

- BOUMA, A. H. (1962). "Sedimentology of Some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation", Elsevier Amsterdam, 168 p.
- (1974). "Turbidites" En: A.H. BOUMA & A. BROUWER (Editors) *Turbidites*, Elsevier, Amsterdam, p. 247-256.
- & MUÑOZ, N. G. (1976). "Facies clásticas antiguas y modernas en los fondos marinos", *II Congr. Latinoam. Geol., Mem.*, Tomo 2, p. 1.073-1.096.
- DZULYNSKI, S. & SANDERS J. E. (1962). "Current Marks on firm mud bottoms"; *Trans., Conn. Acad. Arts. Sci.*, Vol. 42, p. 57-96.
- , & SMITH A. (1964). "Flysch facies", *Ann. Soc. Geol. Pologne*, Vol. 34, p. 245-246.
- , & WALTON E. D. (1965). "Sedimentary Feature of Flysch and Greywackes", *Developments in Sedimentology*, N° 7. Elsevier, Amsterdam, 274 p.
- KRUMBEIN, W. C. & FETIJOHN, F. (1938). "Manual of Sedimentary Petrography", N.Y. Appleton Century Co. Inc.
- KUENEN, P. H. (1964). "Deep-Sea Sands and ancient turbidites". En BOUMA & BROUWER (Editors) "Turbidites", Elsevier Amsterdam, p. 3-33.
- , (1966). "Matrix of turbidites: experimental approach" *Sedimentology*, Vol. 7, p. 267-298.
- & MIGUORINI, C. I. (1950). "Turbidite currents as a cause of graded bedding". *J. Geol.*, Vol. 58, p. 91-127.
- MACSOTAY, O. (1967). "Huellas problemáticas y su valor paleoecológico en Venezuela". *GEOS (U.C.V.)*, N° 16, p. 7-79.
- MUÑOZ, N. G. (1966). "Turbiditas en sedimentos profundos de la cuenca Oceánica de Colombia e influencia del río Magdalena", *GEOS (U.C.V.)*, N° 15, p. 7-101.
- (1973). "Geología sedimentaria del Flysch Eoceno de la Isla de Margarita", *GEOS (U.C.V.)*, N° 20, p. 5-64.
- MUTTI, E. & CHIBAUDO, G. (1972). "Un esempio de turbiditi cono De Sottomarina esterna le arenarie di San Salvatore (Formazione Di Bobbio, Miocene) Nell Appennino Di Piacenta", *Accademi a delle Scienze, Torino*, p. 40.
- , PAREA, C. G., RICCI LUCHI, F., SAGRI, M., ZANZUCCHI G., & CHIBAUDO, G. (1975). "Examples of turbidite facies and facies associations from selected formations of the northern Apennines", *IX International Congress of Sedimentology, Nice*, p. 120.
- PEARSON, A. L. (1965). "Geology of the Guárico mountain front", *Asoc. Ven. Geol. Min. Petr., Bol. Inf.*, Vol. 8, N° 7, p. 183-212.
- , SALVADOR, A. & STAINFORTH, R. M. (1966). "The Guárico Formation of the north central Venezuela", *Asoc. Ven. Geol. Min. Petr., Bol. Inf.*, Vol. 9, N° 7, p. 183-224.
- PETIJOHN, F. J. (1954). "Classification of sandstones", *Jour. Geology*, Vol. 62, p. 360-365.
- , (1970). "Rocas Sedimentarias", 2ª edic., EUDEBA. 731 p.
- WALKER, R. G. (1965). "The origin and signification of the internal sedimentary structures of turbidites", *Proc. Yorkshire Geol. Soc.* V. 35 N° (1), p. 1-32.
- (1967). "Turbidite sedimentary structures and their relationship to proximal distal depositional environments". *Jour. Sed. Petrol.*, V. 37, N° 1, p. 25-43.
- (1970). "Review of the geometry and facies organization of turbidites and turbidity-bearing basins", En LAJOIE, J., Editor, "Flysch Sedimentology in North America", *Geol. Assoc. Canada Spec. Paper* 7, p. 219-251.
- & MUTTI, E. (1973). "Turbidite Facies and Facies Associations", En: "Turbidite and Deep-water Sedimentation", Short course, AGI, 120 p.
- ZAPATA, E. J. (1976). "Estudio de la Formación Guárico en el área de la Laguna de Unare, Edo. Anzoátegui. Análisis de facies y geostadístico de variables sedimentarias", *Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela*, inédito.

