

**MODO DE HACER MAPAS CON FOTOGRAFIAS AEREAS  
PARTE II.—METODOS PARA TRANSFERIR DETALLES FOTO-  
GRAFICOS A LOS MAPAS BASE.\***

**BYON F. KENT (\*\*)**

**INTRODUCCION**

El presente tema constituye una parte muy importante del trabajo fotogeológico, porque la poca comprensión sobre los métodos para transferir detalles fotográficos a los mapas base es la razón principal por la que algunos geólogos se encuentran ante este dilema: "No pueden vivir con fotos y no pueden vivir sin ellas".

**METODOS PARA TRANSFERIR PLANIMETRIA Y GEOLOGIA:**

En la Parte I se explicó la forma de ejecutar una red de triangulación radial, y el procedimiento para establecer puntos fotográficos de control sobre un mapa base. (Ver figs. 1 y 2). Una vez completada esta labor, la siguiente tarea es transferir al mapa base los datos planimétricos y por último, los datos geológicos usando esos puntos de control. En el caso de que existiera disponible un mapa base, planimétrico o topográfico, solamente sería necesario transferir los datos geológicos.

Para la transferencia de datos se dispone de muchos y muy variados métodos, pero la mayoría de ellos quedan com-

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

(\*\*) Fotogeólogo; United States Geological Survey.

prendidos en tres grupos principales:

- (1) GRUPO DE SUPERPOSICION
- (2) GRUPO DE PROYECCION
- (3) GRUPO DE ESTEREOTRAZADO (TRAZADO CON CURVAS DE NIVEL)

#### (1).—GRUPO DE SUPERPOSICION

Los métodos de superposición son "rápidos pero imprecisos". Se deben usar únicamente cuando falta tiempo o equipo, o cuando obtener un plano sin la suficiente precisión puede cumplir su objeto. El método de superposición más sencillo consiste en poner un papel transparente sobre una foto, trazando toda la planimetría necesaria. En este caso no se intenta poner todo a la misma escala, pero se puede obtener una aproximación bastante buena del detalle planimétrico. El resultado es un buen mapa de campo, que permite al geólogo definir su posición en el mapa estando en el campo. En la misma forma se pueden trazar detalles en áreas mayores, como sería el caso de un fotomosaico. En otras ocasiones se acostumbra colocar las fotos debajo del mapa base que tiene solamente los puntos de control y con los centros fotográficos en debida posición, trazar directamente sobre el mapa. Sin embargo, este procedimiento no es muy recomendable porque si se ha gastado tiempo elaborando una red radial, se debe al menos tratar de conservar la exactitud que tanto trabajo costó obtener.

Una variación del método de superposición, que goza de la preferencia de los fotogeólogos que trabajan para las compañías petroleras, es la preparación del llamado "mapa de tiras". El método consiste en elaborar un mapa planimétrico de superposición con cada línea de vuelo lo cual permite que la escala de conjunto no varíe en forma notable a lo largo de una determinada línea de vuelo. El mapa que se obtiene es un mapa de drenaje, y los errores de desplazamiento ocasionados por el relieve se reducen al mínimo. Posteriormente, los diferentes "mapas en tiras" se combinan para formar un mapa

de conjunto: ocasionalmente las tiras se reducen o amplifican fotográficamente para producir un mejor ajuste.

Con el método indicado se obtiene un excelente mapa-base de reconocimiento, siendo después una labor de más o menos dificultad el añadir los datos geológicos. Resulta muy fácil mantener al corriente estos mapas en el campo porque la reproducción exacta del drenaje facilita la localización de una foto en el mapa, y por consiguiente es fácil localizar con respecto al drenaje un punto de interés geológico.

Es conveniente hacer notar que si bien como fotogrametrista aficionado desanima la inexactitud en que se incurre en este tipo de mapa, tanto en las posiciones de los puntos como en las escalas, como geólogo impresiona su utilidad geológica. Como fotogeólogo, cabe recomendar no olvidarse de marcar los fotocentros en estos mapas.

