"FOTOGEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA DE CARRETERAS". (*)

JUAN B. PUIG DE LA PARRA. (**)

PREAMBULO.

Uno de los problemas actuales más importantes para la mayor parte de los países, es la construcción de vías de comunicación.

La ingeniería de carreteras o ferrocarriles, se relaciona principalmente con la porción superficial de la corteza terrestre, que se encuentra expuesta constantemente a la influencia de los elementos naturales. Dentro de los límites económicos, todas las construcciones deben ser planeadas para resistir con éxito el ataque incesante de esos elementos.

La necesidad de conocer las condiciones geológicas de una región a través de la cual va a desarrollarse el proyecto de una carretera debe ser subrayada si se quieren obtener resultados satisfactorios del diseño, construcción y conservación, ya que el desconocimiento de dichas condiciones ocasiona problemas costosos y que pueden ser de peligro para la vida humana.

(*) Original recibido en septiembre de 1956.

(**) Jefe de la Sección de Geología de la S.C.O.P.

En muchos lugares del mundo, los geólogos han estado más o menos íntimamente asociados con los trabajos de carreteras durante los últimos cincuenta años, y han contribuido notablemente al desenvolvimiento de la ingeniería de caminos.

Para proyectar una vía de comunicación terrestre de cierta magnitud, en la que se trata de conseguir una máxima economía en función de la calidad técnica de la obra, es indispensable aplicar al diseño y a la construcción, los procedimientos más modernos y apropiados con que pueda contarse.

La experiencia obtenida de la aplicación de las fotografías aéreas en el proyecto de carreteras, en los países técnica y económicamente más capacitados, ha demostrado que su empleo a través de los procedimientos fotogeológico y fotogramétrico es uno de los adelantos más importantes que se han logrado con relación al diseño de caminos en los últimos veinticinco años.

Las naciones tienen siempre la posibilidad de contar con el equipo necesario para hacer levantamientos aerofotográficos de sus respectivos territorios.

El gasto que se haga para dicho trabajo, será una inversión importante que rendirá magníficos dividendos debido a las grandes aplicaciones que se obtienen en materia de Geología, Ingeniería, Cartografía y Geografía Humana.

Los principales objetivos en que pueden aplicarse las fotografías aéreas, por medio de los procedimientos fotogeológico y fotogramétrico, son en cuanto a Geología pura: exploración petrolera, exploración minera, estudios preliminares para vasos y cuencas de captación de presas, control de ríos, abastecimiento de agua para ciudades y estudios de erosión de suelos. En cuanto a Geología aplicada a la Ingeniería, pueden considerarse: carreteras, ferrocarriles, presas, aeropuertos, puertos marítimos y fluviales, control de inundaciones, trabajos de desagüe, oleoductos, redes telefónicas, etc., y en cuanto a estudios generales, pueden citarse: urbanización de ciudades, mapas geográficos, evaluación de bosques, zonas agrícolas y ganaderas, colonización de zonas nuevas, u objetivos militares.

El costo de un levantamiento fotográfico aéreo se justifica

FOTOGEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

sobradamente por su aplicación a cualquiera de los objetivos antes señalados y más aún teniendo para su empleo subsecuente un campo tan amplio en la exploración para obtener, controlar y explotar, casi todos los recursos naturales que el hombre necesita para su desarrollo.

OBJETIVOS DEL PROCEDIMIENTO FOTOGEOLOGICO

Al emplear el procedimiento fotogeológico al desarrollo completo del proyecto de una vía de comunicación terrestre, se consiguen objetivos de gran interés, tanto de carácter ingenieril como de índole geológica. Por ejemplo:

INGENIERIL

- A).—Carta geográfica.
- B).—Trazo de la ruta general.
- C).—Camino vecinales.
- D).—Localización de Puentes.
- E).—Estudio preliminar para túneles.
- F).—Procedimientos de construcción.
- G).—Fotogrametría.
- H).—Dimensiones de terrenos afectados.

GEOLOGIA

- A).—Geología regional.
- B).—Litología.
- C).—Estratigrafía.
- D).—Tectónica.
- E).—Geomorfología.
- F).—Abastecimiento de agua.
- G).—Yacimiento de materiales para construcción.
- H).—Problemas especiales.

ASPECTO INGENIERIL:

A).—**CARTA GEOGRAFICA.**—Para hacer el proyecto de cualquier obra de ingeniería, es indispensable contar con un mapa topográfico a una escala adecuada al objetivo que se persigue. De los mosaicos fotográficos y con ayuda de las copias de contacto, se obtiene un mapa sumamente detallado del área, en el que se localizan las ciudades, los pueblos, las rancherías y aún las casas aisladas; también se tienen los caminos y las veredas

existentes, así como otras obras humanas tales como presas, puentes, canales, etc. El conocimiento de la distribución de esos elementos culturales, es básico al planear la ruta que debe seguir la carretera o el ferrocarril que se proyecta construir.

El mapa fotogramétrico es también muy útil cuando se trata de hacer otros estudios en la zona, ya sea para trabajos de geología, de ingeniería, de geografía, de agricultura, ganadería, etc.