NOTA GEOLOGICA

EL CAMPO DE LA GEOTECNIA

Por Rodolfo Sancio T.

Escuela de Geología y Minas
Universidad Central de Venezuela
Apartado 50926, Caracas 105

(Recibido en abril de 1978)

RESUMEN

Hoy en día la ingeniería geológica se ha convertido en una rama compleja de la ingeniería en su sentido amplio y ha dejado de ser la aplicación de los conocimientos geológicos a los problemas ingenieriles. El presente trabajo pretende poner de relieve los lazos que unen la geotecnia a la ingeniería civil y a la geología, y comentar brevemente sobre los conocimientos que se esperan en la práctica de un ingeniero geólogo moderno.

ABSTRACT

In the last few years, engineering geology has evolved from the application of geology to engineering problems into a complex branch of the engineering science. This short paper pretends to highlight the relationships between civil engineering, engineering geology and geology. The curriculum of a modern engineering geologist is briefly described.

La geotecnia se ha definido algunas veces como la geología aplicada a la ingeniería civil. Hoy en día, esta especialidad relativamente joven ha adquirido su propia fisonomía y se ha convertido en un arte complejo, perfectamente comparable con cualquiera de las ramas clásicas de la ingeniería civil, e.g. hidráulica, vialidad, estructuras. Sin pretensiones de definirla, diremos que la geotecnia es la ingeniería de los materiales pétreos, incluyendo el agua intersticial, la nieve, el hielo, los suelos (arena, limo, arcilla) y las rocas tal como se conocen en el lenguaje común.

Los pilares teóricos que la sustentan están formados por las matemáticas, la física, la química y la geología; es un nivel más especializado, la mecánica de los materiales y en particular la de los flúidos, de las rocas y de los suelos; la geología física, la mineralogía, la petrología, la geología estructural, la geofísica y la hidrogeología. Su finalidad principal es resolver problemas donde la roca, en su sentido más amplio, se ve envuelta.

Por ejemplo: fundaciones superficiales y profundas, en terreno plano o pendiente, sobre suelos o rocas estratificadas, fracturadas o sanas, saturadas de agua o no, y generalmente afectados por transformaciones químicas y modificaciones físicas a lo largo de un tiempo relativamente corto, que puede ser menor que la vida útil de muchas obras. Otros ejemplos familiares son las excavaciones a cielo abierto o cortes, los muros de sostenimiento, los terraplenes adosados a las laderas y los túneles (fotos 1, 2 y 3).

Para que estas obras sean construidas económicamente, es decir, para que sean relativamente baratas y al mismo

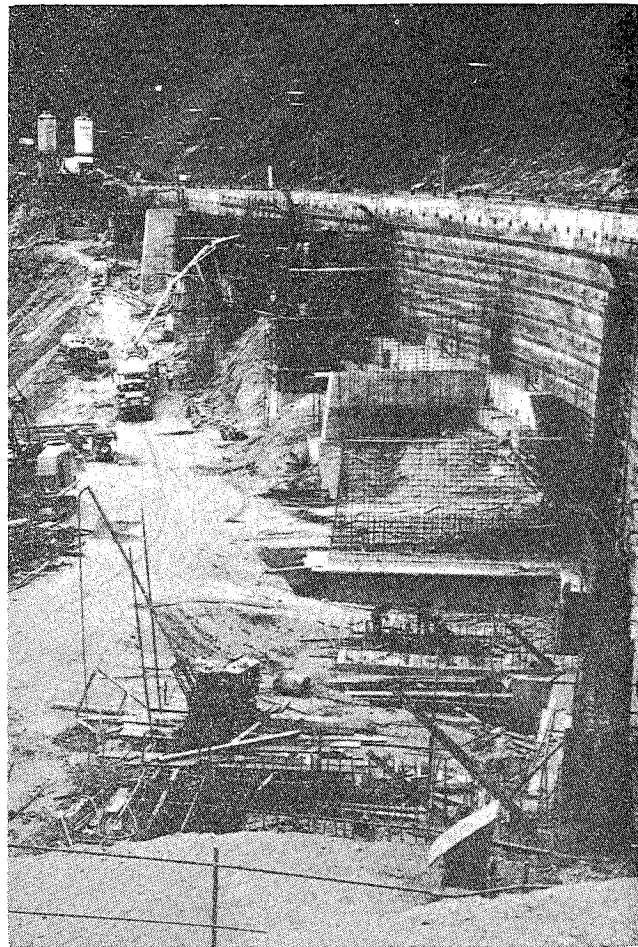
tiempo seguras, duraderas y útiles, deben ser proyectadas y aunque, intuitivamente, parecieran sujetos de un simple análisis geométrico, ciertamente no lo son y su cálculo, en algunos casos, es comparable con el de un edificio por su complejidad, riesgo y costo.

