LA GEOLOGIA DE LAS COMUNICACIONES *

Ing. Geólogo Juan B. Puig**

- A) Relaciones entre la Geología y la Ingeniería Civil.
- B) Funciones y responsabilidades del ingeniero geólogo dentro de las empresas dedicadas a trabajos de ingeniería civil.
- C) Puntos de vista del geólogo y del ingeniero civil.
- D) Información que debe proporcionar el geólogo al ingeniero.
- E) La ingeniería geológica en la localización, construcción y búsqueda de materiales para construcción de caminos.
- F) Problemas de la subrasante.
- G) Cimentación de puentes.
- H) Túneles.
- I) Sumario.

A).—RELACIONES ENTRE LA GEOLOGIA Y LA INGENIERIA CIVIL.

Las ciencias en la actualidad, evolucionan en forma acelerada, apareciendo de una manera notable la cooperación entre los geólogos y los ingenieros civiles. La ingeniería geológica es la aplicación de los conocimientos de Geología al desarrollo del arte y ciencia de la ingeniería. En la actualidad es aceptado unánimemente por los ingenieros civiles que el éxito y economía de cualquier obra de ingeniería, pueden ser medidos principalmente por el grado en que la estructura quede adaptada al medio ambiente geológico en que se encuentra.

Las ramas de la ingeniería más profundamente afectadas por los factores geológicos, son la ingeniería minera, la ingeniería petrolera y la ingeniería civil. Las aplicaciones de la Geología a la minería y al petróleo, han sido estudiados ampliamente por lo que no es necesario hacer hincapié en ellas; mientras que es solamente hasta hace unos cuantos años que se ha comenzado a reconocer que los conocimientos y experiencia del Ing. geólogo, son un factor esencial al planear y construir grandes obras de ingeniería. Con este reconocimiento, tanto en algunos países europeos, como en los E. U. N., la demanda de los servicios profesionales de ingenieros geólogos ha aumentado considerablemente y se ha pasado del simple consultor al empleo del tiempo total de grupos

* Manuscrito recibido el 3 de junio de 1944.

** Geólogo de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

de geólogos en las empresas dedicadas a trabajos de ingeniería civil.

La ingeniería geológica no es una división de la Geología, sino que es la aplicación de todas las ramas de esta Ciencia a los problemas prácticos de la ingeniería. Las divisiones de la Geología que tienen más aplicación a los problemas de ingeniería civil, son: Estratigrafía, Geología Estructural, Sedimentología, Petrografía, geología Económica y la Hidráulica.

B).—*FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL ING. GEOLOGO.*

El Ing. geólogo, es un técnico que debe contar con amplios conocimientos de Geología general y poseer además las bases de la Mecánica de Suelos y los fundamentos de la Ingeniería Civil. Así pues, está capacitado para aprovechar prácticamente la información geológica que se obtenga de los diferentes estudios, al mejor desarrollo de un plan completo de cualquier obra de ingeniería.

Las funciones del geólogo especializado en ingeniería civil, pueden resumirse en los siguientes puntos:

- 1.—Dar una idea general de las condiciones geológicas del terreno sobre el cual habrá de desarrollarse el plan completo de la obra, para hacer los estudios y proyectos convenientes.
- 2.—Seleccionar, junto con el Ing. civil, los sitios más propicios para efectuar las obras de ingeniería.
- 3.—Identificar los rasgos y elementos geológicos e hidrológicos que influirán en el proyecto y en la construcción.
- 4.—Descubrir y estudiar los yacimientos de materiales necesarios para la construcción de las estructuras requeridas.
- 5.—Colaboración en la preparación de contratos y especificaciones.
- 6.—Operaciones de construcción.
- 7.—Prever los efectos de las obras terminadas sobre las condiciones naturales de la localidad.

C).—*PUNTOS DE VISTA DEL GEOLOGO Y DEL ING. CIVIL.*

Ante un problema, el geólogo y el Ing. civil reaccionan en diferente forma de acuerdo con sus puntos de vista.

Si se consulta a un geólogo acerca de las condiciones de estabilidad de un corte propuesto o existente, él proporcionará una información de la geología y de las condiciones hidrológicas del lugar. Sin embargo, su conocimiento de los procesos físicos que pueden intervenir en la estabilidad del corte, es comunmente deficiente, ya que no está acostumbrado a pensar en términos de conceptos físicos exactos, lo cual queda evidenciado por la dis-

eliminación del término lubricación y otros semejantes de su vocabulario.