B).—TRAZO DE LA RUTA GENERAL.—A partir de los puntos extremos que son obligados para el camino, la ruta general se localiza teniendo en cuenta las características morfológicas o sea la expresión topográfica, con lo que puede ser escogida la faja de terreno apropiada para utilizarse en el proyecto de la preliminar. Esas características morfológicas pueden ser conocidas con suficiente precisión al observar el terreno por medio de fotografías aéreas estereoscópicas. Empleando este procedimiento, se evitará el que al hacer la localización de la ruta, el trazo sea llevado hacia cañones sin salida, a pantanos, o a zonas de relieve abrupto, en las que no sea costeable la construcción.

Además de los lugares principales para los que se ha planeado la vía de comunicación, deben ser considerados todos los sitios que se encuentren dentro del área contigua a una recta que una los extremos y cuya importancia económica puede hacer conveniente una desviación de la ruta principal o bien simplemente construir un ramal, si el estudio económico así lo dictamina. Esos sitios de importancia comercial, pueden ser poblados pequeños, zonas agrícolas, bosques, minas, campos petroleros, parques de recreo, lugares turísticos, etc.

C).—TRAZO DE CAMINOS VECINALES.—La localización de conexiones entre la carretera principal y otros lugares de importancia, o de pueblos entre sí, dentro de la región levantada aerofotográficamente, en las que no se requiere una gran precisión, puede hacerse directamente a partir de la visión este-

reoscópica de las fotografías, teniendo en cuenta las características del relieve, la hidrografía y la geología general.

Los caminos vecinales constituyen las verdaderas comunicaciones de una región, ya que una carretera, o un ferrocarril por importantes que sean, no pueden por si solos beneficiar las zonas que están situadas a cierta distancia de la línea. Es necesario entonces fijar la atención en estos caminos secundarios cuando se hace el proyecto de una vía de comunicación de primer orden, puesto que sin ellos se habrá perdido por lo menos un 50% de su utilidad.

D.—*LOCALIZACION DE PUENTES.*—Al seleccionar el sitio para la construcción de un puente, el ingeniero no tiene mucho para escoger, ya que el lugar queda determinado por la ruta, con un aumento mínimo de kilometraje. Dentro de esta limitación, el ingeniero elige el cruce que requiere la construcción de la estructura más corta y en el que las características morfológicas generales del valle o de la vía fluvial que se pretende cruzar sean las más propicias; esa elección se facilita si se dispone de las fotografías aéreas de la zona.

El contar con el mapa fotogeológico, es una gran ventaja en este caso, puesto que puede discutirse la conveniencia de hacer una estructura más grande y reducir el kilometraje o viceversa; o bien de hacer dos puentes pequeños en vez de uno de gran tamaño, y en general cualquier problema de tipo económico que se presente por este concepto, y cuya solución por medio de procedimientos topográficos comunes, requeriría mucho más tiempo y un costo incomparablemente más elevado.

Para proteger los puentes, se hace el estudio de las erosiones laterales de los ríos, así como de los depósitos, e inundaciones durante avenidas máximas por medio del reconocimiento fotogeológico, de cuyos resultados se obtienen datos de una gran utilidad para el proyecto.

E).—*ESTUDIO DE TUNELES.*—Del reconocimiento aerofotográfico que se hace para determinar el trazo de la ruta

preliminar, puede inferirse la conveniencia de construir un túnel a través de una montaña. Los mapas topográficos que son necesarios para diseñarlo, no pueden ser obtenidos de las fotografías aéreas directamente; sin embargo, sí puede tenerse una idea de la longitud y del espesor de roca que servirá como abrigo, lo cual es muy útil al discutir acerca de su economía, teniendo en cuenta que las deducciones ingenieriles deberán considerarse en conjunto con las geológicas, ya que unas u otras pueden ser decisivas al resolver la ejecución de una obra tan delicada y costosa como es un túnel.

F).—PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.—

Cuando se procede a hacer el estudio fotogeológico de la faja en donde se alojará el camino en proyecto, es importante no perder de vista que la forma de llevar a cabo la construcción de la carretera o de la vía férrea, es decisiva al considerar la economía total de la obra.

Las características topográficas, geológicas y sociales que determinan la ruta que debe seguir la línea, deben ser consideradas en conjunto con los diferentes procedimientos de construcción puesto que la aplicación apropiada de esta técnica puede hacer costeable la construcción de un tramo que a priori parezca inaceptable geológica o topográficamente.

El ingeniero geólogo dedicado al estudio de interpretación de fotografías aéreas para vías de comunicación debe tener los conocimientos básicos de la técnica de la construcción y estar familiarizado con la terminología usada por los ingenieros civiles, con lo que sus informes son entendidos con toda claridad.

Las condiciones desfavorables que se presentan al localizar la ruta general, no son definitivas sino que pueden ser modificadas hasta hacerlas desaparecer totalmente por medio de técnicas constructivas apropiadas. Cuando se tienen dos o más posibilidades, generalmente el fotogeólogo puede escoger el paso más conveniente y en caso de duda, plantear el problema con claridad, dando todos los datos que puedan obtenerse para que

FOTOGEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

el problema sea resuelto al hacer el estudio en el campo. En todos los casos es la economía el factor decisivo.