## (2).—GRUPO DE PROYECCION.

Los métodos de proyección constituyen el segundo grupo. En ellos se emplean como proyectores instrumentos que tienen focos luminosos los cuales utilizan el principio de la cámara lúcida y a los que se llama "sketchmaster". (Véase ilustración). En estos casos se controla la posición de puntos sobre el mapa, porque es posible compensar los desplazamientos de relieve cambiando la escala. Los proyectores compensan mediante variaciones de la distancia de proyección y el "sketchmaster" lo hace aumentando o reduciendo la distancia del ojo al mapa, o la distancia del ojo a la fotografía. El procedimiento consiste en hacer coincidir el centro geométrico de la foto con el punto correspondiente marcado en el mapa base y después registrar cualquier otro punto de control. El paso siguiente es transferir todos los detalles que están en la elevación y posición del punto de control o en sus cercanías.

Cuando se mencionó las tres características de los puntos de paso, se indicó que algunas veces era preferible tomar "un riesgo calculado" y elegir deliberadamente los puntos de paso de manera que se encuentren en tantos niveles diferentes como sea posible. Existe un razón para tomar este riesgo: Cuan-

do se usan proyectores o sketchmasters, el único control para hacer los cambios compensatorios de escala debidos a errores causados por desplazamientos de relieve, proviene de las elevaciones de los puntos de control. Por ello, si todos los puntos de control están aproximadamente al mismo nivel, se controla solamente una parte mínima del relieve; pero, si los puntos de control son elegidos a través de la zona total de relieve, pueden lograrse los ajustes con mucha exactitud. Se le ha llamado "riesgo calculado" porque las diferencias máximas entre los desplazamientos por relieve y los desplazamientos por inclinación pueden echar a perder el trabajo; sin embargo, si se tiene bien definida la red radial, los métodos de proyección empleados producirán un mapa mejor. La práctica indica que generalmente se trabaja en condiciones de seguridad si la escala media de las fotografías es menor que 1:40,000.

El grupo de proyección goza de gran favor entre los geólogos empleándose estos métodos en la mayoría de las ocasiones; todo lo que se trata de hacer es poner un poco de fotogrametría en el trabajo.

A continuación se van a señalar algunas de las tareas fotogramétricas comunes en los trabajos de fotogeología:

En nuestra primera discusión, se hizo referencia a las fotos aéreas verticales y se dijo que una de las características de la foto vertical es el desplazamiento radial de puntos debido a cambios en la elevación. Ahora bien, una de las cosas que conviene saber es exactamente **qué grado de desplazamiento por relieve debe esperarse.**

Existe una fórmula útil y sencilla que nos da una idea de este grado de desplazamiento:

$$dr = \frac{R h}{H}$$

En esta fórmula "dr" es el máximo desplazamiento, siendo "R" la distancia radial desde el centro geométrico hasta la base de una fotoimagen desplazada; "h" la diferencia máxima

