

## Porosidad asociada a dolomitización en yacimientos del Kimmeridgiano del Activo de producción Ku Maloob Zaap

*Jonás García Carmona*

[jonas.garciac@pemex.com](mailto:jonas.garciac@pemex.com)

*María de Jesús Correa López*

[maria.jesus.correa@pemex.com](mailto:maria.jesus.correa@pemex.com)

*Romeo Antonio Rojas Figueroa*

[romeo.antonio.rojas@pemex.com](mailto:romeo.antonio.rojas@pemex.com)

*Ricardo Martínez Ibarra*

[rmibarra2@yahoo.com.mx](mailto:rmibarra2@yahoo.com.mx)

*Subdirección Producción Aguas Someras. Activo Producción Ku-Maloob-Zaap. Coordinación del Grupo Multidisciplinario de Especialistas Técnicos de Diseño de Proyectos. Caracterización de Yacimientos*

Información del artículo: recibido: febrero de 2016-aceptado: marzo de 2016

### Resumen

Este estudio documenta la relación entre los procesos de dolomitización y los tipos de porosidad generada en yacimientos del Kimmeridgiano del Activo de producción Ku Maloob Zaap. Se identificaron dos procesos importantes de dolomitización; el primer evento se refiere a dolomitización por reemplazamiento pseudomórfico, donde la textura original se preserva, y un evento de dolomitización tardío no pseudomórfico, durante el cual la textura original es destruida. Durante ambos procesos se genera porosidad característica con atributos petrofísicos, que modifican la calidad de roca almacén en zonas específicas del yacimiento. Lo conlleva al uso del tipo de dolomitización asociado a la porosidad y permeabilidad, como una herramienta predictiva de la calidad de roca almacén. El estudio se llevó a cabo mediante la aplicación sistemática de técnicas petrográficas, luz transmitida, fluorescencia UV, catodoluminiscencia y microscopía electrónica de barrido. Se usaron secciones delgadas pulidas y fragmentos de núcleo. Los resultados muestran que la dolomitización por reemplazamiento pseudomórfico se presenta principalmente en texturas precursoras de grano fino a muy fino, y en la matriz de packstone de bioclastos o packstone de ooides y peloides. En estas facies se produce un mosaico cerrado de dolomita fina a media, donde la porosidad móldica generada a partir de disolución parcial o total de ooides es la de mayor relevancia. También se presenta escasa porosidad intercrystalina, que en parte está ocluida por material arcilloso y/o de origen orgánico. Por otro lado, la dolomitización por reemplazamiento no pseudomórfico modifica cualquier tipo de textura precursora y genera dolomita media y gruesa. La porosidad asociada a este tipo de dolomita es intercrystalina, aumenta en relación al tamaño del cristal y no está ocluida por material arcilloso y/o material de origen orgánico, lo que mejora la permeabilidad. Dos procesos adicionales incrementan la porosidad y permeabilidad en ambos tipos de dolomitización; el fracturamiento que para la dolomita de reemplazamiento pseudomórfico es muy importante, ya que conecta porosidad móldica. El segundo proceso es un evento de disolución tardía que disuelve zonas de debilidad composicional y/o cristalina. La porosidad generada en la dolomitización por reemplazamiento no pseudomórfico es la de mayor relevancia en el estudio, ya que la porosidad intercrystalina que se genera está comunicada y aumenta a medida que el cristal de dolomita también aumenta en sus dimensiones. Las zonas que presentan la combinación de ambos tipos de dolomitización, fracturamiento y disolución conforman la roca almacén de mejor calidad del Kimmeridgiano del APKMZ.