Sin embargo, las diferencias son notables. Al diseñar una estructura, el ingeniero civil conoce de antemano las características del material con el cual va a trabajar, sea éste concreto, acero, madera, vidrio, plástico o asfalto y puede adaptar, aunque dentro de ciertos límites, las características mecánicas y geométricas de los mismos al mejor proyecto, o sea, aquel que sea al mismo tiempo económico y seguro.

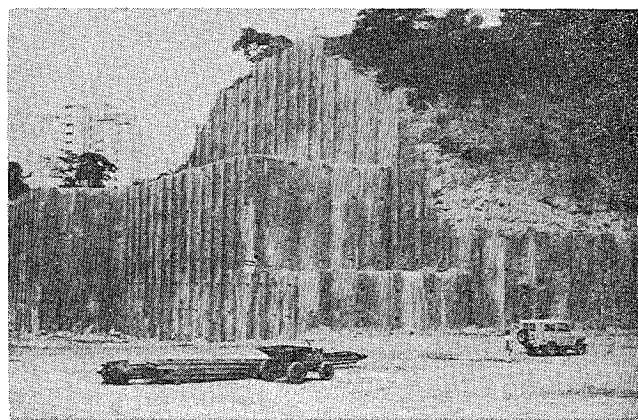
Por otra parte el ingeniero geólogo, frente a un problema de excavación, debe primero determinar las propiedades físicas de la roca y luego adaptar el anteproyecto, hecho previamente en base a consideraciones puramente geométricas, a un mínimo de costo y a un máximo de seguridad. Como en ello también existen límites, no es raro encontrar casos en los cuales en la fase de proyecto se haya tenido que modificar completamente la concepción inicial, al no adaptarse las rocas y los suelos al diseño.

La secuencia típica de un proyecto geotécnico es como sigue (fotos 4, 5, 6 y 7; gráfico I):

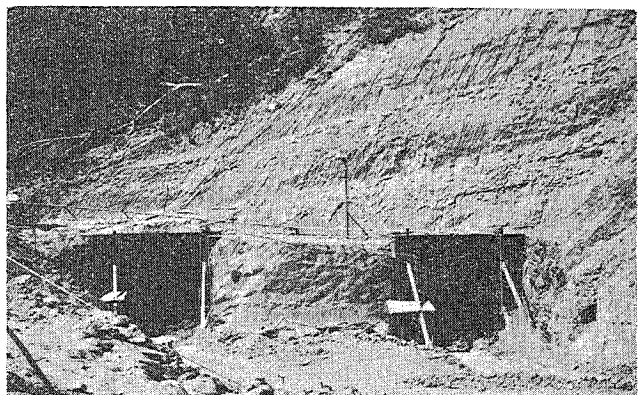
1. Estudio geológico de superficie y del subsuelo, con el objeto de identificar y clasificar los materiales (rocas y suelos) que van a estar sujetos a remoción, a utilización como materiales de construcción o a ser sometidos a un régimen de esfuerzos distinto al natural.



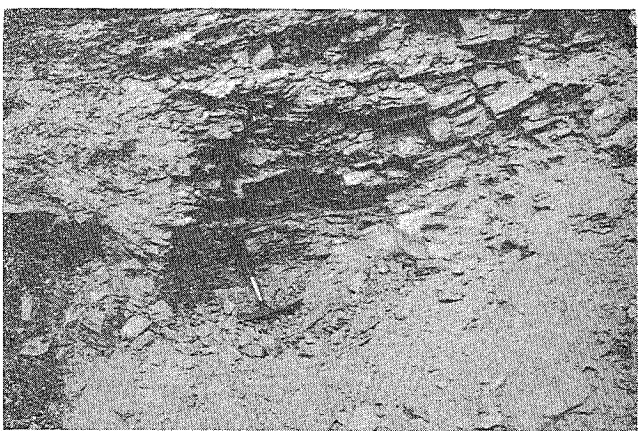
Fotografía N° 1: Muro anclado y fundaciones de pilas de gran capacidad. Las excavaciones para las pilas tienen una dimensión de 6 a 12 m por 3 m y entre 6 y 25 metros de profundidad. El problema principal en este caso fue el drenaje y el sostenimiento de las paredes de las fosas, el cual se logró sin anclajes