En los casos que la construcción de la carretera, requiere el empleo de procedimientos de construcción especiales debido a condiciones geológicas o topográficas determinadas, el ingeniero geólogo está capacitado para recomendar tal o cual variación o innovación a la técnica general, de tal forma que se obtenga una reducción en el costo, un mejor servicio de la obra o un costo de mantenimiento más bajo.

G).—*FOTOGRAMETRIA*.—Una ventaja importantísima que se obtiene de las fotografías aéreas es que pueden ser utilizadas, previa rectificación, para hacer fotogrametría. La fotogrametría, es una técnica para obtener mapas topográficos a partir de las fotografías y está tan perfeccionada que pueden hacerse en el laboratorio planos tan útiles como cualquier otro levantado directamente, para proyectos de carreteras, ferrocarriles, planificación de ciudades, desarrollo de puertos, estudios para la localización industrial, etc. Cuando el proyecto de alguna de estas obras requiere que el estudio preliminar se realice en un tiempo mínimo, las fotografías aéreas proporcionan el medio más rápido y económico de llevarlo a cabo, advirtiéndose que el costo del mapa fotogramétrico, rara vez excede en un sesenta por ciento al costo de uno levantado directamente, siendo más completo; debe tenerse en cuenta además que ha de descontarse del costo total el valor de las fotografías originales que sirvieron para el estudio fotogeológico.

El procedimiento fotogramétrico para hacer levantamientos especiales, ha sido empleado con éxito en muchos países, especialmente en los Estados Unidos de Norteamérica, en donde se ha aplicado intensamente al proyecto de vías de comunicación terrestre.

H).—*TERRENOS AFECTADOS POR LA VIA DE COMUNICACION*.—Cuando se hace el proyecto de una vía de comunicación terrestre, ésta frecuentemente atravieza por áreas

de cultivo, o de otras propiedades particulares, a cuyos dueños debe indemnizarse según el perjuicio que se les haga.

Para hacer una estimación de la faja afectada por la carretera y su derecho de vía, las fotografías aéreas son muy útiles, ya que basta medir a escala el área que va a ser necesaria para la carretera, determinándose directamente de las fotografías en algunos casos el tipo de siembra que se va a afectar, o bien por medio de una investigación suplementaria en el terreno cuando se tengan dudas, para hacer una estimación de su costo y considerar las posibilidades de destruir el mínimo posible.

En casos de necesidad, las fotografías pueden ser empleadas como documentos legales, ya que son una copia real del terreno.

ASPECTO GEOLOGICO

Al efectuar la localización del trazo de la ruta preliminar, además de las características morfológicas, deben tenerse en cuenta las condiciones geológicas del terreno y la localización de los yacimientos de materiales necesarios para la carretera.

La interpretación que se hace de las fotografías aéreas desde el punto de vista geológico, proporciona en gran parte la información que se requiere para localizar la preliminar más conveniente, tanto por el aspecto geológico puro como por el de la aplicación de los conocimientos teóricos de la resolución de problemas prácticos, como pueden ser la distribución de rocas que pueden ser aprovechadas como material de construcción, las fuentes de abastecimiento de agua, u otros provenientes de accidentes geológicos.

A).—*GEOLOGIA REGIONAL*.—Del estudio fotogeológico de una zona se deduce primeramente la geología regional, cuyo conocimiento es muy importante, ya que proporciona una idea general de las características fisiográficas, litológicas, estratigráficas y estructurales que van a predominar en la región; aprovechando esta información, el fotogeólogo está en posibilidad

de prever los problemas que podrán presentarse al desarrollar el plan completo de la obra. Estos problemas provienen de los diferentes factores que influyen en las condiciones que se encontrarán al realizar el proyecto, las que principalmente son: *el clima*, que afecta tanto directa como indirectamente, ya que gobierna en gran parte las características ecológicas y los diferentes grados de intemperización de las rocas aflorantes; *la morfología* o sea las características del relieve que predomina y las que a su vez están relacionadas con el clima, con el tipo de rocas que se encuentran aflorando y con los esfuerzos orogénicos a que ha sido sometida la región, factor decisivo en cuanto a la localización de la vía de comunicación; *la hidrología*, en su aspecto superficial principalmente, que estudia la distribución de los cuerpos de agua y los sistemas de escurrimiento; *la litología*, de cuyo conocimiento se deducen las posibilidades de obtener y utilizar las rocas como materiales de construcción y sus características en cuanto a estabilidad de taludes, y a las propiedades generales de las diferentes formaciones superficiales; *la estratigrafía*, auxiliar valioso al prever el comportamiento de las masas de roca con relación a deslizamientos y arrastre; *la tectónica* que indica la situación estructural de la región con respecto a intrusiones, plegamientos y fallas, u otros accidentes geológicos que pueden ser deducidos de su estudio.

Todas las secciones de la geología apuntadas anteriormente se han tocado desde un punto de vista regional que es el que se obtiene del reconocimiento fotogeológico general.

