogos, en que el primer requisito para un levantamiento geológico es un mapa base adecuado del área por estudiar y en que el segundo requisito es la elaboración del mapa geológico.

Como fotogrametrista, creo conveniente recomendar que la compilación del mapa base se haga utilizando fotografías aéreas.

El Mundo vive actualmente la época de la especialización. Esto significa que la preparación de un mapa-base topográfico de primera calidad debe ser labor del fotogrametrista. Más del 90% de los mapas de precisión que se compilan en la actualidad en los EE. UU. se hacen utilizando fotos aéreas empleando métodos de precisión para el trazado de curvas de nivel. Sin embargo, aunque se ha logrado reducir mucho el tiempo necesario para compilar un mapa de precisión aumentando al

(*) Conferencia sustentada ante la Sociedad Geológica Mexicana en agosto de 1958.

Fotogeólogo; United States Geological Survey.

mismo tiempo su exactitud y utilidad, aún son necesarios de 2 a 3 años desde la primera etapa de elaboración hasta la publicación final.

Generalmente un proyecto geológico de campo no puede esperar tanto tiempo y por otra parte, también es común que la escala del mapa de precisión disponible no sea la conveniente para el levantamiento geológico del terreno en cuestión. En tales casos, los geólogos deben preparar sus propios mapas siendo este el tema de nuestra discusión que hemos llamado "Cómo Hacer Mapas Geológicos a Partir de Fotografías Aéreas".

CONTROL BASICO.

Cualquier mapa, sin importar su objeto, debe tener una sola escala; ésto quiere decir que aún cuando se disponga de otros mapas de la región, se debe obtener el control del terreno.

No hace mucho tiempo teníamos en California un problema sobre el levantamiento de una cierta área localizada en la compleja geología al Oeste del Estado de Utah. No se disponía de mapa base ni de control del terreno. Los geólogos proyectistas habían trabajado varios meses sobre las fotos aéreas y no se podía demorar más tiempo la elaboración del mapa definitivo.

Para resolver este problema se hizo una triangulación radial del terreno empleando equipo "Lazy-dazy" semejante al tipo usado en la Universidad de México. Nuestro propósito era establecer puntos de control fotográfico y aunque no teníamos idea de la verdadera escala entre estos puntos de control, sabíamos que la triangulación radial reduciría todas las diferentes escalas a una sola. Una carretera principal, que aparecía en las fotos atravesaba el área en cuestión y eran visibles varias intersecciones; siendo muy convenientes las intersecciones como puntos para el control del terreno; se marcaron como tales y se les incluyó en la triangulación radial.

Una vez que los puntos de control fotográfico fueron establecidos y trazados en el mapa base, se procedió a usar las fotos para compilar en una sola operación la planimetría y la geología utilizando el "trazador planimétrico Kail".

Como dijimos antes, siempre es mejor disponer de un mapa base antes de iniciar el trabajo de campo, sin embargo, presenta algunas ventajas compilar simultáneamente la planimetría y la geología. Mediante esta compilación simultánea, la densidad de la planimetría puede ser controlada y la planimetría que muestra mejor dónde están los puntos de interés geológico puede ser compilada. Lo que hemos dicho, sirve para ilustrar el lema de un fotogeólogo: "Ser optimista en cualquier situación".

Al terminar la operación se había completado el mapa geológico, excepto un pequeño detalle, no se sabía la escala. Sin embargo, al regresar al campo fué muy sencillo para los geólogos medir sobre el terreno la distancia entre dos intersecciones de la carretera marcadas como puntos de control en el mapa, estableciendo así la verdadera escala del mapa. Me parece recordar que la escala resultó ser aproximadamente de 1:24,750; nunca hubiéramos elegido esta escala si hubiera dependido de nosotros, pero las circunstancias nos obligaron. Los geólogos proyectistas hicieron prácticamente todo el trabajo y el jefe del proyecto es hoy hombre que cree firmemente en la fotogrametría y hasta lleva consigo un complejo equipo fotogramétrico cuando sale al campo.