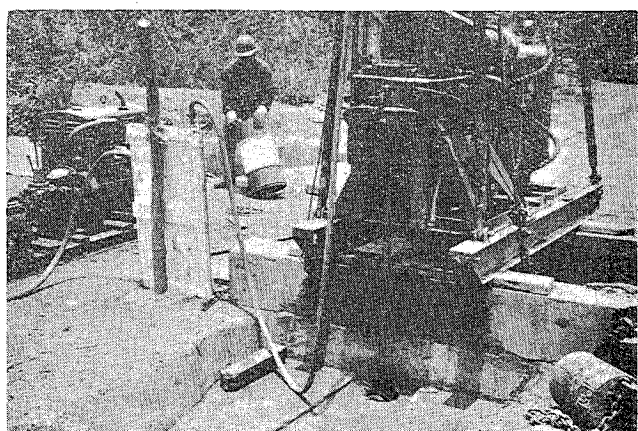
Fotografía N° 2: Corte vertical anclado para dar espacio a la construcción de un edificio. Las secciones individuales llegan hasta 16 metros de altura. El sostenimiento es discontinuo y la roca es contenida entre columnas ancladas por efecto de arco



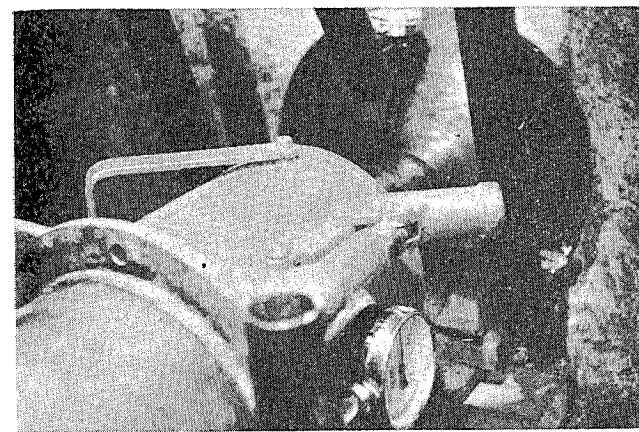
Fotografía N° 3: Túneles para desviar un río durante la construcción de una presa. Generalmente los mayores problemas se encuentran en la excavación y estabilización de los portales



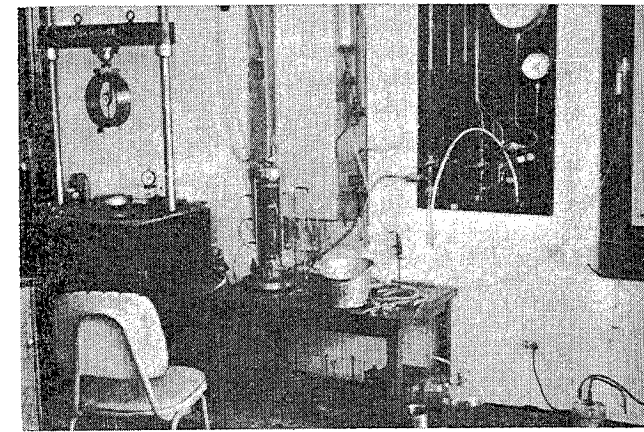
Fotografía N° 4: En la fase de exploración geotécnica de superficie el estudio de las propiedades físicas de las rocas debe recibir particular atención