Posteriormente, sobre la faja abarcada por el trazo se hace un estudio fotogeológico local y detallado de las condiciones geológicas particulares de cada tramo, determinando los lugares en donde un estudio directo sea de interés, ya por presentar fenómenos que pueden ser de peligro para la construcción, o porque se identifiquen afloramientos de rocas utilizables como fuentes de material.

B).—*LITOLOGIA*.—Debido a las características litológicas y a las condiciones del medio ambiente, se presentan en la

naturaleza diferentes fenómenos que afectan principalmente la porción superficial de la corteza terrestre. La ingeniería de carreteras, trata esencialmente con las rocas superficiales por lo que es indispensable estudiar su composición y origen para hacer los proyectos de construcción con los procedimientos más adecuados en cada caso y prevenir las obras de los accidentes que pueden presentarse por la naturaleza de las formaciones efectadas.

En general, es posible inferir fotogeológicamente la litología de las rocas que afloran, teniendo como base los criterios para la interpretación y la identificación, como densidades o tonos fotográficos, textura, geomorfología y paisaje.

Es necesario en muchos casos conocer localmente las características litológicas de las formaciones sepultadas, para lo cual es indispensable efectuar perforaciones con muestradoras, ya que la información que puede obtenerse de las fotografías aéreas para este caso, es insuficiente.

Las trazas de los planos de contacto intraformacionales, pueden definirse con claridad en la mayoría de los casos, siendo de gran utilidad delimitar las áreas cubiertas por materiales de relleno y las que son ocupadas por roca firme.

Los contactos entre diferentes tipos de depósitos en zonas lacustres son de gran importancia, puesto que pueden definirse con cierta aproximación las áreas que son inundables en las temporadas de lluvia.

C).—*ESTRATIGRAFIA*.—En cuanto a las relaciones estratigráficas locales de las distintas formaciones que se presentan en el área, generalmente de las fotografías no se puede deducir el orden de depósito, a menos que las capas muestren cierta amplitud de afloramiento horizontal, ya que no es posible observarlas en cortes; sin embargo, es fácil determinar en las fotografías los sitios más propicios para efectuar estas investigaciones, señalándolos en el mapa fotogeológico con el fin de hacer el estudio con rapidez y seguridad.

Al ingeniero de carreteras le interesan principalmente las condiciones de las rocas que afloran pero también le interesa

conocer, en muchos casos, las propiedades de las rocas subyacentes, para lo cual es necesario efectuar exploraciones con sondeos, ya sea a cielo abierto o con perforadora. Este tipo de estudios, ha venido a ser complementado con los métodos geofísicos que, combinados con la perforación, hacen más económica la exploración.

Estos trabajos se hacen en sitios definidos cuando se ha estudiado la conveniencia de construir un túnel o un puente cuando se van a hacer grandes cortes; o bien a lo largo de la línea cuando el suelo es tan malo que no es capaz de resistir el peso del terraplén y es necesario efectuar pruebas especiales.

Al hacer estos estudios especiales, es muy útil el mapa foto-geológico tanto para la localización de los lugares en donde se llevarán a cabo, como por la información geológica que proporciona con la cual pueden deducirse en muchos casos los tipos de roca que se van a encontrar y sus condiciones generales, las fuentes de abastecimiento de agua para la perforación y la distribución adecuada de los sondeos.

D.—*TECTONICA*.—Las estructuras geológicas, tales como pliegues, fallas, diaclásas, intrusiones, etc., tienen una influencia decisiva sobre las propiedades mecánicas de las masas de roca. Generalmente, la presencia de fenómenos estructurales puede tomarse como un factor que reduce la capacidad de resistencia de las rocas, ya que el fracturamiento, el plegamiento y en general las deformaciones las debilitan, aunque en algunos casos, como el de intrusiones, el de algunas fracturas selladas con sílice y algunos otros, los efectos de los movimientos tectónicos combinados con otros agentes que actúan al mismo tiempo o posteriormente, mejoran las condiciones de resistencia de las formaciones.

Las condiciones estructurales son, en muchos casos, las que determinan el grado de estabilidad que puede soportar una pendiente al hacer un corte; son las que definen el sitio en donde ha de construirse un túnel y los procedimientos de construcción que deben adoptarse para hacerlo en la forma apropiada. También

pueden obligar a hacer modificaciones en el trazo para evitar zonas de fracturas o contactos que hagan peligrar las obras. Debe hacerse lo más práctico y no lo más cómodo.

Las características estructurales de un renglón, en la mayoría de los casos, pueden ser determinadas por medio del estudio fotogeológico con rapidez y seguridad, ya que es fácil determinar la posición de los estratos, la existencia de diaclasas y fallas, la presencia de extrabasaciones ígneas ó presencia de intrusiones que se reflejan en la superficie.

Es por estas razones por lo que el estudio fotogeológico de la Geología Estructural de una región debe ser tomado en cuenta cuando se trate de localizar y construir una vía de comunicación terrestre.

D.—*GEOMORFOGRAFIA*.—La descripción de las formas superficiales, debe hacerse de una manera precisa y sistemática, siendo conveniente dividirla en Orografía e Hidrografía.

Orografía.—El relieve de una región está definido por montañas y barrancas, por lo que su descripción, desde los puntos de vista morfológico, genético y litológico es de gran utilidad cuando se está proyectando la construcción de una vía de comunicación terrestre.

