

# Petrología sedimentaria de núcleos de rocas de pozos petroleros

*Georgina Izquierdo M. y Adriana Paredes S.*

El estudio de sedimentos y rocas sedimentarias se inicia con la observación megascópica en el lugar donde se colecta la muestra y en el laboratorio.

## Resumen

**A**solicitud de Pemex Exploración y Producción (PEP), en el área de Geología de la Gerencia de Geotermia, se ha integrado la metodología necesaria para llevar a cabo la caracterización geológica de núcleos obtenidos durante la perforación de pozos petroleros.

Los estudios integrados han sido de utilidad para Pemex, pues proporcionan información detallada sobre los procesos, condiciones de depositación y diagénesis que ocurren en rocas sedimentarias. Por otro lado, esta información geológica contribuye a la actualización del modelo geológico del campo en estudio.



## Introducción

El estudio de sedimentos y rocas sedimentarias se inicia con la observación megascópica en el lugar donde se colecta la muestra y en el laboratorio. Un estudio completo incluye desde simples observaciones macroscópicas (examen detallado de estructuras sedimentarias, litología, contenido de fósiles, etc.) hasta la aplicación de una serie de técnicas instrumentales que en conjunto permiten definir los ambientes de depositación; así como los eventos físicos y químicos que han ocurrido en un ambiente sedimentario particular.

La metodología completa incluye la recepción de las muestras, identificación, registros fotográficos, estudios geológicos específicos y entrega del informe de resultados. A continuación se hará una breve descripción del alcance de las metodologías empleadas en los estudios geológicos de núcleos obtenidos en la perforación de pozos petroleros. Para ejemplificar la aplicación de esta metodología se presenta una selección de muestras del pozo Pol 92D del Activo Pol-Chuc, en Cd. del Carmen, Campeche, México, las cuales fueron tomadas del informe final de “Estudios petrofísicos y geológicos en núcleos de los campos del Activo Pol-Chuc”.

## Métodos y técnicas empleadas en la caracterización geológica de núcleos

### *Selección de muestras*

Se toma en cuenta el número de especímenes considerados en la propuesta técnica y el tipo de estudio requerido. Una vez llevado a cabo el registro de las muestras, se selecciona el material que será destinado a los distintos estudios. Esto es, dado el estudio, se toman fragmentos con fracturas, con hoquedades significativas, material que muestre la presencia de minerales arcillosos; en lo posible, material con características contrastantes. La descripción

macroscópica general de los núcleos se realiza considerando: color, lustre, reacción al HCl, textura, tamaño de fragmentos, tamaño de granos (si son macroscópicos), tipo de matriz, descripción de aspectos relevantes como pueden ser la presencia de estilolitos, microfósiles, fallas, fracturas etc.

### Corte y preparación de muestras

*Cortes longitudinales.* Estos cortes se realizan a un tercio del diámetro del núcleo. De este corte se obtienen rebanadas gruesas, de ellas se preparan láminas delgadas y superficies pulidas para llevar a cabo las observaciones en el microscopio petrográfico. La parte restante del núcleo (2/3) se pule para ser escaneada y emplearla para la descripción granulométrica, descripción megascópica y cuantificación de fracturas. Los recortes sobrantes de los cilindros completos y demás fragmentos se seleccionan para los estudios por difracción de rayos-X y microscopía electrónica.

### Petrografía sedimentaria

La petrografía sedimentaria es al análisis microscópico de ambientes diagenéticos y de depositación; incluye la composición mineralógica, el origen de sedimentos y de clastos; así como la secuencia de eventos diagenéticos ocurridos.

El estudio petrográfico de láminas delgadas constituye la base de la investigación de rocas sedimentarias, siliciclásticas, volcánicas, carbonatadas y evaporíticas. La información obtenida de un análisis petrográfico proporciona un gran soporte a las observaciones de campo y en el caso de rocas sedimentarias es la fuente de información que será complementada con los resultados obtenidos al aplicar otras técnicas de estudio como son: la difracción de rayos-X, microscopía electrónica de barrido y el análisis químico elemental cuantitativo de minerales presentes en la roca, o bien, de la roca en general.