**Palabras clave:** Dolomitización, recristalización, porosidad.

## Porosity related to dolomitización in Kimmeridgian reservoirs of Ku Maloob Zaap oil fields

### Abstract

The study documents the relationship between dolomitization processes and types of porosity generated in reservoirs of Kimmeridgian of Ku Maloob Zaap asset. Two important dolomitization processes were identified; the first event is related to dolomitization by pseudomórfic replacement where the original texture is preserved, and a non pseudomórfic event of late dolomitization where the original texture is destroyed. During both processes porosity feature is generated with petrophysics attributes that modify the quality of a reservoir in specific zones. Thus the type of dolomitization associated to the porosity and permeability can be used as a predictive tool of quality rock in a reservoir. The study was carried out by applying petrographic techniques such as; transmitted light, fluorescence UV, cathodoluminescence and scanning electron microscopy. Polished thin sections and cores were used. The results show that dolomitization by pseudomorph replacement occurs mainly in precursory textures of fine to very fine grain and in matrix of packstone of bioclasts or packstone of ooids and peloids. In these facies occurs enclosed mosaic of fine to medium dolomite where moldic porosity generated from partial or total dissolution of ooids is the greater relevance. Also scarce inter-crystalline porosity is occluded by clayey material and/or organic material. On the other hand the dolomitization by non pseudomorph replacement modifies any type of precursory texture and generates medium and coarse dolomite. Porosity associated to this type of dolomite is inter-crystalline, increases according to the size of the crystal and it is not occluded by clayey and/or organic material, which improves the permeability. Two additional processes increase the porosity and permeability in both types of dolomitization, fracturing that for dolomite of pseudomorph replacement is very important because connects moldic porosity. The second process is an event of late dissolution that dissolves zones of compositional and/or crystalline weakness. The porosity generated during dolomitization by non pseudomorph replacement is the greater relevance of the study since the inter-crystalline porosity generated is communicated and increases as well as dolomite crystal also increases. The zones that display the combination of both types of dolomitization, fracturing and dissolution conform the reservoir rock of better quality in Kimmeridgian reservoirs of Ku Maloob Zaap oil fields.

**Keywords:** Dolomitization, recrystallization, porosity,

### Introducción

La dolomitización es un proceso químico que transforma a una caliza en dolomita, mediante el reemplazamiento de iones de calcio por magnesio. Dentro de este proceso se puede tener reemplazamiento pseudomórfico que es aquel en que la dolomita crece en continuidad óptica con el material que es reemplazado y por lo tanto, la textura original se preserva, el reemplazamiento pseudomórfico es un reemplazamiento volumen por volumen (Supko 1977). Por otro lado, el reemplazamiento no pseudomórfico es aquel en el que escasean los sitios de nucleación y no se conserva la textura original del material reemplazado. Por último, la dolomita puede ocurrir como cemento y refiere a cualquier dolomita que rellena un poro, sin reemplazar a un cemento precursor, (Sibley 1982).

Este estudio documenta la relación entre los tipos texturales de dolomita y su porosidad asociada, presentes en las unidades litológicas del Kimmeridgiano de los yacimientos del APKMZ. Los tipos de dolomita presentes en los yacimientos son producto de procesos de dolomitización por reemplazamiento pseudomórfico, reemplazamiento no pseudomórfico así como precipitación de cementos. Los dos primeros desarrollan porosidades intercrystalinas siendo el segundo de mayor relevancia, ya que representa un evento de recristalización; promueve el desarrollo de porosidad tardía que junto con fracturamiento y disolución, conforman la roca almacén de mejor calidad para el Kimmeridgiano dentro de los campos en estudio. Se basa en descripciones petrográficas diagenéticas de 48 secciones delgadas, correspondientes a 24 núcleos de pozo. Se realizó empleando la metodología de "petrografía

avanzada”, que consiste en la aplicación sistemática de las técnicas de petrografía de luz transmitida; petrografía con fluorescencia UV y petrografía de catodoluminiscencia. También se realizaron estudios de microscopía electrónica de barrido en núcleos representativos, con el objetivo de caracterizar el desarrollo de porosidad vugular y sus productos precipitados derivados.

Los estudios petrográficos se basaron en los criterios de la clasificación de Sibley y Gregg (1987), en conjunto con la tabla de tamaño de dolomitas de Folk, 1962, derivando en una clasificación particular propuesta para el Kimmeridgiano de los campos del AIKMZ. Los grupos texturales definidos, **Tabla 1**, y su porosidad asociada se describen a continuación.