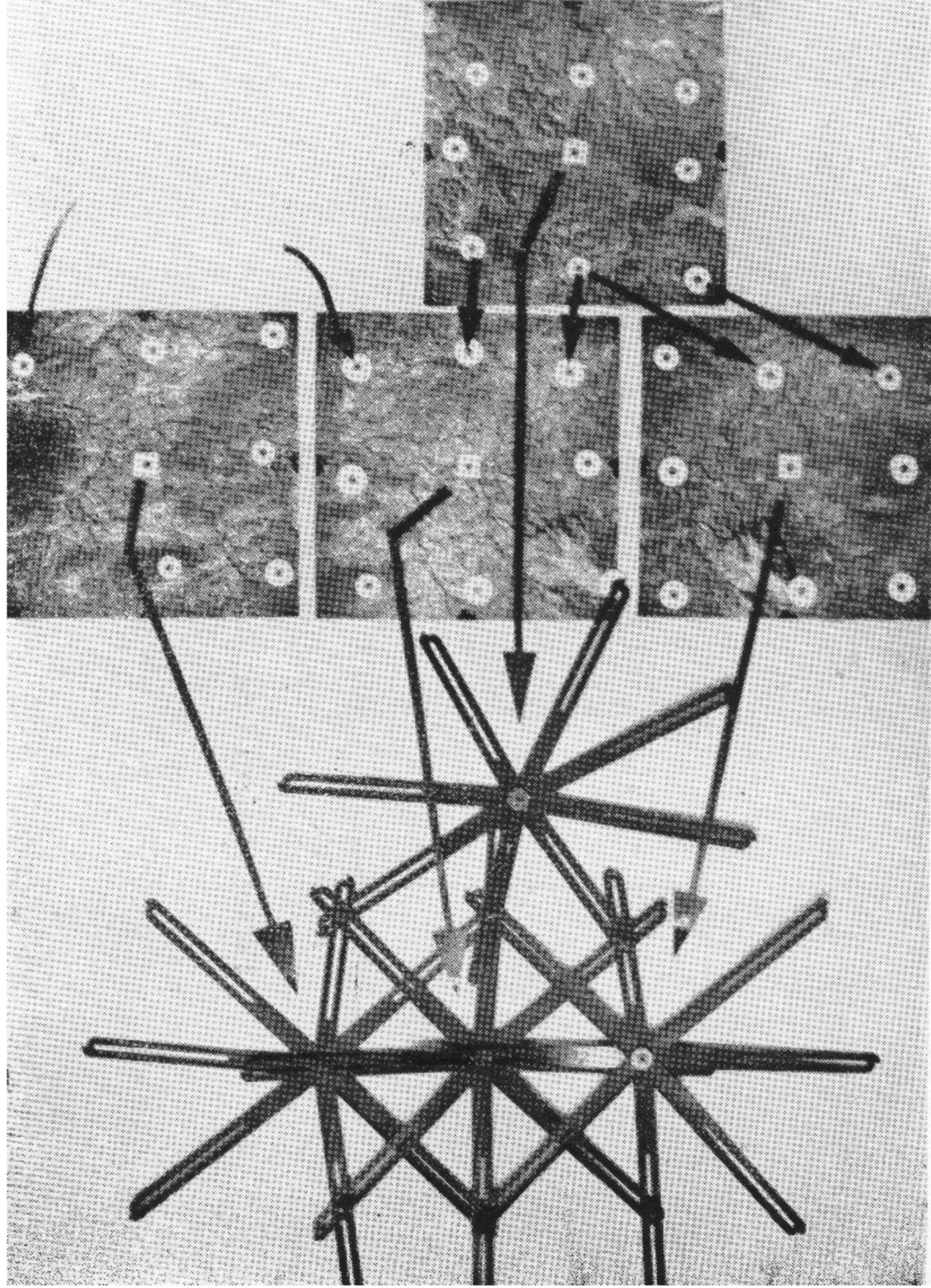


Figura 1.- Red de Triangulación Radial

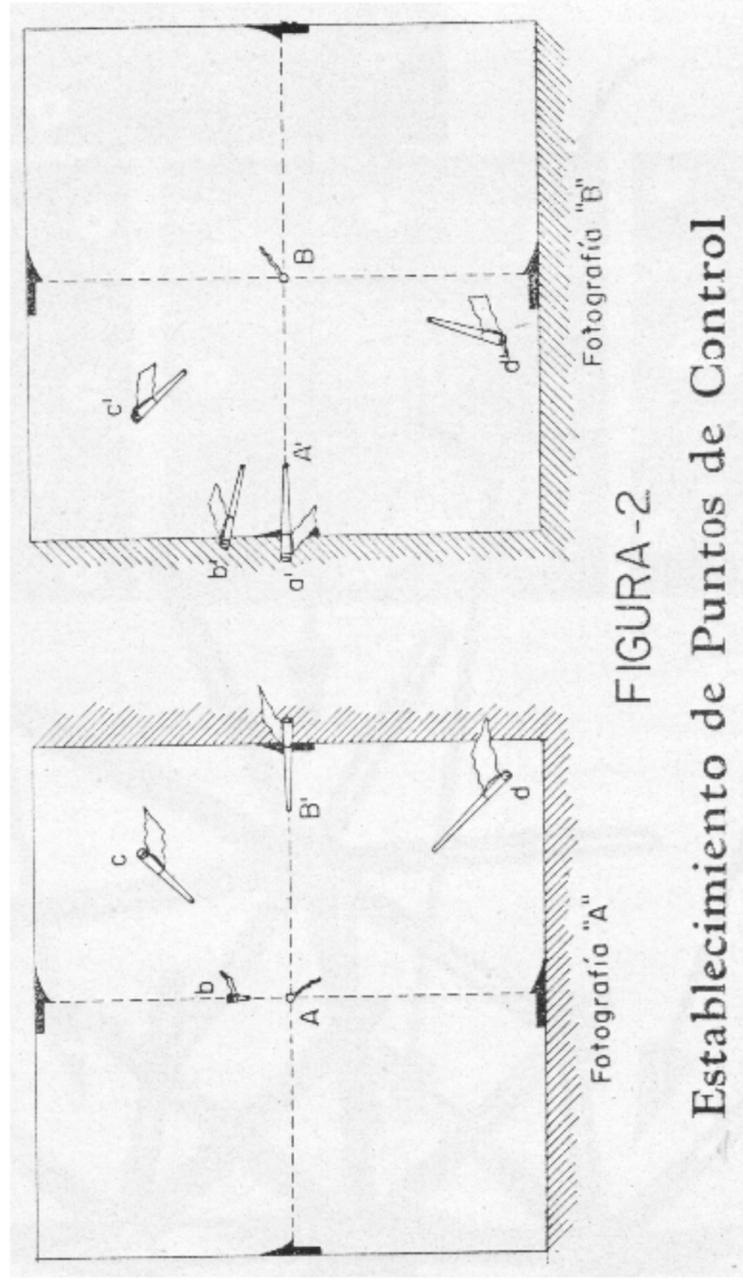


FIGURA -2

Establecimiento de Puntos de Control

de relieve dentro de este radio y "H" la altura aproximada de vuelo a la que se tomó la fotografía aérea. Por ejemplo: Si en un radio de 4" la cantidad máxima del relieve es de 2,000 pies, y la altura aproximada de vuelo es de 10,000 pies, el desplazamiento máximo por relieve será de 0.8 pulgadas. Sin embargo, tomando un radio de 2 pulgadas, el máximo desplazamiento por relieve será solamente de 0.4 pulgadas. En el caso de que estuviéramos usando la fotografía de "gran altura", las fotoescalas aproximadas serían de 1:64,000 y las alturas aproximadas de vuelo serían de 32,000 pies. Entonces, para el mismo ejemplo anterior, cuando la diferencia máxima de relieve a un radio de 4 pulgadas es de 2,000 pies, el desplazamiento máximo por relieve será solamente de 0.25 pulgadas, y hasta un radio de 2 pulgadas será solamente de 1.25 pulgadas. Ahora bien, lo básico en este asunto es señalar que, si se usa solamente el área central, tomando un radio hasta de 2 ó 2.5 pulgadas desde el centro, se puede reducir al mínimo los errores. Se debe hacer notar que con los métodos de proyección únicamente, se debe usar el área central de cada foto y que es absolutamente necesario que el centro geométrico de la foto esté colocado en el eje óptico del sistema de proyección.