Muy pocos geólogos tiene un concepto claro de la diferencia que existe entre presión total y presión efectiva, o del efecto del agua intersticial y de la tensión superficial sobre la resistencia al esfuerzo cortante de las capas; o bien de las relaciones entre fuerza, esfuerzo y tiempo con respecto a suelos cohesivos. Entonces una opinión geológica con respecto a la forma de mejorar las condiciones de estabilidad de una pendiente, es tan sólo una deducción probable, de acuerdo con los conocimientos y experiencia del geólogo.

Un Ing. civil, experimentado en Mecánica de Suelos, puede entender más claramente los procesos físicos principales que son responsables de los deslizamientos, pero probablemente desconocerá por completo la estructura geológica de las formaciones que se encuentran debajo de la pendiente, y no sospechará siquiera que la estabilidad del corte puede depender de las condiciones hidrológicas de un lugar que se encuentre a uno o más kilómetros de distancia.

Teniendo en cuenta la amplia variación del conocimiento especializado y experiencia que se requieren para juzgar los problemas de importancia, se hace indispensable la cooperación entre el geólogo y el Ing. civil. Para obtener los resultados más satisfactorios, el geólogo debe familiarizarse con los principios fundamentales de Mecánica de Suelos y el Ing. civil debe conocer por lo menos los elementos de Geología Física. La importancia de que el Ing. civil tenga conocimientos básicos de Geología, reside en la necesidad de que sepa en qué forma va a colaborar con él un geólogo y cuándo debe solicitar esa colaboración. Se conocen muchos casos en que se llama al geólogo cuando la obra ya ha fallado por completo.

Cuando un geólogo es llamado para rendir un veredicto acerca de un trabajo de ingeniería, debe actuar conjuntamente con el Ing. civil responsable del trabajo, lo que conduce a una cooperación entre dos hombres de ciencia; ésto es una cierta forma, la unión de dos criterios distintos, ya que para ellos un mismo problema es psicológicamente diferente. El geólogo, analiza las condiciones que encuentra; el ingeniero considera como poder cambiarlas de tal manera que sirvan para sus planes. De sus análisis, el geólogo cita los problemas que existen y previene las dificultades que pueden presentarse; la tarea principal del ingeniero, es resolver los problemas y vencer las dificultades.

Este trabajo de conjunto, requiere una cooperación real, debiendo tener en cuenta el geólogo que lo que el ingeniero necesita es un panorama claro de las condiciones geológicas, en una forma concisa y con vistas a una utilidad práctica. Por su parte el in-

geniero debe recordar que el geólogo es un geólogo, por lo que no debe esperar de él un reporte numérico de la misma naturaleza que el que podría presentarle otro ingeniero.

D).—INFORMACION QUE DEBE PROPORCIONAR EL GEOLOGO AL INGENIERO.

Antes de que sea necesario gastar un solo centavo en exploraciones de subsuelo, el geólogo debe proporcionar basado en estudios superficiales, gran cantidad de valiosa información, como lo es:

- 1.—Tipos de roca que afloran en la región, su distribución y sus relaciones estructurales.
- 2.—La presencia de rocas solubles que pueden introducir problemas de cimentación o de filtraciones.
- 3.—Fallas de importancia y su relación con fenómenos tectónicos.
- 4.—Profundidad a que ha actuado el intemperismo y su relación con las características morfológicas.
- 5.—Yacimientos de materiales para construcción.
- 6.—Condiciones generales de las aguas superficiales y subterráneas.
- 7.—Profundidad aproximada del relleno de los valles.
- 8.—Condiciones resultantes de los fenómenos de glaciación* o de depósitos lacustres.

Con estos datos, el geólogo y el ingeniero definen el sitio en donde han de construirse las obras proyectados y la manera de llevar a cabo una exploración detallada, de la que con el costo mínimo, se obtenga la información necesaria para determinar las condiciones geológicas del subsuelo, que son un factor decisivo en el diseño y tipo de estructura.

El ingeniero, necesita una información específica y aprovechable, en la que debe incluirse en general, la profundidad y carácter del relleno; la configuración del manto de roca; la profundidad a que ha actuado el intemperismo en el lugar escogido; el tipo de material que va a servir como base para los cimientos y las características de las estructuras geológicas que contenga, tales como estratificación, plegamientos, fracturas, etc.; las propiedades físicas de los materiales en que se va a apoyar la cimentación, como son: resistencia a la compresión, coeficiente de fricción, densidades húmeda y seca, contenido de humedad, gravedad específica aparente y real, resistencia a la socavación y a las condiciones alternadas de humedad y sequía, y la configuración y límites de flucturación del nivel de aguas freáticas. También le interesa conocer los problemas de filtraciones y cómo se pueden resolver; la estabilidad de los cortes, los métodos de excavación y preparación de las superficies de cimentación y la forma de utilizar o de disponer de los materiales sacados de la excavación.

