

**LA GEOLOGIA APLICADA, UN RECURSO DIDACTICO,
INTEGRADOR Y PRACTICO**

Javier Temiño Vela.- Departamento de Geología. Facultad de Ciencias.
UNIVERSIDAD DE ALCALA DE HENARES.

RESUMEN

En la presente comunicación se expone el interés que tiene impulsar la enseñanza de los temas relacionados con la Geología aplicada. Ello se debe a su potencial valor formativo y pedagógico.

Se describen varias técnicas de uso frecuente en trabajos de Geología. Han sido simplificadas, de modo que puedan ser asimiladas por alumnos de 3º de B.U.P. y cursos posteriores. Otros muchos casos también se pueden adaptar con este fin.

ABSTRACT

In this paper the interest of impelling the teaching of applicated geological themes is exposed. It is due to thier potential worth, either formative and pedagogical.

Some methods used frecuently in geological works are described. They have been simplified so that the sudents of 3rd level of B.U.P. and posterior levels could understand them. Other cases can be adapted, for this purpose, too.

1.- INTRODUCCION

Para el estudio, descripción y predicción de los fenómenos que ocurren en la naturaleza es necesario el uso conjunto de diversas disciplinas, como la Geología, Biología, Matemáticas, Física y la Química. Todas ellas surgieron como vías alternativas para analizar el funcionamiento de la naturaleza. La separación de dichas disciplinas en otras tantas asignaturas, desde los primeros cursos de escolarización, confunde al alumno sobre su verdadero sentido y la evidente relación que existe entre ellas.

Durante los últimos 10 años se ha despertado un afán integrador, siendo hoy día relativamente frecuente en la Enseñanza Media y primeros cursos universitarios:

- El uso de gráficos y fórmulas en el desarrollo teórico de la Geología y la Biología.
- El planteamiento de aspectos geológicos y biológicos en el enunciado de algunos de los problemas resueltos en las asignaturas de Física, Química o Matemáticas.
- La utilización de la Ecología como

medio integrador de la Geología y la Biología.

En la presente comunicación se propone un paso más en esta corriente integradora, usando para ello el desarrollo práctico de algunos aspectos relativos a la Geología aplicada.

2.- ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA GEOLOGIA APLICADA

La Geología tiene una aplicación directa en muchas de las actividades humanas, pero la enseñanza de estos temas se suele transformar, paradójicamente, en sesiones teóricas de trámite. Su desarrollo didáctico y conceptual, en el mejor de los casos, corresponde a un listado de las actividades en que la Geología ostenta un papel más o menos importante y a algunas observaciones medio-ambientales en las excursiones de campo.

Una primera reflexión sobre la referida situación, pasa por indagar tres aspectos básicos:

- 1º.- ¿Puede resultar formativo para el alumnado un enfoque práctico e inter-

disciplinar de los temas referentes a la Geología aplicada?

2ª.- ¿La actual dedicación y enfoque didáctico, es comparable con otros aspectos del temario?

3ª.- ¿El profesorado se considera formado y capacitado para impartir adecuadamente estas enseñanzas?

Respecto al primer punto parece acertado pensar que el enfoque propuesto podría resultar interesante, al menos, en dos aspectos. Por un lado, al facilitar la concepción de que la naturaleza se rige por mecanismos cuantificables, que es necesario investigar y controlar para poder actuar sobre ellos minimizando el riesgo sobre las personas, los recursos y el medio-ambiente. Por otro lado, ayudaría al alumnado (especialmente de C.O.U. y 1º curso de Ciencias Geológicas) a una elección profesional más próxima a la realidad, que la que pudiera realizar sin el conocimiento de estos temas.

La respuesta a la segunda cuestión es negativa, ya que la dedicación a estos aspectos es habitualmente escasa y básicamente teórica. En otros muchos casos ni siquiera se plantean, ya que numerosos temarios -como el de C.O.U. para centros adscritos a las Universidades Autónoma, Politécnica de Madrid y Alcalá de Henares (B.O.E., 1987)- no incluyen capítulos específicos sobre Geología aplicada.

En relación al último interrogante, no parece acertado suponer que su respuesta deba ser rotundamente afirmativa. La causa debe buscarse en la falta de formación que a este respecto (excepto asignaturas muy puntuales) se oferta en la actual carrera de Ciencias Geológicas, así como en la inexistencia de cursos sobre estos temas que estén orientados a los profesionales de la docencia.