**Tabla 1.** Clasificación textural de dolomitas en los campos del Kimmeridgiano del AIKMZ.

Dolomitización	Sibley & Gregg,1987	Clasificación propuesta
Reemplazamiento pseudomórfico	Dolomita unimodal planar-s cristalina fina	a) DRF Dolomita de reemplazamiento fina
	Dolomita unimodal a polimodal, planar-s a no planar, cristalina media	b) DRM Dolomita de reemplazamiento media
Reemplazamiento no pseudomórfico	Dolomita unimodal planar-s a no planar, cristalina media al límite superior del rango	c) DRMg Dolomita de reemplazamiento entre el límite transicional media a gruesa
	Dolomita unimodal a bimodal cristalina gruesa planar-s a no planar	d) DRG Dolomita de reemplazamiento gruesa
Cementos	Dolomita unimodal a bimodal planar-c, en relleno de porosidad móldica	e) DCM Cemento dolomita cristalina media
	Dolomita polimodal planar-c en relleno de cavidades, fracturas y sobrecrecimientos	f) DCG Cemento dolomita gruesa
	Dolomita polimodal no planar (barroca), en relleno de cavidades y fracturas	g) DCB Cemento de dolomita barroca

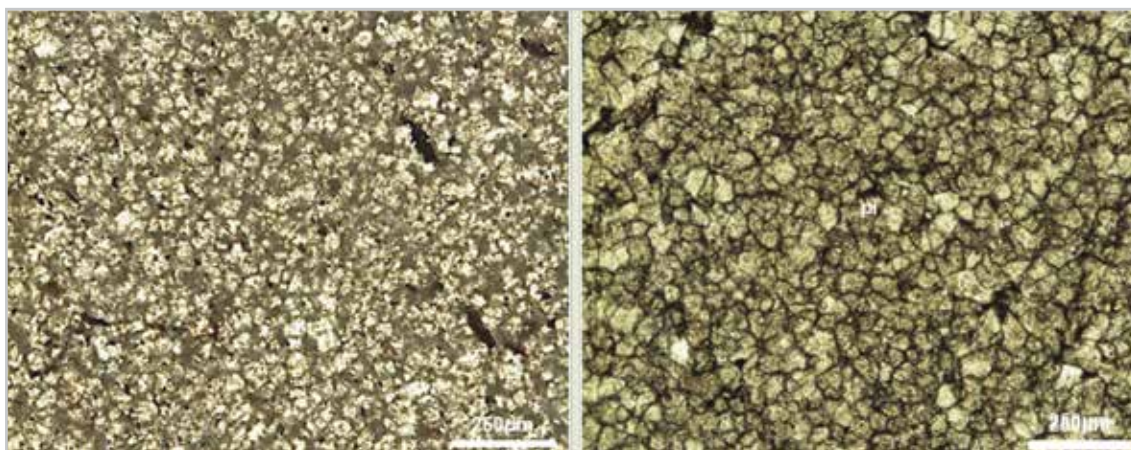
## Dolomita de reemplazamiento pseudomórfico y porosidad asociada

### a. Dolomita de reemplazamiento fina, (DRF)

Dentro de la clasificación de Sibley y Gregg (1987), esta dolomita corresponde a una dolomita unimodal de grano fino (<16 $\mu$ m a 62 $\mu$ m), **Figura 1**, planar-s, aunque los bordes se presentan discontinuos por el efecto de presión-solución. Este tipo de dolomitización se genera debido a la presencia

de una gran cantidad de sitios de nucleación (Sibley, 1982). En las unidades en estudio esta dolomita se presenta principalmente en texturas precursoras de grano fino a muy fino en la matriz de packstone de bioclastos o de ooides y también en matriz de peloides.

La porosidad asociada a este tipo textural es intercrystalina, pero se observa en parte de ella material insoluble obscuro, correspondiente a arcilla y/o materia orgánica.



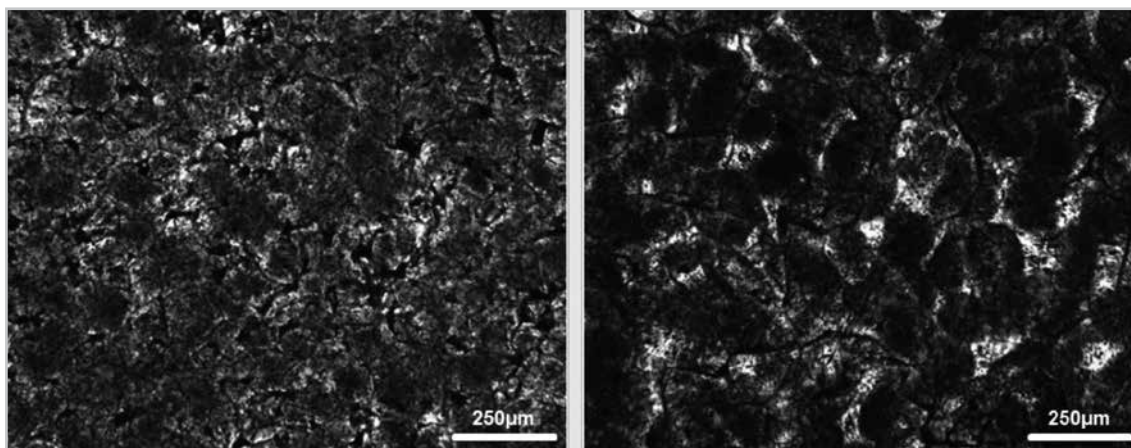
**Figura 1.** Dolomita fina (DRF) (16µm a 62µm), unimodal, planar-s, con porosidad intercrystalina (pi) asociada.