Obviamente, la información anterior se obtiene mediante una minuciosa investigación de subsuelo y de cuidadosas pruebas de laboratorio.

El geólogo, en íntima relación con el ingeniero, debe planear y supervisar el programa de perforación, clasificar, correlacionar y analizar los resultados. También debe preparar mapas, secciones y diagramas, y seleccionar las muestras para el laboratorio. Además, debe hacer un reporte con los resultados de las pruebas y la forma de aplicarlos prácticamente a los problemas de proyecto y construcción.

E).—*LA INGENIERIA GEOLOGICA EN LA LOCALIZACION, CONSTRUCCION Y MATERIALES PARA LOS CAMINOS.*

Uno de los problemas más importantes actualmente para nuestro país, es la construcción de carreteras.

En muchos lugares del mundo, algunos 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.

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

LOCALIZACION.

Para determinar la ruta que debe seguir una carretera, el ingeniero tiene en cuenta tres factores principales, que son:

- A) Importancia futura de la carretera propuesta.
- B) La mejor localización geológica-topográfica.
- C) El trazo que permita construirla y mantenerla económicamente.

La primera decisión, no requiere razones geológicas.

Una vez que se decide la ruta general, es indispensable hacer una exploración geológica.

Desde hace unos años a la fecha ha tomado gran auge en varios países europeos y en Norteamérica, el efectuar una exploración preliminar por medio de fotografías aéreas, ya que este procedimiento permite un conocimiento completo de la morfología, además de una información general de la geología de las aéreas a través de las cuales pasa el trazo, con lo que se consigue elegir fácilmente una ruta preliminar.

En México, la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas ha comenzado a emplear este procedimiento en pequeña escala para la localización de cruces de ríos en los sitios más adecuados. Un problema interesante que se presentó a la Dirección de Proyectos y Laboratorios, fué el conseguir un cruce para la carretera peninsular sobre el río Usumacinta, que pasara de preferencia por el pueblo de Emiliano Zapata. El problema no era fácil, debido a que la región se encuentra cubierta por innumerables lagunas que no permiten el acceso libre de la carretera y a que el río se encuentra en una etapa senil por lo que no ofrece muchos puntos de cruce. Se propuso efectuar el estudio por medio del procedimiento fotogeológico, lo cual fué aceptado como prueba por los Ings. jefes del Departamento. El resultado fué que en dos semanas de trabajo se localizaron dos cruces, uno que pasa por Emiliano Zapata y otro por el pueblo de Chablé, que se uniría al de Zapata por medio de una conexión de sólo siete Kms. aproximadamente. Estos sitios de paso permiten que la línea vaya por los lugares más altos dentro del bajo nivel de la región y evitando hasta donde es posible, las zonas que son inundables en época de lluvias.

Con el mapa fotogeológico en donde se señalaron las rutas, se presentó un informe descriptivo en el que se recomendó el cruce de Chablé. El Ing. jefe del departamento, hizo un viaje al lugar en cuestión y decidió aceptar el paso propuesto de Chablé, por lo que solamente resta trazar la línea con las modificaciones locales que sean necesarias, de acuerdo con los datos topográficos y geológicos obtenidos directamente.

El estudio exclusivo de Geología y Topografía, hubiera tenido un costo mucho más elevado, ya que los gastos de transporte, manutención y sueldos de una o más brigadas de localización durante dos o tres meses, no son comparables con el costo de las fotografías y el trabajo de gabinete durante quince días de un fotogeólogo más cuatro o cinco días de una brigada en trazo y exploración.

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

La exploración directa, es indispensable para estudiar fenómenos locales que pueden ser factores de peligro que obliguen a modificar la ruta trazada en el mapa fotográfico, o la ubicación de un cruce que parecía excelente en las fotografías aéreas. También es necesaria para indicar la extensión de los estudios de subsuelo que sean necesarios.

La investigación se hace, cuando se requiere, sobre el trazo de la preliminar, para ser modificada según los resultados que se obtengan.