Las muestras se preparan de acuerdo con los procedimientos institucionales P-UG-009 y P-UG-010. La petrografía se lleva a cabo en un microscopio óptico Carl Zeiss y la minerografía se realiza en un microscopio convencional de luz reflejada.

### Difracción de rayos X

La difracción de rayos-X es un método instrumental particularmente útil en el análisis de material cristalino de grano muy fino (Hardy y Tucker, 1991). Existe una variedad de aplicaciones para caracterizar los componentes de los sedimentos. Entre ellas se puede mencionar el análisis de roca total (donde es posible no detectar la presencia de minerales que están en muy baja proporción y que pueden encontrarse debajo del límite de detección para ese mineral). También se puede realizar el análisis de la fracción arcillosa presente en la roca total, determinar el gra-

do de cristalinidad en illitas (Eberl, 1993; Ma et al., 1992); al igual que el contenido de Fe y Mg en cloritas. Cuando la cantidad de illita lo permite, se estima el K presente en la estructura de la mica. Cada determinación tiene siempre un objetivo específico.

Como parte de la caracterización geológica de los núcleos únicamente se analiza la fracción arcillosa de los mismos. La preparación de muestras se lleva a cabo de acuerdo con el procedimiento P-UG-007 de la Gerencia de Geotermia.

El análisis mineralógico de la fracción arcillosa se lleva a cabo en un difractómetro Siemens D500 con radiación filtrada de cobre. La identificación de minerales se realiza por medio del archivo de identificación de *Powder diffraction file* del International Centre for Diffraction Data (1980).

### Microscopio electrónico de barrido (MEB)

El microscopio electrónico de barrido es otra técnica de análisis instrumental de gran utilidad cuando se requiere de revisar superficies a alto aumento. Brinda la posibilidad de tener una resolución excelente a grandes



aumentos sin destruir la muestra; como es el caso de las preparaciones para estudios petrográficos, donde al desbastar la superficie de la muestra se pierden rasgos importantes de la misma. Actualmente, el MEB es reconocido como un instrumento importante en estudios sedimentológicos, ya que proporciona información e ilustración de superficies en tercera dimensión y a una escala del orden de unas cuantas micras.

La principal contribución del MEB en sedimentología es en el campo de la diagénesis, donde la textura de la roca, poros y delicado material que rellena los poros pueden ser examinados sin destruir la superficie de la muestra. Otras aplicaciones son: la identificación de minerales por su morfología, diferenciación entre una matriz y un cemento, recubrimiento de granos etc.

Además ofrece una gran ventaja, su acoplamiento a un sistema que permite llevar a cabo *in situ* el análisis químico elemental de una superficie específica. Este análisis puede ser total o bien puntual.

El análisis morfológico y el análisis semicuantitativo se lleva a cabo en un microscopio electrónico de barrido Carl Zeiss, modelo DSM 960; que tiene acoplado un espectrómetro dispersivo de energía de rayos-X (EDAX).

### Análisis de fracturas

El análisis de fracturamiento constituye una valiosa herramienta desarrollada en la Gerencia de Geotermia para el análisis y cuantificación de hoquedades y microfrazuras en los núcleos proporcionados por Pemex.

El estudio se realiza en cortes longitudinales de los núcleos con un grosor de 1/3 del diámetro total del

núcleo, éstos son pulidos con abrasivos muy finos. Finalmente, se realiza un pulido a espejo con cada muestra.

El procesamiento digital consiste en reproducir la superficie pulida de cada muestra con un *scanner* a 1400 dpi a color. Se calibra la imagen de cada muestra. Se aplica un filtrado de bordes y ecualización de imagen. Se vectorizan las hoquedades, fracturas y áreas de las muestras. Finalmente, se cuantifican áreas, longitudes e intersecciones mediante el programa elaborado para tal fin.

El resultado se presenta en un formato digital que incluye datos de identificación de la muestra y un resumen que incluye: área de la muestra, área de hoquedades, área de fracturas, número total de fracturas, número de intersecciones, número de fracturas por área, número de intersecciones por fractura y número de intersecciones por área.