Podría seguir mencionando casos en que los trabajos de campo se han visto en dificultades por falta de planos y en que los geólogos han vuelto sus miradas hacia la fotogrametría, pero no creo que valga la pena detenerse más en este asunto. Digamos en resumen que usando un poquito de fotogrametría de antemano, nos podríamos evitar después, algunas dificultades.

EL METODO DE TRIANGULACION RADIAL.

El primer paso para hacer un mapa base es establecer una sola escala, lo cual se puede hacer por el método de triangulación radial.

Básicamente, la construcción de una red de triangulación radial implica un proceso sencillo de triangulación, muy semejante al de hacer una red de triangulación en el campo con un tránsito o una plancheta.

Para hacer este trabajo en el campo, lo primero es establecer y medir una línea base bien situada, trazando después esta línea base a una escala conveniente. El paso siguiente es elegir puntos destacados en el campo y marcarlos con banderolas; entonces se regresa a la línea base y haciendo estación en cada uno de los extremos de esta línea se observan los puntos señalados con las banderolas trazando las visuales correspondientes. La intersección de dos visuales desde cada uno de los extremos de la línea base dirigidas al mismo punto, establece la situación de dicho punto en el mapa a la misma escala de la línea base. Después usamos cada punto de control como estación, y trazamos visuales a todos los otros puntos de control observados para reforzar así la red de triangulación.

Ahora explicaremos cómo seguir el mismo proceso utilizando fotografías aéreas.

El centro geométrico de cada foto aérea vertical no está sujeto a desplazamiento alguno de su posición en el mapa por los cambios de relieve; por lo tanto la imagen fotográfica en el centro geométrico corresponde a una estación de instrumentos en el campo. Además, todas las otras foto-imágenes en los centros geométricos de todas las otras fotografías, representan también estaciones de instrumentos y cada una de las distancias entre dos centros geométricos de dos fotografías en una determinada línea de vuelo, representa una línea base. Por último, como la **dirección** de desplazamiento de relieve es radial desde el centro de una foto aérea vertical, todas las líneas trazadas desde el centro geométrico hasta cualquier otro punto en la foto son líneas de dirección verdadera.

Sin embargo, en el trazado de la triangulación radial, las imágenes fotográficas están sujetas a otro tipo de desplazamiento de su posición en el mapa. El desplazamiento causado por la inclinación (tilt). Todas las fotos verticales presentan

algo de inclinación y, desgraciadamente, las direcciones de los desplazamientos causados por inclinación son radiales desde el **isocentro** de la foto. El isocentro no corresponde al centro geométrico y aunque suele estar muy cerca, desafortunadamente no existe un medio conveniente para encontrarlo, por consiguiente, no hay forma de construir una plantilla radial para corregir los desplazamientos por inclinación. Sin embargo, se trabaja en la suposición de que estos desplazamientos son demasiado pequeños para ser tomados en consideración.

La inclinación no obstante, es el peor enemigo de una red de triangulación radial y puede ser lo bastante importante como para impedir la construcción de la red, produciendo invariablemente errores en la resolución de posiciones sobre el mapa. Estos errores causan dificultades en la red porque los brazos radiales que parten de los centros geométricos no siempre concurren en un mismo punto, siendo necesario mover algunos de estos brazos para que se ajusten. Existe desde luego cierta tolerancia en el trazado de triangulación radial y si se usa un brazo de acero, la elasticidad ayuda al ajuste, pero siempre se presenta algún error.

El secreto de un buen trazado de triangulación radial, es controlar y reducir a un mínimo los posibles errores. Por esta razón lo más importante en el proceso de la triangulación radial, es una buena selección de los "puntos de paso".

PUNTOS DE PASO.

Después de haber marcado la posición de los centros geométricos y los centros transferidos, la siguiente tarea es la elección de puntos de imagen a lo largo de las áreas marginales de cada foto. Estos puntos sirven como puntos seleccionados de control y se les denomina "puntos de paso" porque están situados en tal forma que aparecerán en fotos adyacentes en la misma línea de vuelo y en fotos correspondientes a líneas de vuelo adyacentes. De esta manera los puntos seleccionados deben "pasar" de una foto a otra a lo largo de una línea de vuelo determinada, y también deben "pasar" de una línea de vuelo a otra.