El estudio del subsuelo puede hacerse por medio de excava-

ciones a cielo abierto, sondeos con perforadora o por la aplicación de algún método geofísico, adecuado para el caso.

Los métodos geofísicos han venido a ocupar un lugar de importancia en la planeación de vías terrestres. Los más comúnmente usados, son el sísmico y el eléctrico, el segundo de los cuales está siendo empleado por la Secretaría de Comunicaciones; ambos métodos son especialmente útiles para determinar el carácter y espesor del material que sobreyace al lecho de roca, en los sitios propuestos para puentes o cortes profundos. Los registros eléctricos usados en forma alternada con la perforación, son de gran valor para hacer correlaciones estratigráficas a lo largo de la línea, cuando el estudio lo exige.

CONSTRUCCION.

Las investigaciones preliminares, que se efectúan con el fin de conocer la geología de un lugar, son de gran valor, no solamente para el ingeniero residente, sino también para el contratista que efectúa el trabajo.

La fase de construcción de una obra, compete en su mayor parte al Ing. civil, que basa sus trabajos en los informes proporcionados por el geólogo. Cada metro cúbico que se excava, cada carga que se aplica a una formación, cada pilote que se hince en el terreno, o de hecho cualquier operación de construcción en la que se afecten las condiciones de la corteza terrestre, está relacionada con características geológicas de alguna clase. El geólogo habrá cumplido su misión eficazmente si no hay necesidad de efectuar modificaciones de importancia al proyecto, teniendo en cuenta que de cualquier forma tiene todavía que desempeñar funciones de importancia, como son: configuración detallada de las formaciones expuestas por la excavación, tomar registros de las nuevas perforaciones, comprobar las condiciones de cimentación y obtener nuevos datos sobre el agua subterránea.

La información geológica que se obtiene a medida que progresa la construcción, tiene un triple valor. En primer término sirve como comprobación de las deducciones hechas con respecto a las condiciones geológicas en que se basaron los diseños de las estructuras: cualquier variación que se encuentre en esas condiciones, deberá tenerse en cuenta para modificar el diseño original antes de que sea demasiado tarde. En segundo lugar, el conocimiento de la geología del lugar sirve al contratista para comprobar si sus procedimientos son apropiados o deben ser cambiados para obtener un mayor rendimiento. Finalmente, si los datos geológicos obtenidos de los trabajos de construcción son archivados convenientemente, pueden ser de un valor inestimable para otra obra que se construya en la localidad o bien para alguna en que se presenten condiciones geológicas semejantes.

MATERIALES PARA CONSTRUCCION.

Una de las funciones más importantes de un geólogo, es la localización y la evaluación de yacimientos de materiales para construcción.

La clase y situación de los yacimientos de una región, pueden obligar a que se haga un cambio en la localización ya sea de presas, carreteras, puentes, etc., o bien hacer necesaria una modificación en el tipo de estructura, de tal forma que sea más económica.

El geólogo debe ser el primero en reconocer el lugar en donde va a construirse una obra de ingeniería, y de la información que proporcione, se obtendrán los datos que servirán como base para el proyecto.

Debido a su familiaridad con las propiedades fundamentales de las rocas, el geólogo puede dar una idea acerca de la capacidad de los agregados para concreto, morteros, pavimentación, etc., y obtener muchas conclusiones de interés al estudiar una cantera para determinar sus características particulares. En general, es satisfactorio un estudio con lente de mano, aunque en algunas ocasiones se requiere el empleo del microscopio petrográfico.

F) PROBLEMAS DE LA SUBRASANTE.

La subrasante, es la superficie terminada de la terracería que recibe el pavimento. Puede estar constituida por el material in situ, como en los cortes o bien por material acarreado como en los terraplenes. El suelo, para propósitos de ingeniería de carreteras, puede definirse como un material no consolidado de la corteza terrestre. Los pavimentos o superficies de las carreteras, tienen un contacto íntimo con los suelos en una forma o en otra.

Es un axioma que el éxito de una carretera depende principalmente de las condiciones de la subrasante. Casi todos los problemas que se presentan al hacer la pavimentación de una carretera, tales como: dislocaciones, abundamientos, fallas, fracturamientos y aún los llamados bufamientos, pueden ser atribuidos a las malas condiciones de la subrasante y pueden ser previstas y eliminadas si se cuenta con una información apropiada.