Los métodos de proyección son excelentes para transferir datos en regiones de poco relieve, y son eficientes para transferir los detalles de fotos tomadas a gran altura. Los resultados son halagadores pero es conveniente conocer las verdaderas razones.

Se sabe que la iluminación de un foco luminoso se propaga siguiendo la ley de la inversa de los cuadrados. En otras palabras, mientras más grande sea el área por iluminar con una determinada cantidad de luz, menor será la intensidad de iluminación en cualquier parte determinada de esta superficie. Esto significa prácticamente que al reducir la escala completa de una foto por proyección, las imágenes proyectadas son más claras y mejor definidas. En el caso contrario, cuando se tiene que amplificar las escalas, las imágenes proyectadas serán más oscuras y menos definidas.

En resumen, pueden establecerse varias reglas sencillas para guiar el trabajo:

(1).—Si se tiene el problema de transferencia referente a un área de poco relieve, los métodos de proyección probablemente resultarán ser los más rápidos y adecuados.

(2).—Si se están usando fotografías de gran altura, o cualquier fotoescala media menor que 1:40,000, los métodos de proyección son excelentes.

(3).—Si hay que reducir la fotoescala completa para ajustarla a un cierto mapa, este requisito favorece los métodos de proyección.

(4).—Si el relieve en el área es mayor de 800 pies y la fotoescala media es mayor de 1:40,000, es posible que los métodos de proyección no sean adecuados.

(5).—Si hay que amplificar la escala completa y si la amplificación es mayor del doble, deben esperarse muchas dificultades con los métodos de proyección, porque además de tener imágenes oscuras y menos definidas hay que recordar también que los errores posibles están amplificados.

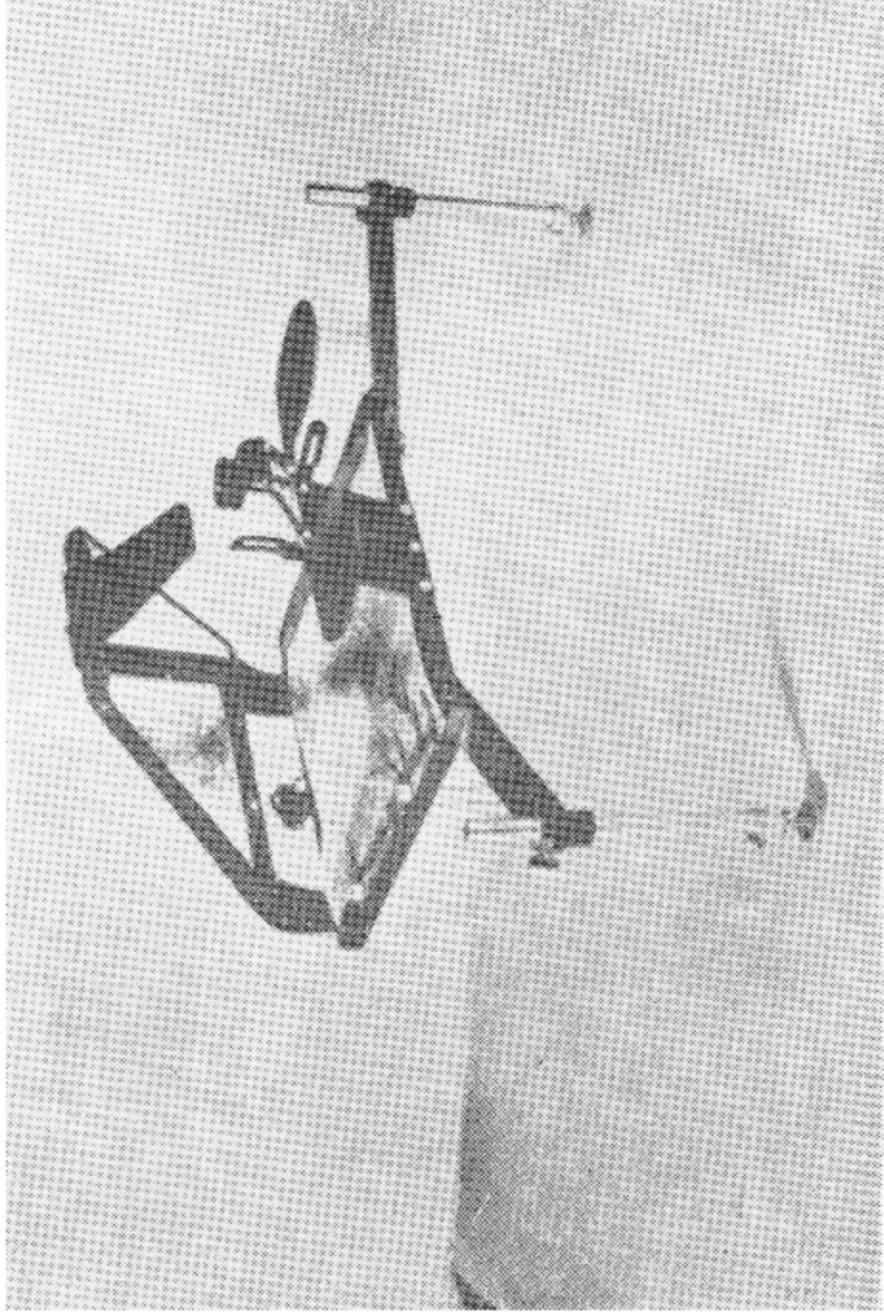
(6).—En cualquier caso, el eje óptico del proyector debe contener el centro geométrico de la fotografía.