Teóricamente, un "punto de paso" puede aparecer en un total de seis fotos (tres sobre una misma línea de vuelo y tres sobre una línea de vuelo adyacente); sin embargo, los puntos rara vez se logran seis veces porque las fotos sobre una línea de vuelo suelen estar desplazadas con respecto a las fotos sobre otra línea de vuelo.

Si un "punto de paso" debe pasar de una línea de vuelo a otra, tiene que aparecer como mínimo en cuatro fotos, sin embargo, la red radial será mucho más fuerte si un punto de paso aparece en cinco fotos, y con mayor razón si aparece en seis. Antes de seleccionar los "puntos de paso" es conveniente trazar las líneas de vuelo de toda el área que ha de ser controlada. Además, si es posible, la red radial debe exceder en una foto tanto a lo largo como a lo ancho, al área que se quiere controlar. La razón para ello es que una red radial no tiene mucha fuerza en las áreas marginales y estas áreas débiles están sujetas a distorsión.

Se puede construir una red radial a una escala casi igual a la escala media de las fotos, o bien a una escala que sea considerablemente mayor o menor que la escala media. Si se quiere construir una red cuya escala sea más grande que la escala media de las fotos, hay que elegir brazos radiales lo bastante largos para permitir el grado deseado de expansión. De lo contrario, se introduce otro tipo de dificultades que son aún peores que las causadas por la inclinación.

La figura adjunta muestra las áreas aproximadas donde los puntos de paso deben ser situados y nos sirve para ilustrar las tres principales características de los puntos de paso convenientemente seleccionados.

- (1) Simetría
- (2) Facilidad de identificación
- (3) Situación casi al mismo nivel.

(1).—**SIMETRÍA:**

Como se puede observar en el diagrama, si un punto de paso va a aparecer el número máximo de veces, se tiene que situar con bastante cuidado a lo largo de las áreas mar-

ginales. Es costumbre elegir tres puntos de paso a lo largo de cada margen, pues de esta manera se tienen seis puntos de paso, un centro geométrico y dos centros transferidos, que suman un total de nueve puntos de control para cada foto.

La distribución de estos nueve puntos de control produce cierta simetría. Cuatro ejes de simetría se expresan: (1) las líneas de vuelo; (2) las dos direcciones diagonales y; (3) la dirección que forma un ángulo recto con líneas de vuelo.

La "simetría" se convierte en una característica especialmente importante si se ha planeado extender o reducir la red total para cambiar la escala, porque si los brazos radiales tienen muchas direcciones, resistirán los cambios de escala, y puede resultar cierta distorsión. En otras palabras, la construcción de la red la hace rígida.

Cuando se proyecta construir una red a una escala aproximadamente igual a la escala media de las fotos, resulta preferible introducir deliberadamente puntos de paso que producirán **asimetría**, lo cual hace más rígida la red. Es especialmente recomendable introducir asimetría cuando se trata solamente de unas cuantas fotos de una o dos líneas de vuelo. Además, en estos casos se debe aumentar el número de puntos de paso. En ocasiones es necesario controlar toda el área mostrada en las fotos, porque no se cuenta con fotos adicionales de las áreas marginales. Esto presenta otro tipo de problema y es conocer dónde se debe introducir asimetría en las áreas marginales.

En resumen, el preservar o destruir la característica de simetría depende de una determinación previa según el objeto de la red radial.

(2).—FACILIDAD DE IDENTIFICACION:

Un buen punto de paso debe ser una foto-imagen que pueda ser fácilmente identificada en las fotos. Esta regla no admite excepciones. Se debe elegir exactamente la misma foto-imagen cada vez que aparece. Así las foto-imágenes formadas por sombras, grandes crestas de roca, árboles o arbustos, etc. son **pésimos** puntos de paso, y en cambio la confluencia de

arroyos y las intersecciones de caminos son excelentes puntos de paso. Hay que recordar que puede haber cientos de puntos de paso en una red radial y aún siendo incorrecto solamente uno de ellos, el error afectará a toda la red. En caso de aparecer algún error, hay que comenzar buscando el punto incorrecto, y probablemente todo el trabajo se tendrá que hacer de nuevo porque estos errores nunca se compensan, sino que se hacen más notables.