La asistencia del geólogo puede considerarse esencialmente en los siguientes puntos:

- 1.—Una planación más objetiva de las exploraciones del subsuelo.
- 2.—Por una interpretación geológica de los datos proporcionados por la exploración, y
- 3.—Por una previsión de las condiciones que pueden esperarse, de tal forma que el ingeniero esté preparado para resolver los problemas que se puedan presentar.

Debe tenerse presente que la solución final de los problemas de la subrasante o de pavimentación, no debe ser obtenida exclusivamente de pruebas físicas, o de la información geológica, sino de una síntesis de ambos.

G) CIMENTACION DE PUENTES.

Al localizar el sitio para la colocación de un puente, el ingeniero no tiene mucho para escoger, sino que el sitio 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. Por estas razones, es indispensable contar con los datos más completos que sea posible, con relación a las condiciones geológicas del lugar.

Una razón aún más poderosa, es que una vez comenzada la construcción de las pilas del puente, sus localizaciones respectivas no pueden ser cambiadas; de aquí que antes de diseñar las pilas y los estribos, debe haberse llegado a un conocimiento completo de la geología local. Hay todavía otra circunstancia por la cual debe tenerse especial cuidado del aspecto geológico; los puentes en general, se construyen a través de ríos o valles, que son depresiones del nivel medio del terreno, cuya existencia sugiere una discontinuidad en las condiciones estructurales normales. Además, los ríos por su naturaleza, pueden contener muchos tipos de depósitos, incluso peñascos, y si no se efectúa un trabajo preliminar cuidadoso, teniendo en cuenta consideraciones geológicas, un depósito grande de peñascos puede ser tomado fácilmente por roca firme.

En algunos casos, el examen superficial que haga un geólogo del lugar señalado, puede proporcionar toda la información necesaria, pero en muchos casos es indispensable contar con un mayor acervo de datos. Para determinar el carácter del material que va a ser excavado, se hace una exploración, ya sea a cielo abierto, con perforaciones o con métodos indirectos, que deben ser supervisados por el ingeniero e interpretados por el geólogo.

H) TUNELES.

El arte de hacer túneles, no es nuevo puesto que se conoce desde hace mucho tiempo en relación con operaciones mineras. A pesar de su gran variedad de diseño, carácter y propósito, en su forma moderna de proyecto, las características elementales y requerimientos en principio, proceso y construcción, son muy semejantes. Esto es cierto particularmente con relación a la Geología.

Los principales tipos de túneles en cuanto a su aplicación, son: para acueductos, ferrocarril, subterráneos en ciudades, vehícu-

los, drenaje, conducción de energía eléctrica y para ingeniería sanitaria.

Los métodos de exploración deben ser decididos en cada caso y la localización de perforaciones u otras pruebas ha de ser la más apropiada, para lo cual se hace imperativa la cooperación de un geólogo.

En el curso del estudio comparativo de diseño y costo de estructuras, es necesario contar con información acerca de la posibilidad de conseguir materiales aptos para concreto y mampostería; también con relación al grado de dificultad y costo de excavación de un túnel en varias formaciones; la necesidad de cimbra u otros soportes para el techo; la capacidad de las rocas que van a atravesarse para contener agua; la posibilidad de encontrar fallas, u otras zonas de debilidad y las dificultades que pueden presentarse a lo largo de la construcción. Los datos que no pueden ser obtenidos por observación, deben deducirse de la investigación, y el geólogo está preparado para decir cuándo, en dónde y cómo debe llevarse a cabo.

1) *SUMARIO.*

El arte de la ingeniería de carreteras está íntimamente relacionado con la Geología. El constructor de puentes o de edificios, tiene problemas confinados a un lugar, que es fácil explorar detalladamente; pero el ingeniero de carreteras, está en contacto con terrenos que se extienden por grandes longitudes y que constituyen la porción menos estable de la corteza terrestre. El conocimiento de la formación de suelos, permite al geólogo cooperar con el ingeniero al diseñar carreteras, para dar un servicio más permanente y satisfactorio.

Al hacer exploraciones en busca de materiales para construcción, se ha reconocido la utilidad de la aplicación de la Geología a la construcción de carreteras. Técnicas nuevas, tales como la Fotogeología y la Geofísica, hacen posible al geólogo proporcionar un servicio aún más eficiente.

La aplicación de la Geología a la ingeniería de carreteras, exige un íntimo entendimiento entre los ingenieros civiles y los geólogos.

Es de suponerse que la tendencia natural es hacia la aplicación cada vez más intensa y mejor orientada de la Geología a los problemas de la ingeniería de caminos.