(7).—Se debe procurar transferir solamente el detalle fotográfico, hasta un radio aproximado de dos pulgadas y media del centro geométrico.

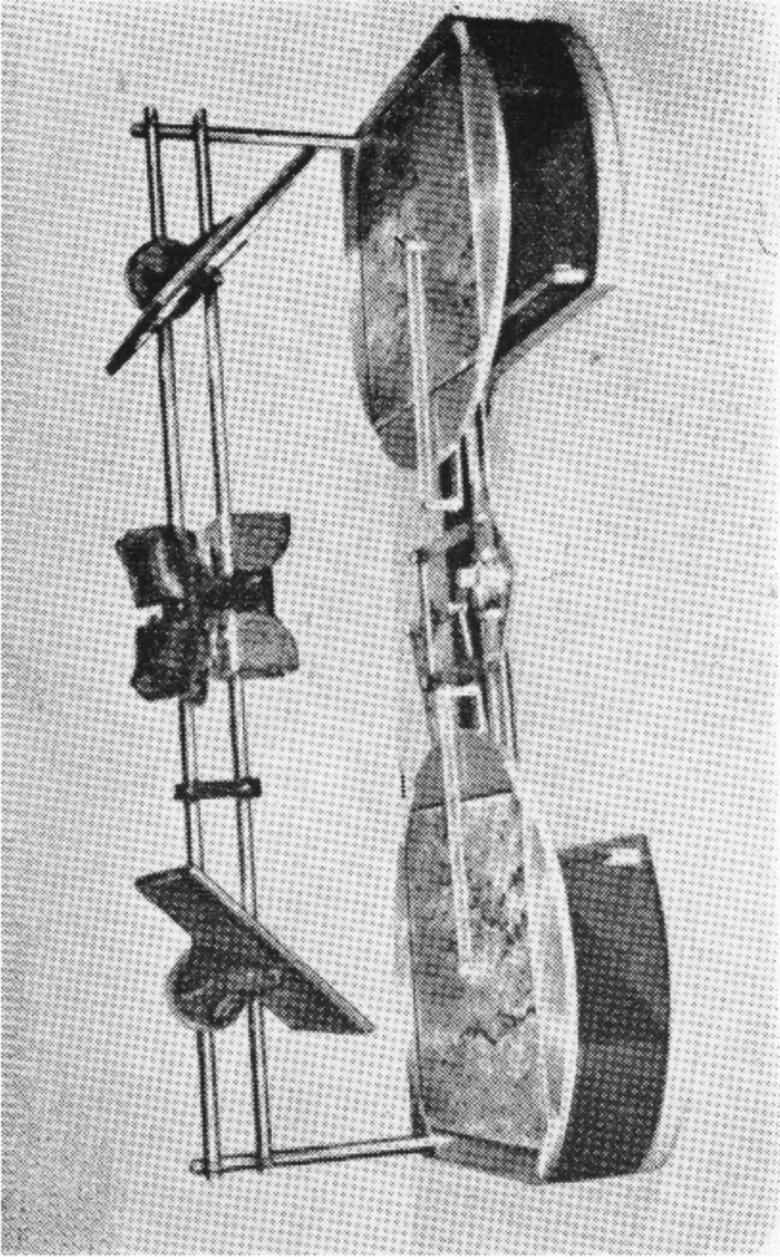
### **(3).—GRUPO DE ESTEREOTRAZADO.**

Los métodos de estereotrazado son sin duda los mejores. No hay razón para que un geólogo no pueda usar un mecanismo estereotrazador del tipo Kelsh, Multiplex, o "ER55". Este tercer grupo también incluye otros mecanismos estereotrazadores para fotografías de contacto como el trazador Kail y el "estereotopo" de Zeiss.

La ventaja principal de los instrumentos de precisión es que hacen posible corregir también los desplazamientos por



Sketchmaster Vertical



Proyector Planimétrico Radial

inclinación, porque se trabaja directamente del estereomodelo y se puede cambiar la orientación espacial del modelo. La dificultad puede consistir en que no se cuente con los instrumentos necesarios en un momento dado o en que no se sepan usar, ya que lleva algo de tiempo aprender su manejo.

Consideramos como ejemplo el "trazador planimétrico Kail" que es barato, portátil y muy fácil de usar.

Este trazador fue diseñado para transferir datos planimétricos y geológicos a mapas base elaborados por métodos de triangulación radial. Los centros de las dos tablas representan estaciones de instrumentos en el campo, existiendo una línea base, fija entre los centros. Usando estos dos radiales gráficos, cortamos un punto en el estereomodelo y la punta del lápiz indica la posición de este punto en el mapa, a la misma escala que el mapa base.

Puesto que estamos esencialmente ocupando en forma simultánea ambas estaciones de instrumentos, podemos mover el punto de intersección radial, consiguiendo así una indicación continua de posiciones en el mapa. Este principio lo convierte en un mecanismo de trazado.