Más adelante se muestra un ejemplo de la forma de presentación del análisis de microfracturamiento en cortes longitudinales de núcleos.

### Resultados

Con el objeto de ejemplificar la aplicación de la metodología empleada en la caracterización geológica de núcleos obtenidos en la perforación de pozos petroleros, a continuación se muestra una selección de resultados del estudio geológico realizado recientemente en tres núcleos del pozo Pol 92D del Activo Pol Chuc (Izquierdo et al., 2001).

La Figura 1(a) muestra el corte longitudinal pulido del fragmento Pol92D N1-F13 PS. Se trata de una brecha calcárea, con un ambiente de depositación No 4, de acuerdo con la clasificación de Wilson (1975). El cual corresponde a un talud de calizas resedimentadas. La porosidad es de tipo dependiente. Los procesos diagenéticos a los que ha estado sujeta la muestra corresponden a procesos de compactación y dolomitización. Las Figuras 1(b) y 1(c) son láminas delgadas del mismo fragmento mostrando los componentes microscópicos del fragmento (ver descripción en la figura).

Las Figuras 2(a) y 2(d) muestran una secuencia de micrografías del microscopio electrónico de barrido del fragmento 14 de la parte superior del núcleo 1 del pozo Pol 92D.

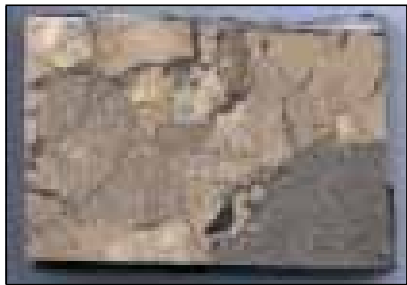
La muestra seleccionada de este fragmento, de composición brechoide, se examinó a diferentes aumentos (X), mostrando ser compacta con hoquedades de distintas formas y tamaños. Las hoquedades han sido formadas por disolución de los clastos de composición calcárea; posteriormente, han sido rellenas por cristalización o recristalización de dolomita. La porosidad observada es debida a los espacios entre partículas; la cual es mínima dada la compactación de la muestra y al tamaño de las partículas.

La micrografía 2(a) es la muestra total observada a 10 X, en ella se distinguen abundantes hoquedades irregulares. Las micrografías 2(b), 2(c) y 2(d) son distintos acercamientos a hoquedades. Se observa la morfología característica de los cristales de dolomita.

La Figura 3 muestra el patrón de difracción del fragmento 49 del núcleo 3 del pozo Pol 92D. En este difractograma se ha identificado como principal componente la calcita, la vermiculita, interestratificación de mica con vermiculita y cuarzo. En esta muestra, en particular, queda de manifiesto el alcance de la difracción de rayos X; ya que es la única técnica instrumental por

**Figura 1.** (a) Corte longitudinal del núcleo; (b) Packstone peletífero esqueletal (facies 6 de Wilson), soportado por matriz micrítica que presenta un remplazamiento parcial con cristales euhedrales unimodal de forma planar (e) en un mosaico de tipo ideotópico; (c) Fragmento de caliza con abundantes bioclastos, de ellos destaca la presencia de globigerínidos y espículas de esponjas (facies 2 de Wilson).

POL 92D N1-F13-PS



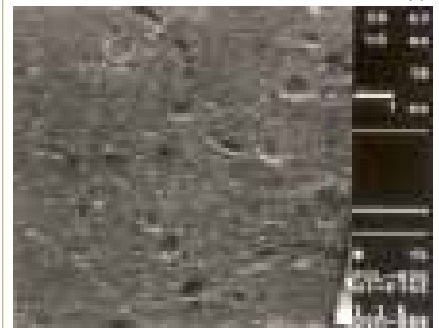
(a)