**b. Dolomita de reemplazamiento media (DRM)**

Se presenta como dolomita de tamaño de cristal medio (62µm a 250µm), **Figura 2**, unimodal a bimodal, aunque en general se considera planar-s; presenta también bordes no planares que pueden tener origen variado como lo es el efecto por la compactación y en muchos de los casos los cristales no presentan las formas con tendencia romboédrica, sino que mimetizan los rasgos texturales del material reemplazado, tomando formas irregulares fuera de contexto de la clasificación de Sibley y Gregg (1987). Una característica común en esta dolomita es que presenta

centros turbios y partes claras hacia los bordes, estas zonas claras con apariencia de cemento en algunos casos, también pueden deberse a zonas incipientemente recrystalizadas, que no son características sino excepcionales en este tipo de dolomita.

La porosidad asociada es intercrystalina, aunque al igual que en DRF, se observa en su mayor parte ocluida por material oscuro, posiblemente correspondiente a arcilla y/o materia orgánica. También los sobrecrecimientos claros pueden contribuir a disminuir la porosidad.



**Figura 2.** Dolomita media (DRM) (62µm a 250µm) unimodal a polimodal, planar-s a no planar.



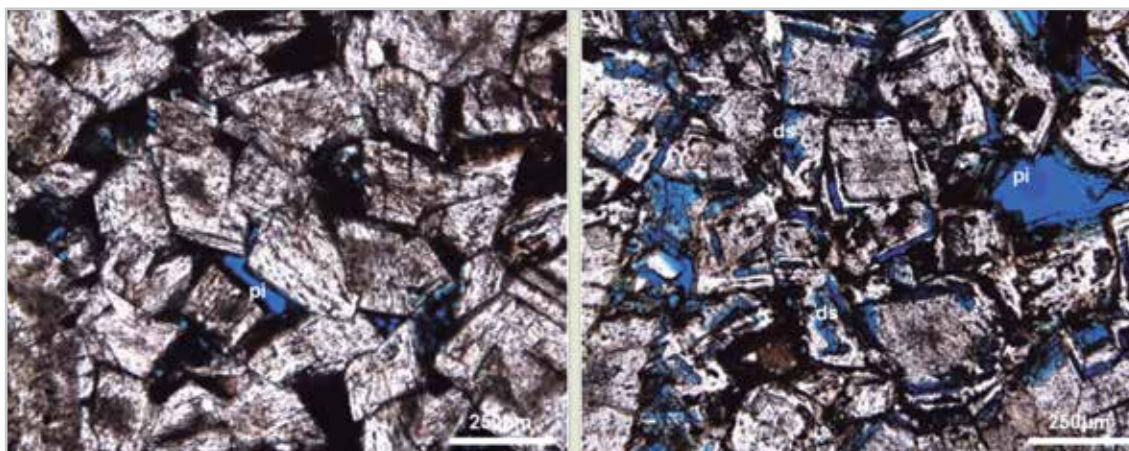
## Dolomita de reemplazamiento no pseudomórfico y porosidad asociada

### c. Dolomita de reemplazamiento media, (DRMg)

Esta dolomita presenta algunas diferencias importantes respecto a la DRM, el tamaño de cristal se presenta en el límite transicional entre dolomita media a gruesa, **Figura 3**. Se presenta como dolomita de tamaño promedio de cristal medio ( $\sim 250\mu\text{m}$ ) aunque en ocasiones puede ser ligeramente superior a esta dimensión, es unimodal, planar-s, aunque puede variar a no planar. Esta dolomita presenta centros turbios que pasan transicionalmente a bordes claros, aunque en muchos de los casos se observa completamente limpia.