Dado que los temarios de los conocimientos de Geología están muy recargados, se haría necesario reestructurar dichos programas con el fin de dar entrada en ellos a algunos capítulos específicos de Geología aplicada, así como facilitar al profesorado toda una serie de criterios y medios para su adecuado tratamiento.

3.- ASPECTOS PRACTICOS DE SENCILLA RESOLUCION

A continuación se proponen diversos ejemplos sencillos de algunas técnicas de uso frecuente en la Geología aplicada, que se basan en conceptos básicos de matemáticas, física y química. Los desarrollos que se describen tienen un carácter práctico e integrador y pueden ser perfectamente asumidos por alumnos de 3ª de B.U.P. y cursos posteriores.

3.1.- Interpretación de bombeos de ensayo en pozos.

Aunque la hidráulica de captaciones es un tema amplio y complejo, se puede efectuar una primera aproximación al cálculo de la transmisividad (T) y permeabilidad (K) de acuíferos mediante la interpretación por el método de Jacob de bombeos realizados en pozos con diámetro inferior a 0,5 m., a caudal constante y midiendo en diversos momentos el progresivo descenso del nivel del agua en el pozo aforado.

El método de Jacob se basa en que el funcionamiento del acuífero, en el entorno del pozo bombeado, se rige por la siguiente expresión matemática:

$$d = 0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2,25 Tt}{r^2 S} = 0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{t}{\frac{r^2 S}{2,25 T}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = 0,183 \frac{Q}{T} \lg t - 0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{r^2 S}{2,25 T} \quad (1)$$

Donde, en el sistema M.K.S.:

d = descenso del nivel del agua en el pozo, respecto al que existía antes de iniciarse el bombeo, expresado en m.

t = tiempo (medido desde el inicio del bombeo) en que se produce el descenso "d", expresado en seg.

Q = caudal continuo de bombeo, en m³/seg.

T = transmisividad del acuífero, en m²/seg.

r = radio del pozo, en m.

S = coeficiente de almacenamiento (o porosidad si el acuífero es libre). Es adimensional y se expresa en tanto por uno.

Todos los parámetros descritos, excepto "d" y "t", no varían a lo largo del aforo, pues son intrínsecos al pozo y al acuífero. Por lo tanto, la representación gráfica de la ecuación (1) en papel semilogarítmico es una recta del tipo "y = mx + b", siendo:

$$y = d$$

$$m = 0,183 \frac{Q}{T}$$

$$x = \lg t$$

$$b = -0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{r^2 S}{2,25 T}$$

A partir de ello, se puede obtener

fácilmente T, según el siguiente método gráfico:

- 1ª.- Representar las medidas del nivel del agua en el pozo tomadas a lo largo del bombeo en papel semilogarítmico (d--lgt) y ajustar una recta a los puntos obtenidos.
- 2ª.- Calcular la pendiente de la recta obtenida (m).
- 3ª.- Determinar T sustituyendo el valor "m" obtenido y el caudal del aforo "Q" en la expresión deducida anteriormente:

$$m = 0,183 \frac{Q}{T} \Rightarrow T = 0,183 \frac{Q}{m}$$

El valor de la permeabilidad (K), en m/seg., se obtiene dividiendo la transmisividad calculada (T) entre el espesor saturado del acuífero, en m., al iniciarse el bombeo (b). En el caso de estudiarse un acuífero confinado, el valor "b" equivale al espesor del acuífero.

El desarrollo matemático, los métodos de realización e interpretación de los diferentes tipos de bombeos de ensayo y ejemplos prácticos resueltos, se pueden consultar en numerosas publicaciones de hidrogeología. Son especialmente interesantes: (A) CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M.R. (1976); PULIDO, J.L. (1978); VILLANUEVA, M. e IGLESIAS, A. (1984).

3.2.- Estabilidad de laderas.

Coulomb, en el año 1773, estableció un criterio para determinar la resistencia que un material opone al corte (τ) a través de un plano, mediante la siguiente expresión:

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (2)$$

C = es una constante de cada material llamada "cohesión", que es función de las fuerzas de atracción electroquímicas entre las partículas de dicho material.

σ = tensión perpendicular al plano de rotura.

ϕ = es una constante de cada material llamada "ángulo de rozamiento interno", que depende el rozamiento entre las partículas que componen el material.

τ , C y σ tienen unidades de tensiones y ϕ es un ángulo cuya tangente ($\operatorname{tg} \phi$) es adimensional.

C y ϕ se calculan realizando ensayos, en los laboratorios especializados, sobre muestras recogidas en el campo.