1 cm

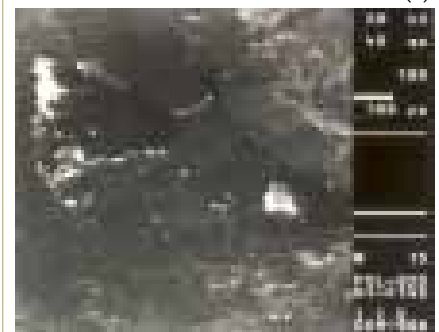
(b)

(c)

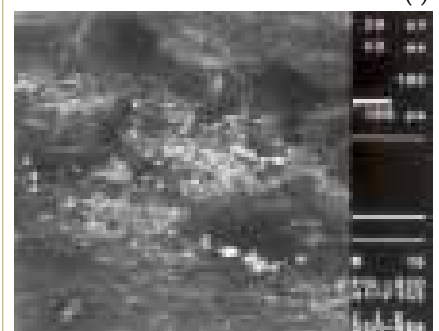
**Figura 2.** Micrografías del fragmento 14, parte superior del Núcleo 1 del pozo Pol 92-D. 2(a) muestra total; 2(b) dolomita en hoquedad; 2(c) hoquedad rellena de dolomita; 2(d) magnificación de los cristales de dolomita.



(a)



(b)



(c)



(d)

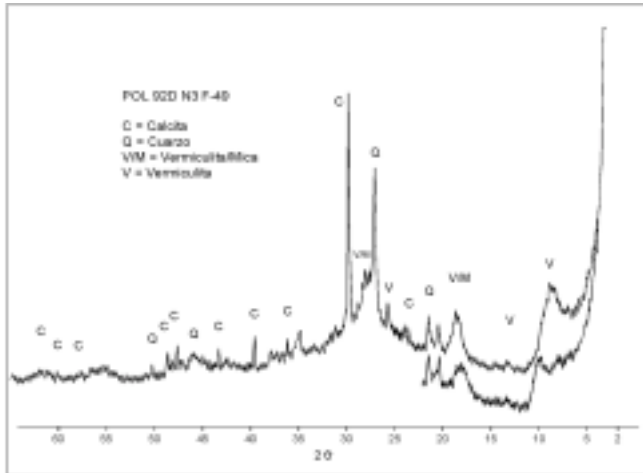
medio de la cual es posible identificar minerales del grupo de las arcillas, como es el caso de la vermiculita y además en proceso de transformación de la mica a vermiculita.

La Figura 4 muestra el patrón de difracción del fragmento 22 del núcleo 2 del pozo Pol 92D. En él se distingue claramente la presencia de Calcita como componente dominante. Dolomita y trazas de feldespato potásico.

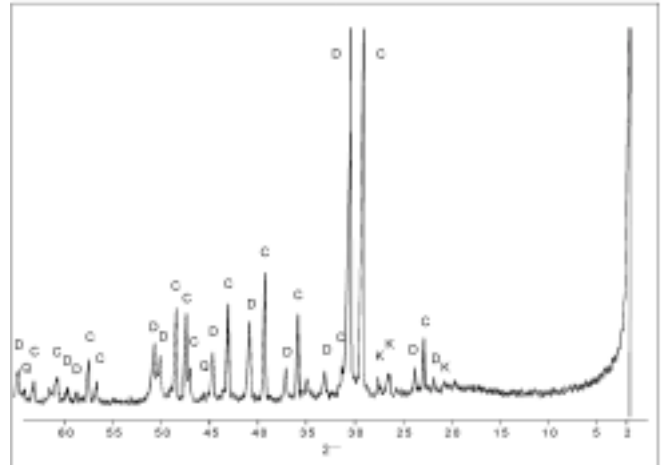
La Figura 5 presenta el formato que contiene los resultados del estudio de microfracturamiento en cortes gruesos, en este caso del fragmento 4 de la parte superior del núcleo 2 del pozo Pol 92D. Se presenta la imagen del corte longitudinal pulido de la muestra. A continuación se presenta en forma resumida el resultado del análisis de microfracturamiento así como sus datos de identificación.