La principal dificultad es la necesidad de dibujar todos los detalles planimétricos moviendo el mecanismo pantográfico. En un principio, para transferir los meandros del drenaje, por ejemplo, puede parecer difícil, pero con la práctica pronto se puede hacer un trabajo de buena calidad. Como es fácil darse cuenta, el principio empleado consiste en hacer los trazos por medio de una triangulación radial continua.

El trazador Kail es de máxima eficacia en problemas sencillos de transferencia de datos donde el área tiene considerable relieve y la fotoescala media es mayor de 1:40,000. El instrumento corrige automáticamente todo desplazamiento causado por diferencias de relieve, una vez que el instrumento ha sido orientado y se han fijado los puntos de control.

En las oficinas del U.S.G.S. en los EE.UU., se han usado durante varios años, para hacer mapas fotogeológicos, los trazadores de precisión llamados Kelsh y Multiplex. Algunas ve-

ces es necesario un día de trabajo para transferir todos los detalles planimétricos y geológicos en un cuadrángulo de 7 1/2 minutos; como es natural, el tiempo utilizado depende del número de veces que sea necesario colocar los estereomodelos en el instrumento. En muchas ocasiones, usando en el trazador Kelsh fotos tomadas a gran altura, (escalas 1:60,000), se necesitan solamente uno o dos modelos para cubrir el área total. En estos casos se trabaja a escalas de 1:12,000, pero como el factor de amplificación de un trazador Kelsh es de 5X se usa un pantógrafo para reducir directamente esta escala a la comúnmente utilizada de 1:24,000.