Una idea aproximada de los valores más típicos se pueden consultar en la pag. 374 de JIMENEZ, J.A. y JUSTO, J.L. (1971), en la pág. 427 y 428 de JIMENEZ, J.A. et al. (1976) y en la pág. 135 de AYALA, F.J. et al. (1978).

El análisis de la estabilidad de una ladera es complejo, pero se puede realizar una primera aproximación en condiciones sencillas. Así, por ejemplo, la estabilidad de una ladera de ángulo α , compuesta por materiales homogéneos, isopropios y secos, en un plano paralelo a la ladera (ver FIGURA 1) se reduce a un equilibrio de fuerzas en dicho plano inclinado.

Se producirá la rotura cuando $\tau_m > \tau_m$, deslizándose el material a favor del plano estudiado. Se mantendrá en equilibrio límite cuando $\tau = \tau$ ($\tau/\tau = 1$). Los valores de τ y τ deducidos de la FIGURA 1 y del desarrollo de la fórmula (2) son:

$$\tau_m = w \operatorname{sen} \alpha$$

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \phi = C + (w \operatorname{cos} \alpha) \operatorname{tg} \phi$$

La ladera se mantendrá en equilibrio límite si:

$$1 = \frac{\tau}{\tau_m} = \frac{C + (w \operatorname{cos} \alpha) \operatorname{tg} \phi}{w \operatorname{sen} \alpha} \quad (3)$$

Para resolver problemas de este tipo se pueden usar los valores de C y ϕ existentes en la bibliografía referida anteriormente. Para el cálculo del peso (w) se debe cubicar el material existente por encima del plano de rotura y multiplicarlo por su peso específico, los pesos específicos más típicos de diferentes materiales se pueden consultar en las páginas 48 y 49 de JIMENEZ, J.A. y JUSTO, J.L. (1971).

De la fórmula (3) se pueden obtener diversas conclusiones, por ejemplo:

- Cualquier fenómeno que reduzca el quebrado, como puede ser la disminución de los valores de C y/o ϕ por variaciones en la humedad, alternación de los materiales, etc., incrementará la inestabilidad de la ladera.

- En depósitos no cohesivos (C=0), como pueden ser las arenas de dunas o los lems graníticos muy alterados, los taludes o laderas con inclinación superior al ángulo de rozamiento interno ($\phi \approx 35$ en arenas) son inestables. Ello se debe a que sustituyendo en la ecuación de equilibrio límite (3), se obtiene:

$$1 = \frac{C + (w \operatorname{cos} \alpha) \operatorname{tg} \phi}{w \operatorname{sen} \alpha} = \frac{0 + (w \operatorname{cos} \alpha) \operatorname{tg} \phi}{w \operatorname{sen} \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \alpha}$$

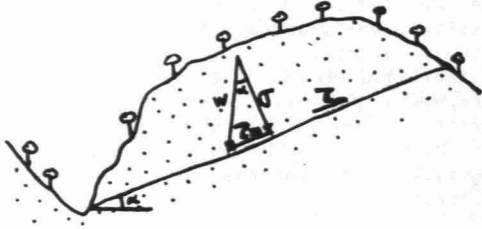


FIGURA 1.- Esquema de los esfuerzos que intervienen en la rotura de una ladera a favor de un plano seleccionado.

3.3.- Aforos químicos de ríos.

Existen diversos métodos para calcular el caudal de los ríos. El aforo con trazadores químicos es el más adecuado para corrientes turbulentas de caudal inferior a 500 l/seg. Se basan en la inyección de una solución con una concentración muy elevada de una sal barata que no lleve el río (ClNa, Cr₂Na, etc.) y la toma de muestras aguas abajo, después de que se haya disuelto homogéneamente con el agua fluyente.

La inyección se puede efectuar instantáneamente o con un pequeño caudal mantenido. En ambos casos, el cálculo del caudal fluyente se obtiene estableciendo la ecuación de la continuidad entre el punto de inyección y el de muestreo.

En el caso de inyectar un pequeño caudal continuo (q) de una sal con una concentración elevada (C) en un punto del río, por el que circula un caudal (Q) y cuya concentración inicial de la citada sal se puede considerar despreciable ($c_1 = 0$); se obtendrá una concentración diferente de la sal en el punto de muestreo (c_2), después de transcurrido el tiempo necesario para que se establezca un régimen homogéneo y permanente en el río. En el citado momento la cantidad de sal utilizada como trazador, que existe en los puntos de inyección y muestreo debe ser idéntica:

$$(Q \cdot c_1) + (q \cdot C) = (Q + q) c_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (Q \cdot 0) + (q \cdot C) = (Q + q) c_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = q \frac{C - c_2}{c_2}$$

W= peso que soporta el plano de rotura.