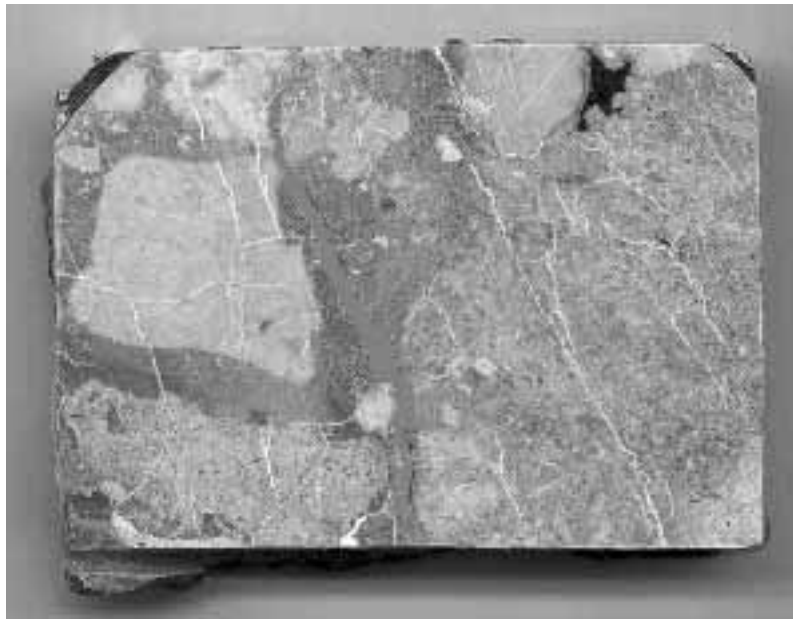
**Figura 3.** Patrón de difracción del fragmento 49 del núcleo 3 del pozo Pol 92D.



**Figura 4.** Patrón de difracción del fragmento 22 del núcleo 2 del pozo Pol 92D.



**Figura 5.** Representación de los resultados del estudio de microfracturamiento del fragmento F4 parte superior del núcleo 2 del pozo Pol 92D.



| Fracturas al interior de fragmentos    |         |
|--|---------|
| Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )  | 43.5517 |
| # área de fracturas (cm <sup>2</sup> ) | 0.4236  |
| Long. total fracturas (cm)             | 66.4060 |
| # fracturas                            | 86      |
| # intersecciones                       | 15      |
| # fracturas/área de muestra            | 1.9747  |
| # intersecciones/# fracturas           | 0.1744  |
| # intersecciones/área de muestra       | 0.3444  |

| Fracturas en la matriz y alrededor de fragmentos |         |
|--|---------|
| Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )            | 43.5517 |
| # área de fracturas (cm <sup>2</sup> )           | 0.8841  |
| Long. total fracturas (cm)                       | 13.2380 |
| # fracturas                                      | 8       |
| # intersecciones                                 | 3       |
| # fracturas/área de muestra                      | 0.1837  |
| # intersecciones/# fracturas                     | 0.3750  |
| # intersecciones/área de muestra                 | 0.0689  |

| Resumen                                 |         |
|---|---------|
| Área de la muestra (cm <sup>2</sup> )   | 43.5517 |
| # área de hoquedades (cm <sup>2</sup> ) | 0.5827  |
| # de hoquedades                         | 431     |
| Área de fracturas (cm <sup>2</sup> )    | 1,3077  |
| Long. total fracturas (cm)              | 79.6440 |
| # fracturas                             | 94      |
| # intersecciones                        | 18      |
| # fracturas/área de muestra             | 2.1584  |
| # intersecciones/# fracturas            | 0.1915  |
| # intersecciones/área de muestra        | 0.4133  |

| Información de la muestra |                 |
|---------------------------|-----------------|
| Pozo                      | Pol-92D         |
| Núcleo                    | N2              |
| Fragmento                 | f4-P/S          |
| Profundidad (m)           | 4046.27-4046.65 |
| Formación                 | BP              |

| Información de la muestra                        |  |
|--|--|
| Hoquedades                                       |  |
| Contorno de la muestra                           |  |
| Fracturas al interior de fragmentos              |  |
| Fracturas en la matriz y alrededor de fragmentos |  |

## Conclusiones

En la Gerencia de Geotermia del IIE se cuenta con la metodología para realizar estudios petrológicos de rocas sedimentarias.