Las zonas claras con apariencia de cemento pueden deberse a zonas recristalizadas, en general estas dolomitas presentan material insoluble en sus centros en menor proporción que en DRM, lo que podría deberse a recristalización.

Fundamentalmente, el rasgo distintivo de esta dolomita es que la porosidad intercrystalina aumenta en relación a la DRM, lo más importante es que gran parte de esa porosidad no está ocluida por material arcilloso y/o material de origen orgánico. También se observó que conforme aumenta el tamaño de cristal aumenta el tamaño de poro independientemente; en algunos casos es evidente el efecto de un proceso de disolución tardío, **Figura 3**.



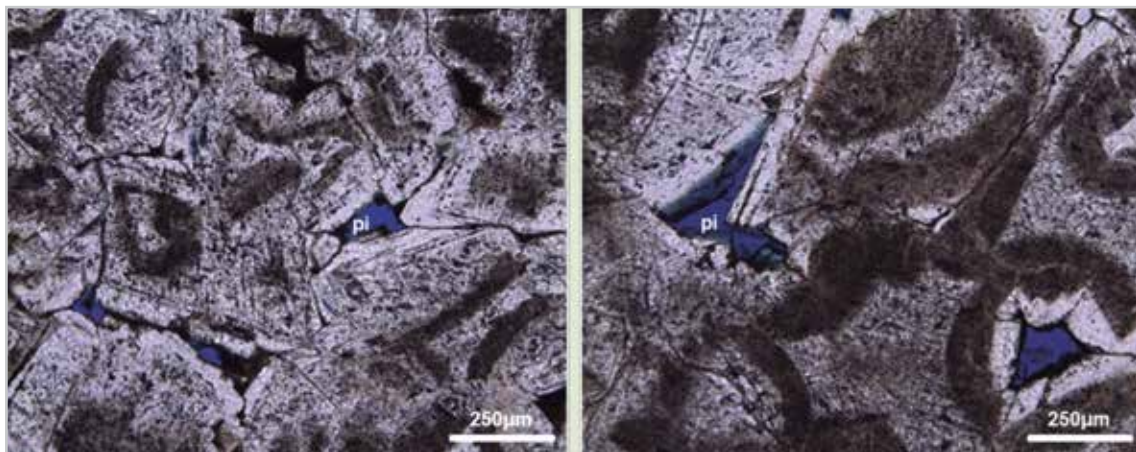
**Figura 3.** Dolomita media (DRMg) ( $\sim 250\mu\text{m}$ ) unimodal, planar-s a no planar y porosidad intercrystalina (pi) e intracrystalina por disolución (ds).

### d. Dolomita de reemplazamiento gruesa, (DRG)

Está conformada por un mosaico de dolomita gruesa ( $250\mu\text{m}$ - $1\text{mm}$ ), **Figura 4**, unimodal a bimodal. Se puede presentar como un mosaico de dolomita, principalmente no planar y en algunas ocasiones como dolomita planar-s. Presenta una textura destructiva de fábrica, por lo que conforma un reemplazamiento no mimético a pesar de que las partes de centros insolubles representan miméticamente la textura original que es dolomitizada. Gran parte de la textura de este tipo de dolomita puede deberse a recristalización y en ocasiones se mezclan las texturas de dolomita de reemplazamiento con la dolomita de cemento, por lo que se

dificulta diferenciar la frontera entre ambas. Una evidencia de este efecto es que los cristales aumentan de tamaño a medida que se aproximan hacia zonas de fractura o vórgulos, **Figura 4**.

La porosidad de este tipo textural de dolomita es la de mayor relevancia del estudio, ya que aumenta en proporción y tamaño de poro a medida que el cristal de dolomita también aumenta en sus dimensiones. Un efecto adicional que mejora la porosidad y permeabilidad en esta textura es la evidencia de un evento tardío de disolución.