La importancia morfológica es evidente ya que la localización es gobernada principalmente por la expresión topográfica del terreno. Como se anotó anteriormente, las características del relieve se reconocen claramente, en las fotografías aéreas por medio de la visión estereoscópica.

En cuanto al origen de las montañas, se les ha clasificado como montañas plegadas, bloques afallados, montañas complejas, intrusiones y volcanes. Cada unidad orogénica, exige estudios especiales que determinan los problemas propios de esa unidad y sus variantes particulares. En la mayoría de los casos, es posible hacer la clasificación de las unidades por medio del estudio fotogeológico.

Las características litológicas, que están íntimamente relacionadas con la morfología y el origen de la montaña, también

pueden ser determinadas en una forma general por medio de la Fotogeología. Conocer la litología de las rocas que forman una unidad, es necesario tanto para formarse una idea de sus propiedades mecánicas y de sus reacciones al quedar expuestas ante los agentes del intemperismo, como investigar las posibilidades de que sean aprovechadas en la obra. No debe perderse de vista que después del estudio fotogeológico es imprescindible hacer una exploración directa.

Hidrografía.—Cada vía fluvial que va a ser cruzada por la ruta propuesta, debe ser conocida lo más detalladamente posible en cuanto a sus propiedades hidráulicas, lo cual puede ser obtenido, en la parte morfológica superficial, por medio del estudio de las fotografías aéreas, puesto que puede delimitarse con claridad la cuenca de captación y las características del cauce, por incipiente que sea.

Con estos datos y los relacionados con el clima, se deduce la necesidad de construir para un cruce, un puente o una alcantarilla y tomar las medidas de protección que sean pertinentes.

En las regiones lacustres, con el estudio fotogeológico se pueden identificar los cuerpos de agua y las áreas que son inundables en época de lluvias, lo que permite llevar el trazo del camino por los sitios más altos, evitando, hasta donde es posible, las zonas pantanosas. En estas regiones, los ríos muestran generalmente una marcada divagancia que es peligrosa para las construcciones; pero ese peligro puede ser evitado si la vía fluvial es estudiada con todo detalle en las fotografías estereoscópicas, ya que se conocen con claridad los meandros abandonados y los canales que se forman dentro del cauce efectivo. En estudios para obras de riego o para prevenir inundaciones fluviales, la Fotogeología es un procedimiento inmejorable.

Es siempre útil tener una idea de la morfología general de la zona lo que puede ser conocido por medio de la Fotogeología con toda claridad.

F).—*ABASTECIMIENTO DE AGUA.*—El problema del agua en algunas regiones, es tan difícil de resolver, que su

obtención puede aumentar considerablemente el costo de construcción de un tramo de carretera.

El agua siempre puede conseguirse por medio de la perforación de pozos, pero no siempre es económica la profundidad a que se encuentra.

Un servicio adicional de gran utilidad que proporciona el estudio fotogeológico es la localización de la fuente de suministro de agua, que es indispensable tanto para la compactación de la subrasante, como para las máquinas y el elemento humano.

El agua puede ser tomada por medio de carros tanques de algún lago o manantial, que esté lo más cerca posible, todos los cuales son fácilmente indentificables en las fotografías aéreas. En algunos casos no puede contarse con agua en la superficie a una distancia razonable, lo que obliga a los constructores a buscarla en el subsuelo. La localización más apropiada de los pozos que deben perforarse para ese obpeto, debe ser dada por un geólogo, el cual tendrá en la fotogeología un auxiliar valiosísimo.

G).—*MATERIALES PARA CONSTRUCCION.*—A partir de la información que se ha obtenido del estudio litológico se deduce la posibilidad de emplear algunos bancos de roca como materiales para construcción.

La clasificación litológica que puede hacerse de las rocas en las fotografías aéreas, no es precisá en la mayoría de los casos, sin embargo, casi siempre pueden reconocerse las divisiones principales, señalando si se trata de una roca ignea o sedimentaria y más difícilmente si es metafórfica. En general, dentro del grupo de las rocas sedimentarias puede diferenciarse si se trata de material de relleno o de roca firme, y en caso de ser roca firme, en muchos casos puede decirse si es una caliza, una arenisca o una lutita.

Cada afloramiento de roca se encuentra localizado en el mapa fotogeológico, lo que facilita su estudio directo en el terreno, además de que pueden señalarse los caminos de acceso que existan o que sea necesario trazar para su explotación.

La distribución de los yacimientos de materiales, es un factor de importancia decisiva al localizar una vía de comunicación terrestre, siendo este totalmente determinable por medio de la fotogeología.

H).—*PROBLEMAS ESPECIALES*.—Los fenómenos geológicos que provocan problemas más comunmente, tanto en la construcción de vías de comunicación terrestre, como en otras obras de ingeniería de importancia, son los deslizamientos de masas de roca y las fallas.

En el estudio geológico preliminar que se hace cuando se proyecta la construcción de un camino o la vía de un ferrocarril, es indispensable considerar con toda atención los peligros que podrán presentarse al llevar a cabo la construcción de la obra, en lo que se refiere a la intervención de los fenómenos antes señalados.