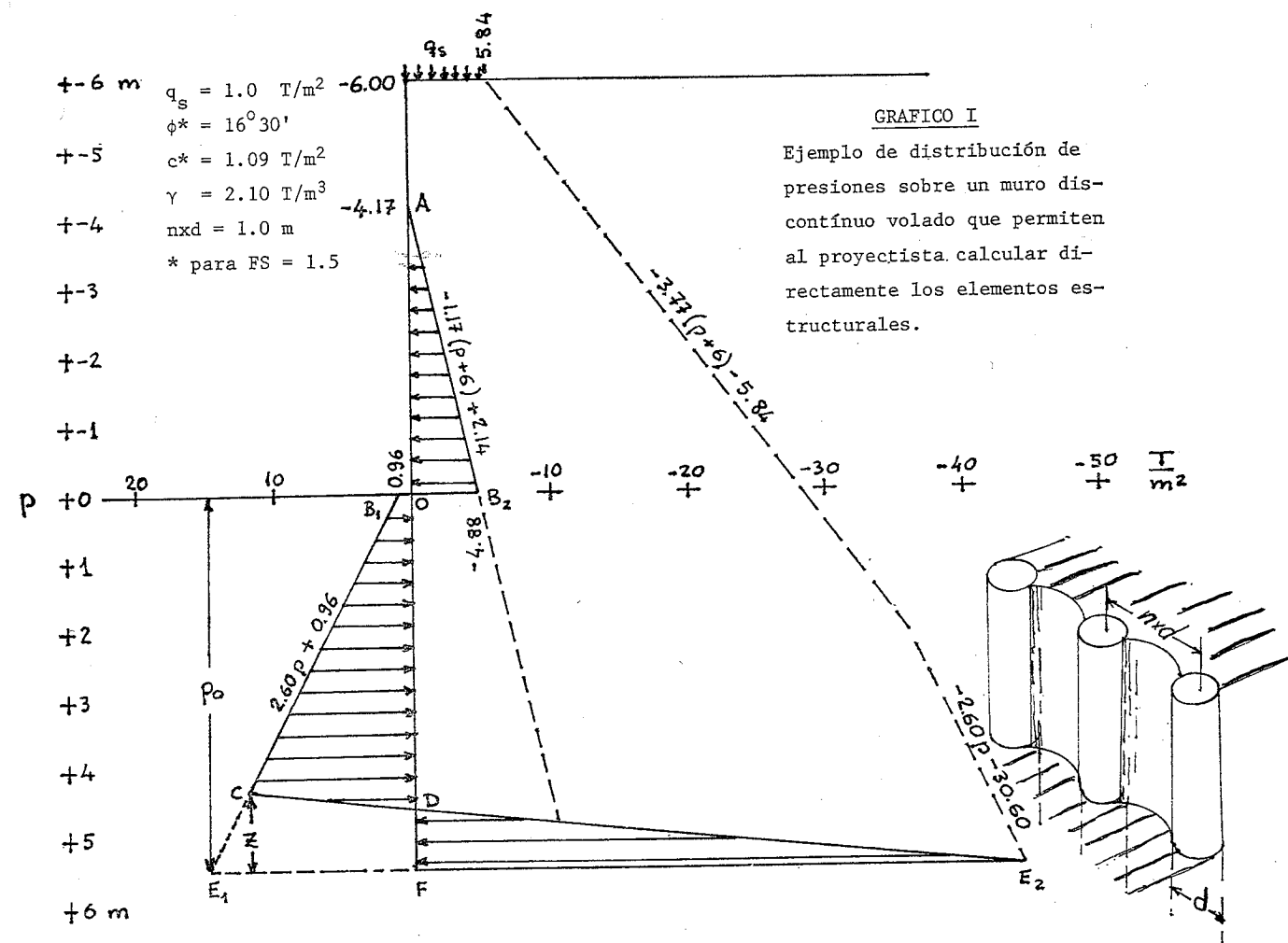
Fotografía N° 5: La obtención de muestras del subsuelo permite, entre otras cosas, estudiar la variación de las propiedades físicas de la roca con la profundidad



Fotografía N° 6: Los ensayos de carga in situ permiten determinar el comportamiento mecánico de la roca



Fotografía N° 7: Las pruebas de laboratorio pueden incluir ensayos de compresión, en la prensa que se muestra a la izquierda, y ensayos de permeabilidad en el permeámetro, al centro, de muestras selectas de rocas y suelos



- Estudio de los factores que pueden incidir en el comportamiento de las rocas y de los suelos ante los esfuerzos, y de la variación del mismo con el tiempo. Ejemplo: contenido de agua intersticial, régimen de flujo de la misma; observación de los factores ambientales como lluvias, humedad del aire, insolación, vientos, recubrimiento vegetal, topografía y drenaje superficial.
- Determinación, mediante análisis y ensayos de campo y de laboratorio, de las propiedades físicas, y mecánicas en particular, de las rocas y de los suelos con el objeto de observar su comportamiento ante los esfuerzos, las variaciones de contenido de agua y las modificaciones en su estructura y textura por la acción de los agentes atmosféricos, o sea, por la meteorización.