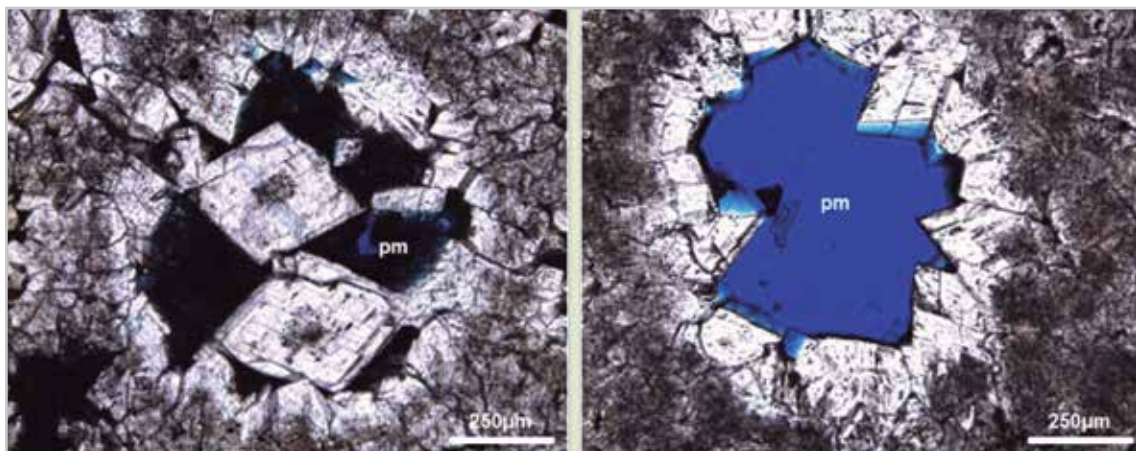


**Figura 4.** Dolomita gruesa (DRG) (250µm-1mm) unimodal y bimodal, no planar a planar-s, porosidad intercrystalina (pi).

## Dolomita de relleno de cavidades, (vúgulos y fracturas)-cementos

### e. Cemento de dolomita media, (DCM)

Esta dolomita se presenta básicamente cementando de manera parcial principalmente porosidad móldica, **Figura 5**. Muestra tamaño medio (62-250µm), es de tipo planar-c y generalmente unimodal aunque en ocasiones puede llegar a ser bimodal.

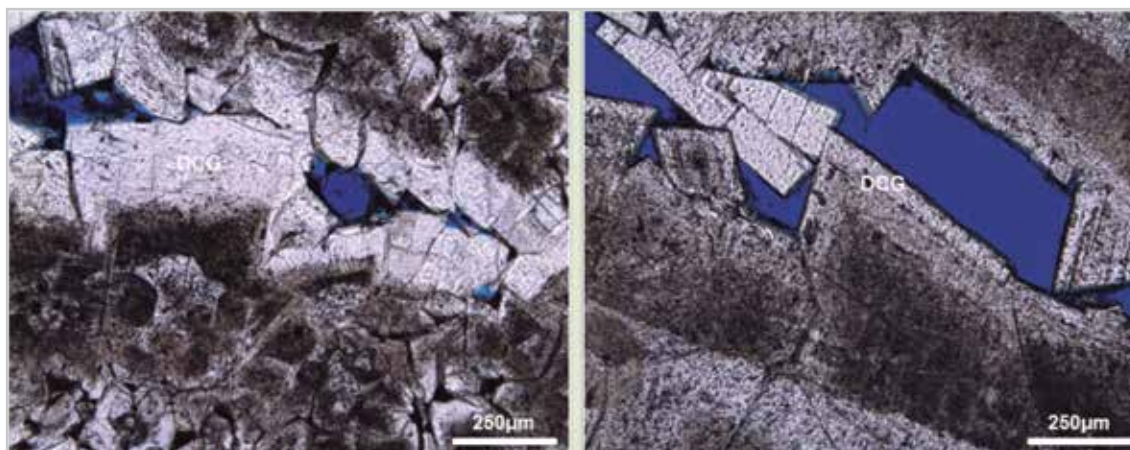


**Figura 5.** Cemento de dolomita media (DCM) (62-250µm), unimodal a bimodal planar-c que ocupa espacios en porosidad móldica (pm).

### f. Cemento de dolomita gruesa (DCG)

Consta de una dolomita gruesa (250µm-1000µm), planar-c, **Figura 6**. La peculiaridad de esta dolomita es que generalmente se presenta como sobrecrecimientos de cristales de dolomita DRG próximos a fracturas y vúgulos y rara vez como cristales individuales, es básicamente polimodal.