Los deslizamientos de tierra se producen generalmente en materiales coherentes de grano fino, aunque pueden presentarse en cualquier tipo de roca en condiciones especiales. Se pueden producir por diferentes causas, siendo la más común la debida a una variación en las condiciones del agua subterránea en la zona cercana a la pendiente. Cuando el reconocimiento geológico se hace por medio de fotografías aéreas, en muchos casos es posible prever estos accidentes, ya que se observa claramente el área de infiltración y el tipo general de las formaciones en que se produce. Con el estudio fotogeológico, pueden descubrirse en muchas ocasiones, evidencias de fenómenos de arrastre, que en general son precursores de los deslizamientos. Al encontrar con el estudio de las fotografías aéreas condiciones que favorezcan un deslizamiento, se hará un estudio directo, y combinando las deducciones obtenidas por los dos medios se procederá a cambiar dichas condiciones o a modificar la localización de la ruta, siendo en los dos casos, un auxiliar muy valioso la Fotogeología.

La existencia de fallas y otras fracturas, son accidentes geológicos que introducen problemas, en muchos casos de suma im-

portancia, por las alteraciones que producen en las masas de roca en que se encuentran. La influencia de las fallas es debida a las condiciones resultantes del movimiento desplazante, que puede ser de magnitud considerable.

En un gran número de casos, puede ser descubierta la existencia de diaclásas y fallas por medio de la Fotogeología, aún con más facilidad que sobre el terreno, por lo que resulta altamente ventajoso su empleo.

Las áreas que han sido afectadas por sistemas de fracturas pueden ser definidas por medio del estudio geológico de las fotografías aéreas, con lo que puede evitarse el paso de la vía de comunicación a través de esas zonas.

En general, no es posible determinar fotogeológicamente si una falla es activa o no, pero éste problema se resuelve al investigar directamente todas las fallas descubiertas con aquel procedimiento.

II.—PASOS PARA PROYECTAR UN CAMINO, HACIENDO USO DE FOTOGRAFÍAS AEREAS.

- 1.—Determinación de los puntos geográficos que van a unirse.
- 2.—Levantamiento aerofotográfico.
- 3.—Estudio fotogeológico.
- 4.—Ruta general.
- 5.—Establecimiento del control terrestre.
- 6.—Levantamiento fotogramétrico.
- 7.—Trazo preliminar.
- 8.—Estudio geológico directo.
- 9.—Trazo en el terreno.

1.—DETERMINACION DE LOS PUNTOS GEOGRAFICOS QUE VAN A UNIRSE.

El primer aspecto que debe tenerse en cuenta al hacer el

proyecto de una vía de comunicación, es determinar en un plano la situación geográfica de los puntos que han de ser unidos.

Estos puntos generalmente son ciudades de cierta importancia que proporcionarán al camino un volumen de tránsito que garantiza la inversión. En otros casos puede tratarse de unas zonas productoras, ya sea agrícolas o de recursos naturales con las ciudades o puertos de embarque siempre que justifiquen económicamente la realización del proyecto. Es necesario considerar la distancia que habrá de ser cubierta y el tipo de obra que va a realizarse. También es de interés conocer las condiciones climáticas de las zonas a través de las cuales pasará el camino, las cuales se obtienen de las diferentes estaciones meteorológicas que se encuentran a lo largo de la faja en que se pretende hacer, con el fin de tomar las medidas que sean pertinentes, tanto para el trazo y la construcción, como para la conservación de la obra.

2.—LEVANTAMIENTO AEROFOTOGRAFICO.—La determinación de la faja de terreno que debe ser fotografiada se hace fijando sus límites por medio de rasgos visibles desde la altura de vuelo del aeroplano; estos rasgos deben ser de preferencia elementos naturales.

La delimitación la hace un ingeniero, efectuando uno o más vuelos a lo largo de la dirección de la línea que une los puntos básicos identificándolos en mapas ó elaborando croquis en donde se señalen los elementos morfológicos más notables que sirvan como referencias.

El levantamiento aerofotográfico debe efectuarse en la época del año más conveniente, ya que en algunos lugares las nubes, la nieve o el follaje, pueden constituir un obstáculo para la visión.

En el caso de que existan fotografías aéreas de la zona en que se pretende efectuar la obra, el problema se simplifica, siendo necesario solamente pedir a la compañía aerofotográfica que disponga de dichas fotografías, los mosaicos y copias de contacto que cubren una faja de terreno donde aparezcan los dos sitios que van a ser comunicados y cuya amplitud será definida por el ingeniero en cada caso, de acuerdo con la fisiografía general.

con la escala de levantamiento y con la distribución de los lugares de interés de la región. En este caso, el costo de las fotografías es menor que en el anterior.

3.—*ESTUDIO FOTOGEOLOGICO*.—La aplicación de la Fotogeología al proyecto de un camino es prácticamente desconocida por la mayor parte de los técnicos que se dedican a este tipo de trabajos.

El estudio fotogeológico proporciona una amplia información, tanto de índole geológica, como topográfica y cultural, que es de suma importancia para el diseño y construcción de la obra.