En los últimos años, el principal uso de los trazadores de precisión en problemas geológicos, ha sido emplearlos como instrumentos de medida. En otras palabras, se convierte las dimensiones verticales y horizontales de un estereomodelo en datos geológicos útiles.

En California, por ejemplo, se hicieron una serie de experimentos prácticos con éxito durante el último año, en relación con un levantamiento gravimétrico localizado en terrenos accidentados. En casos como estos se presentan dificultades porque es necesario conocer la elevación de la estación gravimétrica para poder corregir las anomalías producidas por el relieve.

La práctica indica que el mayor o menor costo de un levantamiento coincide con el costo del establecimiento del control del terreno y en estos casos significa la mayor parte del costo total.

Se pensó que si se disponía de algún control del terreno, sería posible nivelar los estereomodelos hasta dicho control y que las elevaciones de las estaciones gravimétricas se podían obtener por métodos fotogramétricos.

Se probó el método en un levantamiento gravimétrico hecho en el centro de la Sierra Nevada y en otro realizado en la parte más quebrada de Idaho. Al comprobar nuestro trabajo, se vió que la exactitud de los resultados satisfacía los requisitos de corrección.

Se espera publicar en este año los métodos y técnicas empleados con objeto de que puedan ser aplicados por los interesados en ellos.

Se podría continuar hablando de otras aplicaciones de los trazadores de precisión para el trabajo geológico, sin embargo, es preferible explicar cómo se hace un mapa geológico.

En primer lugar, la decisión sobre cuál debe ser la exactitud de un mapa geológico debe ser tomada por el geólogo de campo. Si la mayoría de los contactos entre las formaciones son transicionales o están oscurecidos por la vegetación, no hay razón para trazar y localizar los datos hipotéticos con mayor exactitud. Esto sería una violación de la lógica y los geólogos son muy rápidos para descubrir un error de lógica.

Sin embargo, si los contactos de campo son claros y definidos, existen buenas razones lógicas para transferir los detalles con la mayor exactitud posible, porque el mapa geológico será mucho más útil y valioso. Por ejemplo, si dos contactos están aproximadamente al mismo nivel y a una distancia, digamos de 2,000 metros, y si la inclinación media de la formación es de  $30^\circ$ , en seguida se conocerá que el espesor medio de la formación entre estos puntos es de mil metros. El usar adecuadamente esta precisión nos ayuda a conocer zonas de engrosamiento o adelgazamiento de las formaciones, lo cual es muy importante en un plano geológico.

### RESUMEN

Independientemente del método empleado para transferir los datos planimétricos o geológicos a un mapa base, el hecho de planear convenientemente su ejecución es la fase más importante del trabajo.

Antes de comenzar cualquier trabajo, es necesario programar su realización. Se necesita revisar el proceso completo para hacer mapas con fotografías aéreas, lo cual implica: Conocer las características de las fotos por utilizar; computar la máxima cantidad de desplazamiento por relieve que puede esperarse; formarse idea de la complejidad de la geología para decidir la escala más conveniente; elegir el mejor método pa-

ra transferir los detalles fotográficos antes de hacer el mapa base; tratar de conocer dónde se pueden hacer las correcciones necesarias antes de enfrentarse a los problemas de mapeo; discutir los problemas que se pueden presentar con los fotogrametristas o los fotogeólogos. Finalmente, debe tenerse presente que se debe sacar a las fotos el mejor partido y para ello es necesario planear convenientemente el proceso de trabajo. La práctica mostrará que todo esto ahorra tiempo y dinero y lo que es más importante, permitirá obtener muy buenos resultados.