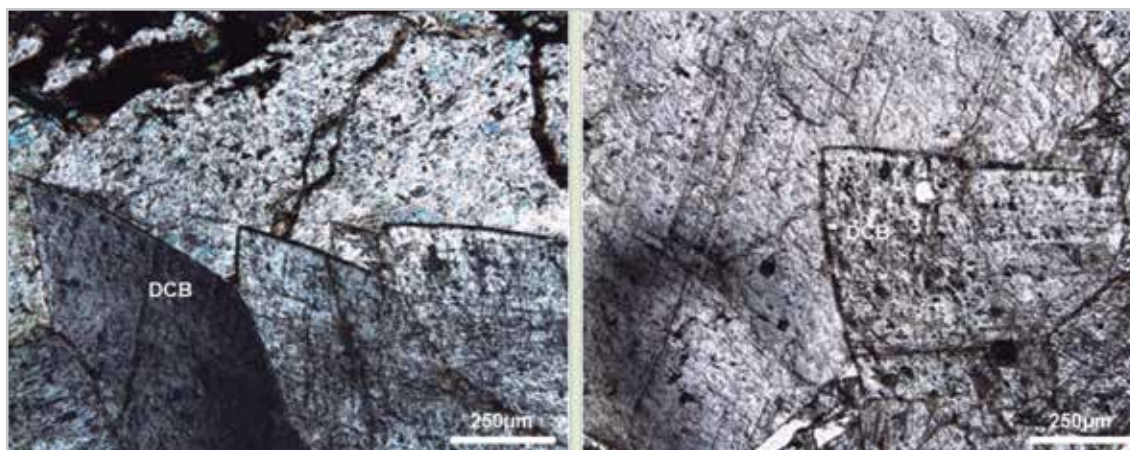




**Figura 6.** Cemento de dolomita gruesa (DCG) (250-1000 µm), polimodal planar-c, rellena parcialmente vóculos y fracturas.

**g. Cemento de dolomita barroca, (DCB)**

Esta dolomita es gruesa a muy gruesa (250µ-1 y >1mm) no planar, polimodal y presenta cristales típicos con bordes aserrados y caras curvadas, así como la característica extinción ondulante, **Figura 7**. La dolomita aparece cementando vóculos y fracturas.



**Figura 7.** Cemento de dolomita barroca (DCB) (250-1mm), no planar, polimodal con cristales de caras curvadas y extinción ondulante.

## Recristalización

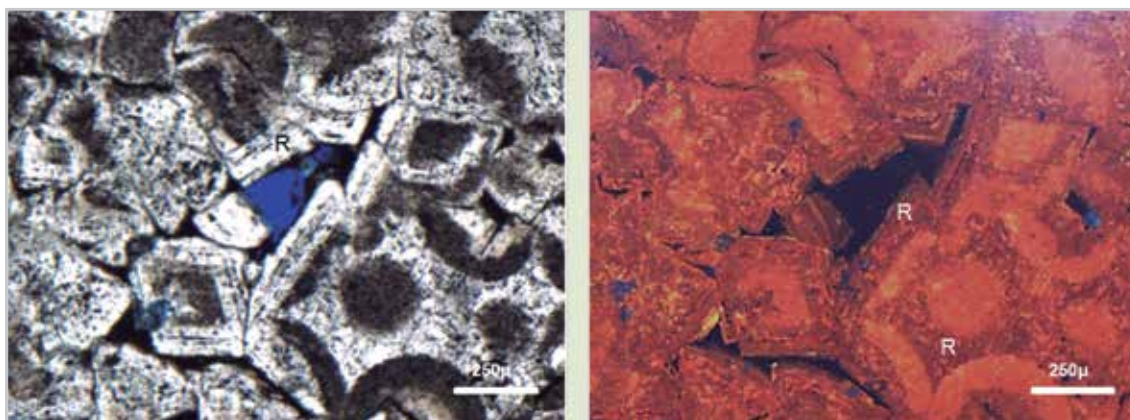
La recristalización se presenta cuando las propiedades petrográficas, mineralógicas y geoquímicas de la dolomita evolucionan con el sepultamiento (Machel, 1997; Mounjoy, 2000). Inicialmente, la dolomita es metaestable y generalmente rica en calcio, pobremente ordenada y

susceptible de disolverse. Esta dolomita metaestable se recristaliza, reequilibra y el producto resultante es una dolomita con diferente composición y textura que la inicial.

Petrográficamente, los indicios de recristalización en dolomita pueden inferirse a partir de la emisión de catodoluminiscencia de una textura de dolomita.