La calidad y cantidad de información que puede obtenerse de la interpretación de las fotografías de contacto dependen de la claridad de las copias, de las características morfológicas y ecológicas de la región y de los conocimientos, experiencia y aptitudes del fotogeólogo.

La principal ventaja que presenta la Fotogeología, es la economía. El procedimiento permite que el tiempo de trabajo necesario para el reconocimiento superficial se reduzca de tres a nueve veces con relación al que se emplearía con Geología superficial. Además, por la amplia perspectiva que ofrece, permite observar rasgos y elementos de importancia que no podrían haber sido conocidos con métodos directos exclusivamente, aunque el reconocimiento sobre el terreno es indispensable para definir ciertos factores geológicos locales que no pueden ser identificados en las fotografías aéreas. Es muy conveniente que el fotogeólogo sea el que efectúe los estudios superficiales directos ya que él está familiarizado con el área y sabe que problemas pueden presentarse y en que sitios se encontrarán. Así pues, la Fotogeología combinada con Geología superficial, permite que el estudio geológico se realice en mucho menos tiempo, técnicamente más completo y a un costo mucho más bajo que si se emplea solamente la Geología de campo.

4.—*RUTA GENERAL*.—Es probablemente en esta fase del proyecto en la que se aprecian más palpablemente las gran-

des ventajas que proporciona la aplicación de este procedimiento, puesto que la localización de la ruta general se hace cómoda y rápidamente la mejor localización, cuando haya varias posibilidades, con la seguridad de que pasará por los sitios más apropiados tanto desde el punto de vista de la construcción y conservación, como de su interés económico-social; debiendo tener en consideración también la importancia de poder discutir dudas, revisando las fotografías tantas veces como sea necesario, sin hacer ningún gasto adicional, hasta obtener la solución más correcta. El trazo de una vía de comunicación, se hace de acuerdo con la morfología y las condiciones geológicas de la zona. Estos dos aspectos pueden conocerse con suficiente precisión para el trazo de la ruta general, por medio de la observación estereoscópica de las fotografías aéreas, con lo que puede dibujarse la línea más apropiada en el mapa fotogeológico.

Otros factores de importancia que tienen influencia sobre la ruta general, son la distribución de los yacimientos de materiales y de las poblaciones que se encuentran situadas cerca del trazo. Estos factores también pueden ser determinados, en general, por medio del estudio fotogeológico.

5.—ESTABLECIMIENTO DEL CONTROL TERRESTRE.—Cuando ya se tiene trazada la ruta general, se escogen las fotografías a través de las cuales pasa, para localizar sobre ellas los puntos de control terrestre, de tal forma que sean fácilmente identificables en el campo, y en lo posible, de cómodo acceso.

Estos puntos que se definen en las fotografías de contacto pueden ser esquinas de casas, cruces de caminos, divisiones de terrenos de sembradío, cruces de arroyos con veredas, formas caprichosas de ríos, árboles notables u otros objetivos que pueden tenerse en cada región particular.

En los mosaicos fotográficos y en planos apropiados, se señalan con claridad los puntos que se escogieron como referencias para establecer el control terrestre. Con esta información se manda a una brigada de topografía al campo con objeto de

que ligue esos puntos por medio de una triangulación, cuya red se dibuja posteriormente en papel transparente a una escala igual a la de las fotografías.

Esta triangulación, servirá para rectificar las fotografías, o sea corregir las distorsiones que se producen por el efecto de perspectiva debido a desniveles del terreno, a los desplazamientos radicales de los puntos alejados del centro de la fotografía y a los movimientos propios del aeroplano al volar, para hacer que cada una sea, a escala, la representación fiel del terreno.

6.—*LEVANTAMIENTO FOTOGRAMETRICO*.—Las fotografías que cubren el terreno por donde pasa la ruta general, y en el que ya se han ligado topográficamente los puntos de control, se amplifican, se restituyen y rectifican antes de proceder a efectuar el levantamiento fotogramétrico. Para este tipo de estudios, las escalas de 1:1,000 a 1:5,000 son comunes, con curvas de nivel con intervalos desde 50 cm. hasta cada 2 m.

Los aparatos con que se hace la configuración, son costosos y su manejo requiere cierta experiencia, por lo que un mapa levantado con este procedimiento es más caro que si se hace con métodos topográficos comunes; aunque siendo tan útil uno como el otro, el fotogramétrico es más rápido y tiene menos posibilidad de contener errores. Sobre la configuración obtenida con el levantamiento fotogramétrico, se dibuja la ruta general obtenida del mapa fotogeológico, modificándola según las curvas de nivel. La línea así obtenida, puede considerarse como preliminar, teniendo en cuenta que al trazarla sobre el terreno puede ser necesario hacerle ciertas alteraciones locales por la presencia de accidentes geológicos o topográficos que no pueden ser previstos a partir de los estudios fotogeológico y fotogramétrico. Sobre el plano topográfico obtenido de las fotografías, pueden hacerse apreciaciones de kilometraje, movimientos de tierra, construcción de puentes, etc., aunque no los cálculos precisos que se requieren para la construcción en detalle.