4. Cálculo de las obras: estabilidad de muros, de cortes, de terraplenes, de excavaciones subterráneas y de los esfuerzos que comunican a las estructuras de sostenimiento como muros, pantallas y revestimientos, o que reciben de las obras civiles como pilas, muros, placas o estribos.

Para dar una idea de la complejidad de los cálculos, bastará mencionar que el planteamiento de un problema de estabilidad de un corte o de flujo de agua en roca se hace normalmente en ecuaciones diferenciales las cuales por regla general no tienen solución analítica y por cuyo motivo deben ser resueltas por diferencias finitas o por el método de elementos finitos mediante computadores de gran capacidad.

Ese es el trabajo típico de un ingeniero geólogo moderno. Para llegar a serlo, debe ser prácticamente geólogo e ingeniero civil. Geólogo para entender, a través de sus conocimientos de:

Geología física
Petrología
Geología estructural
Sedimentología
Geomorfología
Estratigrafía

Geología de Venezuela o de la región donde trabaja, entre otros, la composición, textura y estructura de las rocas, el origen y evolución de las mismas con el tiempo, relaciones y secuencia de los diferentes materiales en el espacio, influencia de sus características geológicas en las formas topográficas y, por fin, su distribución y secuencia en la región y aplicarlos a su proyecto tal como un ingeniero mecánico

aplica sus conocimientos acerca de un acero al proyecto de una máquina.

Debe ser ingeniero, para aplicar sus conocimientos de:

Análisis matemático
Geometría descriptiva
Dibujo de proyectos
Mecánica
Resistencia de materiales
Mecánica de los fluidos
Mecánica de los suelos
Mecánica de las rocas
Programación de computadores

al planteamiento y solución de los problemas inherentes al proyecto.

Materias como geofísica, geotecnia e hidrogeología combinan conocimientos de otras materias, tanto de geología como de ingeniería civil, para el análisis práctico de problemas geotécnicos específicos, como pueden ser el comportamiento de los distintos tipos de roca ante los esfuerzos, o el régimen de flujo del agua a través de un suelo o de una roca porosa.

Las oportunidades de trabajo del ingeniero geólogo son amplias; los organismos, tanto públicos como privados, dedicados a proyectos, construcción, regulación y mantenimiento de obras civiles, están siempre necesitados de ingenieros geólogos capaces de resolver problemas que son, la mayoría de las veces, un reto a la capacidad de análisis, a la metodología, a la inteligencia y al ingenio del profesional de la ingeniería.

PUBLICACIONES DE LA ESCUELA DE GEOLOGIA Y MINAS, UCV

I) Boletín GEOS

Nº 1, enero 1959, 63 págs. Agotado.

Oceanografía y geología. Familia Orbitolinidae. Palinología. Laterita y Lateritización. Noticias. Resúmenes bibliográficos.

Nº 2, septiembre 1959, 55 págs. Agotado.

Correlación de formaciones Oligo-Miocenas, Edo. Zulia. Los Celacantos. Centenario de la industria petrolera. Noticias. Resúmenes bibliográficos.

Nº 3, diciembre 1959, 79 págs. Agotado.

Estudio experimental sobre temple y revenido de un acero de 1% de carbono. Noticias.

Nº 4, marzo 1960, 84 págs. Agotado.

Estudio de minerales pesados y su aplicación a la estratigrafía de Venezuela. Micropaleontología, historia y evolución. Glaciarismo Pleistoceno en Venezuela. Vegetales de al Formación Barranquín. Figuras de corrosión en láminas de aluminio. Noticias, resúmenes bibliográficos.

Nº 5, enero 1961, 34 págs. Agotado.

Notas geológicas relacionadas a la construcción de un puerto en Catia La Mar. El término grauvasca. La plataforma continental y el derecho minero venezolano. Noticias, resúmenes bibliográficos.

Nº 6, mayo 1961, 49 págs. Agotado.