Esta metodología para llevar a cabo estudios geológicos en núcleos obtenidos en la perforación de pozos petroleros se ha aplicado a través de varios contratos con diferentes activos de Petróleos Mexicanos (PEP).

Los estudios integrados han sido de utilidad para Pemex pues proporcionan información detallada sobre los procesos, condiciones de depositación y diagénesis que ocurren en rocas sedimentarias.

Esta metodología es flexible y puede ampliarse, en el ámbito geológico, para cubrir las demandas del sector petrolero en México.

## Agradecimientos

Las autoras manifiestan su agradecimiento a los señores técnicos Andrés Pérez M. y Salvador Antunez A. por su colaboración técnica en varias etapas de los proyectos de caracterización de núcleos de pozos de campos petroleros.

### Georgina Izquierdo Montalvo

Egresada de la UNAM como Químico (1976). Maestría en Química Inorgánica (1977) en la Facultad de Química de la UNAM; doctorada en Química del Estado Sólido en el Departamento de Química de la Universidad de Aberdeen, Escocia (1981).

En mayo de 1981 se incorporó al IIE como investigadora de la



Gerencia de Geotermia. Contribuyó en el establecimiento del laboratorio de rayos X (difracción y fluorescencia) y en el de emisión (espectrometría de emisión por plasma). Ha sido responsable de algunos estudios geológicos realizados con Pemex.

Ha realizado estancias de investigación en Estados Unidos, Francia y Japón. Presidió el Instituto Nacional de Geoquímica y es miembro activo de la Clay Minerals Society y la International Geothermal Association, al igual que de varias sociedades similares del país.

Catedrática de diversas instituciones nacionales e internacionales, ha dirigido tesis y es autora de múltiples artículos técnicos en publicaciones nacionales y extranjeras. Desde 1984 a la fecha es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1.

[gim@iie.org.mx](mailto:gim@iie.org.mx)

### Adriana Paredes Soberanes

Licenciada en Informática por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (1998). Becaria del IIE desde 1996, participó en diversos proyectos de investigación, como el análisis del *software* IDRISI. Al ingresar en el Instituto se incorporó al proyecto Estudio Geológico y diagenético de núcleos del Activo de explotación PolChuc de Pemex.

[aparedes@iie.org.mx](mailto:aparedes@iie.org.mx)

## Referencias

- Análisis de minerales arcillosos por difracción de rayos-X (preparación de muestras e identificación). P-UG-007, Procedimiento interno de la Gerencia de Geotermia, IIE, México, 2001.
- Eberl, D.D. *Three zones for illite formation during burial diagenesis and metamorphism*. *Clays and clay minerals*, v. 41, no. 1, 1983, 26-37 p.
- Hardy, R. y Trucker M. "X-ray powder diffraction of sediments", En: *Techniques in sedimentology*, Tucker M. (ed.), Blackwell Scientific Publicatios, 1991, 191-228 p.
- Izquierdo, M. G., S. A. Paredes, M. A. Pérez y S. A. Antunez. *Estudios petrofísicos y geológicos de los campos del Activo Pol Chuc*, Informe final IIE/11/11536/01/F, IIE, México, 2001.
- Ma, Chi, P.R.L. Browne y C.C. Harvey. *Crystallinity of subsurface clay minerals in the Mibi sector of the Wairakei geothermal system*, Roc. N.Z.Geoth. Workshop, New Zealand, 1992, 267-272 p.
- Mineral powder diffraction file. JCPDS, International Centre for Diffraction Data, EE.UU., 1980.
- Preparación de superficies pulidas para estudios minerográficos. P-UG-009, Procedimiento interno de la Gerencia de Geotermia, IIE, México, 2001.
- Preparación de láminas delgadas para el estudio microscópico de rocas. P-UG-010, Procedimiento interno de la Gerencia de Geotermia, IIE, México, 1998.
- Wilson J. L. *Carbonate facies in geologic history*, Springer-Verlag. Berlín, 1975, 471 p.