(3).—SITUACION CASI AL MISMO NIVEL

Los puntos de paso que dan menos trabajo son los que están casi al mismo nivel. La razón es que los efectos de la inclinación se reducen al mínimo porque las correcciones por desplazamiento de relieve se sujetan a un mínimo. Los drenajes, proporcionan los mejores puntos de paso, porque el drenaje de una área suele presentar un desnivel mínimo y también suele presentar los puntos que son más fáciles de identificar.

No obstante, hay excepciones a la regla de que el drenaje debe proporcionar la mayoría de los puntos de paso elegidos. Algunas veces es mejor elegir tantos niveles diferentes como sea posible dentro de la zona de relieve representada en las fotos. Sin embargo, cuando esto se hace, se está tomando un "riesgo calculado" pensando en un propósito específico. En otra conferencia discutiremos las razones y propósitos para tomar este riesgo, al referirnos a la transferencia de detalles fotográficos a un mapa base.

Unas cuantas recomendaciones más sobre la preparación de una red radial: "No tratar nunca de hacer una red fija", o en otras palabras, no fijar nunca un punto de control hasta no completar toda la red. "Una red debe ser ajustada hasta después de terminarla". La mejor ilustración de esta regla es un ejemplo de un problema de campo.

Hace algunos años se me pidió hacer un mapa base del Glaciar Malaspina, localizado en la costa del sur de Alaska. El geólogo quería hacer un estudio fotogeológico de la corriente y obtener la estructura superficial del glaciar. Primero de-

cidimos hacer una red radial. El área que iba a ser controlada era de casi 15' porque como es conocido, el Glaciar Malaspina es uno de los más grandes del mundo.

El control base de levantamientos anteriores estaba a nuestra disposición en tres lados del glaciar, así que elegimos fijar nuestro control y hacer puente sobre el glaciar con una red radial.

Tropezamos con dificultades. Las líneas de vuelo adyacentes no fueron tomadas al mismo tiempo y había nevado durante los meses transcurridos entre líneas de vuelo adyacentes. Esto era un problema verdaderamente serio. Ahora bien, yo pregunto: ¿qué clase de puntos de paso pueden ser tomados encima de un glaciar? Nos equivocamos en la elección de puntos de paso y los errores fueron muchos. Finalmente las cosas fueron tan mal que varias fotos salieron sobrando. Me corté los dedos varias veces intentando forzar los brazos de acero para ajustarlos y al fin, después de dos semanas de trabajo, todo lo que pudimos hacer fué corregir más o menos nuestros errores. Aproximadamente un año después de terminar el trabajo, nos informaron que el control base que habíamos usado para ajustar la red era incorrecto. En otras palabras, de no haber intentado ajustar la red al control, podríamos probablemente haber llegado a una buena solución de las dificultades de control. Una vez elaborado el mapa base se completó el trabajo geológico y ya ha sido publicado.

Personalmente me parece que lo anterior representa un ejemplo básico de aplicación de la fotogrametría al trabajo fotogeológico. En este caso especial, podemos responder por la exactitud del mapa base porque no creemos que a mucha gente le gustaría pasear entre las profundas grietas del glaciar para averiguar la exactitud, sin embargo, desde entonces no hemos vuelto a hacer ninguna otra red fija y no creo que la hagamos nuevamente. Después de sanar de mis dedos y mi reputación, me convencí de que la experiencia es el mejor maestro.

No obstante lo anterior, muchas redes excelentes, de áreas hasta de 30' de tamaño se han hecho en menos de cuatro horas. En la Universidad de México hicimos una no hace mucho tiempo. Como ustedes pueden darse cuenta, teniendo un poco de suerte, con un poco de planeación anticipada y teniendo en la mente un propósito definido antes de empezar, se puede trabajar con rapidez y eficiencia.

Para terminar diremos, que si pudiéramos hacer un análisis químico del trabajo fotogramétrico aplicado a los estudios fotogeológicos, encontraríamos que la suerte, la planeación anticipada, un propósito y los objetivos definidos, son los