7.—*TRAZO PRELIMINAR*.—En el mapa fotogramétrico

se procede a efectuar el trazo de la preliminar, siguiendo aproximadamente el alineamiento de la ruta general que se tiene en el mapa fotogeológico, pero ajustándola a la configuración topográfica.

El objeto de localizar primero una ruta general por medio de la visión estereoscópica directa y posteriormente afinarla con las curvas de nivel del mapa fotogramétrico para obtener la preliminar, es evitar el hacer un levantamiento fotogramétrico del área total ya que como se indicó antes, el trabajo de control terrestre, de restitución de las fotografías aéreas por medio de aparatos costosos, elevaría considerablemente el costo del estudio preliminar.

La preliminar obtenida en ésta forma, garantiza ser la más apropiada puesto que su localización se llevo a cabo teniendo en consideración todos los factores que intervienen en la construcción y la conservación de la obra, así como en los beneficios sociales que vá a proporcionar a la region.

8.—ESTUDIO GEOLOGICO DIRECTO.—El procedimiento fotogeológico se encuentra limitado por algunos obstáculos insalvables, aún con los adelantos obtenidos hasta la fecha, como son: no poder determinar con seguridad la litología y propiedades de las formaciones expuestas, no ser posible, en general, formar una columna estratigráfica local para un lugar determinado; no poder definir la profundidad del manto resistente y otros de menor importancia, que hacen que sea indispensable efectuar un reconocimiento sobre el terreno para obtener toda la información que se requiere.

Una vez trazada la preliminar en los planos fotogeológicos y fotogramétricos, se procede a efectuar el reconocimiento geológico sobre el terreno.

En la actualidad, es aceptado unánimemente por los ingenieros civiles que el éxito de cualquier obra de ingeniería depende principalmente del grado en que la estructura quede adaptada al medio ambiente geológico en que se encuentra.

La aplicación de los conocimientos de geología a la resolución de los problemas prácticos de la ingeniería, es la Ingeniería Geológica. El estudio en el terreno, consta de dos fases principales: el reconocimiento superficial y el estudio del subsuelo en los sitios en que se requiera, de acuerdo con el resultado del reconocimiento superficial.

Con el estudio geológico directo, se resuelven las dudas que puedan existir acerca de las condiciones geológicas, principalmente en los lugares en donde se propone la construcción de puentes o en los que se van a efectuar grandes cortes o rellenos; también se estudiarán detenidamente las características de los yacimientos para materiales de construcción que fueron localizados fotogeológicamente y que se proponen como fuentes de abastecimiento para la obra.

Con estos datos, el geólogo recomendará la conveniencia de cambiar el paso del camino por los lugares en que las condiciones del terreno no garanticen su seguridad.

9.—*TRAZO EN EL TERRENO*.—La línea que se tiene en el mapa fotogramétrico, se lleva al terreno teniendo como base los puntos de triangulación que sirvieron para rectificar las fotografías, o bien otros puntos que puedan ser fácilmente identificables tanto en el mapa como en el terreno.

El estudio fotogramétrico, no excluye el levantamiento topográfico de la línea y sus secciones transversales, ya que para el cálculo preciso de movimiento de tierras, excavación, etc., se requiere una exactitud mayor que la que puede proporcionar la fotogrametría.

En regiones que presentan condiciones particularmente difíciles para la construcción de una carretera, como son desiertos, zonas muy abruptas, áreas lacustres, selvas, etc., la utilidad de la fotogeología es inestimable en cuanto a la localización más adecuada, ya que en todos los casos pueden interpretarse características que permiten determinar el paso más accesible para la ruta.

FOTOGEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

La fotogeología, no excluye el trabajo de campo en ningún caso, pero sí hace que éste sea mucho más efectivo e incomparablemente más rápido.

Técnicamente, la fotogeología es un procedimiento de gran utilidad en cualquier tipo de reconocimiento geológico y su aplicación a la ingeniería de carreteras tiene un futuro brillante.

Por la amplia perspectiva que ofrece, permite un conocimiento de conjunto a la vez que de gran detalle de la zona que estudia, lo que asegura una apreciación clara de los elementos naturales y culturales. Asimismo, como ya se indicó, la fotogeología proporciona un plano sumamente detallado de la región que servirá para cualquiera otro trabajo de geología o de ingeniería civil.

Además de la conveniencia de emplear la fotogeología desde un punto de vista técnico, la utilidad de su aplicación se acentúa hasta hacerse indispensable cuando se trata de hacer un reconocimiento superficial en un tiempo limitado.

Es importante no pensar que la fotogeología es una panacea que va a resolver todos los problemas, y saber lo que puede obtenerse del procedimiento, sin exigir más de lo que puede rendir.

Aunque técnicamente la fotogeología ofrece ventajas de indiscutible valor y por la reducción del tiempo de trabajo que permite resulta de gran eficacia, su aplicación adquiere la máxima importancia por la economía que reporta a los estudios de vías de comunicación terrestre.

Por lo expuesto anteriormente, es de esperarse que el procedimiento entre en un período de auge dentro de esta especialidad, ya que su conocimiento es cada vez más extendido y su aplicación más amplia y completa, en la mayor parte de los países del mundo.