T_m = componente del peso en la dirección del plano de rotura.

σ = componente del peso en la dirección perpendicular al plano de rotura.

T = resistencia al corte del plano seleccionado.

α = ángulo del plano de rotura.

Si se realiza una inyección instantánea de un volumen de disolución (v) de una sal con una concentración elevada (C), dicha muestra se diluirá en el agua del río y pasará por el punto de muestreo en forma de nube durante un tiempo (t) y con diversas concentraciones ($c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$). - Suponiendo despreciable el volumen inyectado respecto al caudal del río, el peso de la sal introducida debe ser igual a la que pasa diluida en forma de nube por el punto de muestreo:

$$v \cdot C = (Q \cdot t) \left(\frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n}{n} \right)$$

La descripción de este método de aforo y algunos casos comentados pueden consultarse en (B) CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1976); LLORENS, P. et al. (1988).

3.4.- Otros casos de sencilla resolución.

Una gran parte de las técnicas de uso más frecuente en Geología aplicada, debidamente simplificadas y adaptadas a los conocimientos del alumnado, pueden ser utilizadas como recursos didácticos prácticos de un gran interés integrador. Así, además de los descritos anteriormente, otros como la valoración de yacimientos mineros, los balances hídricos y de nutrientes en pequeñas cuencas, o la confección de mapas temáticos sencillos para ordenación territorial (riesgo de inundaciones, vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación, etc.), también pueden ser usados

como casos prácticos de fácil aplicación.

4.- CONCLUSIONES

La enseñanza de la Geología aplicada durante la Enseñanza Media y los primeros cursos universitarios está devaluada con respecto a otros aspectos de la Geología. No obstante, tiene un interés formativo en varios aspectos:

- Como elemento integrador con otras ciencias (Matemáticas, Física, Biología y Química).
- Como ayuda en la elección profesional del alumnado.
- Como medio de aproximación a una concepción más cuantificable de los procesos naturales.

Un tratamiento adecuado de estos temas pasaría por la reestructuración de muchos de los programas existentes y por el desarrollo de toda una serie de criterios y medios para su adecuado tratamiento didáctico.

Muchas de las técnicas habitualmente usadas en la aplicación de la Geología pueden ser usadas como recursos didácticos de gran interés práctico e integrador, después de una adecuada adaptación a los conocimientos del alumnado. Los tres casos descritos pueden ser perfectamente asimilados por alumnos de 3º de B.U.P. y cursos posteriores, pudiendo desarrollarse con ejercicios prácticos sencillos, tanto en seminarios o clases prácticas, como en el campo.

BIBLIOGRAFIA

- * AYALA, F.J. et al. (1987). "Manual de Taludes". 455 pp. IGME. Madrid.
- * B.O.E. (1987). "Resolución de 15 de Julio de 1987 de las Direcciones Generales de Renovación Pedagógica y de Enseñanza Superior...". nº 182, pp. 23.547-23.549. Madrid,
- * (A) CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1976). "Hidrogeología subterránea". Tomo I. pp. 614-1002. Ed. Omega. Barcelona.
- * (B) CUSTODIO, E. y LLAMAS, M.R. (1976). "Hidrogeología subterránea". Tomo I. pp. 364-368. Ed. Omega. Barcelona.
- * JIMENEZ SALAS, J.A. y JUSTO, J.L. (1971). "Geotecnia y Cimientos, I". Ed. Rueda. 466 pp. Madrid,
- * JIMENEZ SALAS, J.A.; JUSTO, J.L. y SERRANO, A.A. (1976). "Geotecnia y Cimientos, II. Mecanica del suelo y de las rocas". Ed. Rueda. 1188 pp. Madrid.
- * LLORENS, P.; GALLART, F.; ALVERA, B. (1988). "Aforos por el método de dilución". Monografías de la Sociedad Española de Geomorfología, nº 1, pp. 63-65.
- * PULIDO CARRILLO, J.L. (1978). "Hidrogeología práctica". Ed. URMO, S.A., pp. 174-253. Bilbao.
- * VILLANUEVA, M. e IGLESIAS, A. (1984). "Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo". IGME. 426 pp. Madrid.