Geología y desarrollo del campo costanero Bolívar. Dislocaciones y figuras de corrosión en hierro-silicio. Noticias, resúmenes bibliográficos.

Nº 7, febrero 1962, 101 págs. Agotado.

Paleontología, paleoecología y ecología marina. Bibliografía selecta. Noticias.

Nº 8, octubre 1962, 61 págs. Agotado.

Homenaje al Dr. José Royo y Gómez. Arcillas de Guayana. Ensayos termodiferenciales de minerales venezolanos. Foraminíferos de las lutitas de Punta Tolete, Territorio Delta Amacuro. La educación geológica en Venezuela. Noticias, resúmenes bibliográficos.

Nº 9, mayo 1963, 55 págs. Agotado.

Revisiones de secciones tipo venezolanas. Sección Cerro Pelado y Socorro. Noticias, resúmenes bibliográficos.

Nº 10, marzo 1964, 83 págs. Bs. 5,00 US \$ 1.35

Número dedicado al XXV aniversario de la Escuela: lista de egresados, historia de la Escuela, la cuestión formativa en las ciencias geológicas, etc.

Nº 11, septiembre 1964, 125 págs. Agotado.

Ostracodos del Mioceno-Reciente. Radiogeología. Productos de desintegración de las rocas de la cordillera de la costa. Ecología, paleoecología y distribución estratigráfica de los arrecifes orgánicos. Noticias.

Nº 12, mayo 1965, 91 págs. Bs. 5,00 US \$ 1.25

Rocas metamórficas de la región de Caratal, Edo. Sucre. Familia de foraminíferos Globorotallidae.

Nº 13, diciembre 1965, 61 págs. Bs. 5,00, US \$ 1.25

Proceso CO₂ al moldeo de la cera. Horno de rayos infrarrojos para secado de moldes de fundición. Rocas sedimentarias de Araya. Carta faunal de microfósiles de Araya. Método de autorradiografía para determinación de edades. Moldes de gusanos de la Formación Pagüey.

Nº 14, junio 1966, 71 págs. Bs. 5,00 US \$ 1,25

El agua, sus yacimientos y el trabajo que realiza. Noticias, resúmenes bibliográficos.

Nº 15, diciembre 1966, 120 págs. Bs. 5,00 US \$ 1.25

Turbiditas en sedimentos profundos de la cuenca oceánica de Colombia e influencia del río Magdalena. Notas bibliográficas.

Nº 16, junio de 1967, 87 págs. Bs. 5,00 US \$ 1.25

Huellas problemáticas y su valor paleoecológico. Bibliografía de geología marina.

Nº 17, mayo 1968, 110 págs. Bs. 5,00 US \$ 1.25

Paleoecología de la Formación El Veral, Falcón. Formaciones Cenozoicas de Paria. Notas bibliográficas.

Nº 18, septiembre 1968, 76 págs. Bs. 5,00 US \$ 1.25

Composición química y origen probable de rocas del área de Guri. Ensayo de prospección geoquímica para oro en El Callao. Determinación espectroquímica de agua en minerales y rocas. Evaluación de muestras de minas de oro por computadoras. Notas bibliográficas.

Nº 19, mayo 1971, 46 págs. Bs. 5,00 US \$ 1.25

Levantamiento geológico de una zona de Los Apeninos Septentrionales. Biotita en esquistos cuarzo-micáceos. Notas sobre *Cuneolina lewisi* y su posición estratigráfica.

Nº 20, mayo 1973, 73 págs. Agotado.

Geología sedimentaria del flysch Eoceno de la isla de Margarita. Dos nuevas especies del género *Voluta*.

Nº 21, abril 1976, Bs. 10,00 US \$ 2.50

Contornita y su importancia en facies marinas profundas. Onfacita de las rocas eclogíticas de Margarita. Petrología y geoquímica de las rocas ígneas del área de Almont, Colorado. Composición química de aguas como instrumento de interpretación geológica. Notas geológicas.

Nº 22, junio 1977. Bs. 20,00 US \$ 5.00

Estratigrafía y micropaleontología del Oligoceno y Mioceno inferior del centro de la Cuenca de Falcón, Venezuela. Consideraciones sobre la distribución espacial de biotita y hornblenda en rocas ígneas. Acumulaciones torrenciales Holocenas catastróficas de posible origen sísmico y movimientos neotectónicos de subsistencia en la parte