Generalmente la dolomitización por reemplazamiento que no ha sufrido recristalización presenta luminiscencia uniforme, como es el caso de la dolomita de reemplazamiento pseudomórfico. La recristalización puede inferirse cuando la luminiscencia muestra emisiones brillantes y atenuadas y/o con diferentes tonos en color, distribuidas heterogéneamente en una matriz o localizada

en zonas de los cristales de dolomita de reemplazamiento o de cemento. También es importante considerar las bandas de luminiscencia variante que representan sobrecrecimientos por precipitación de otros eventos de dolomita composicionalmente diferentes. La recristalización es evidente en las dolomitas de reemplazamiento no pseudomórfico estudiadas, **Figura 8**.



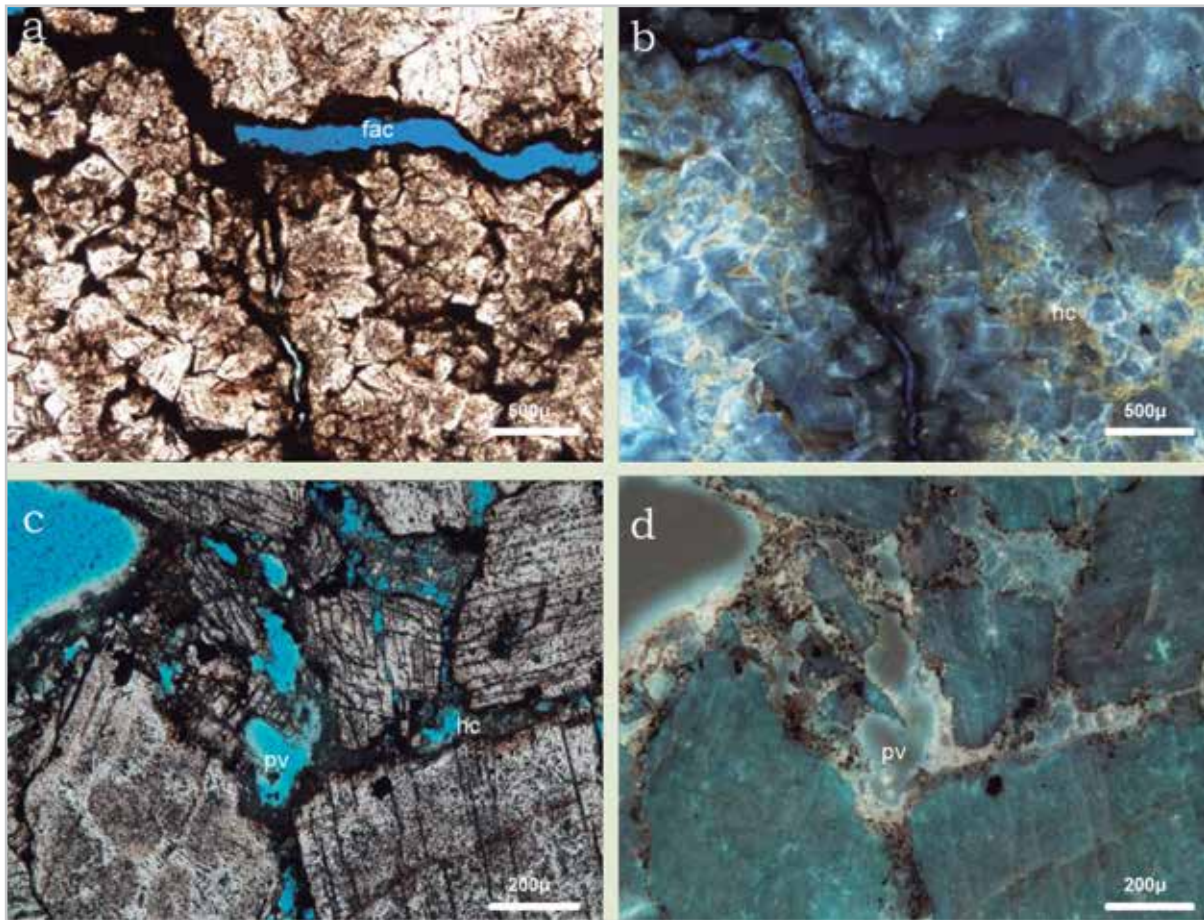
**Figura 8.** Texturas de dolomita con recristalización, (R).

## Fracturas y disolución

En general las unidades del Kimmeridgiano presentan escaso desarrollo de fracturas, pero el fracturamiento y microfracturamiento se incrementa en las unidades dominadas por dolomita de reemplazamiento no pseudomórfico. Este hecho está en concordancia con la

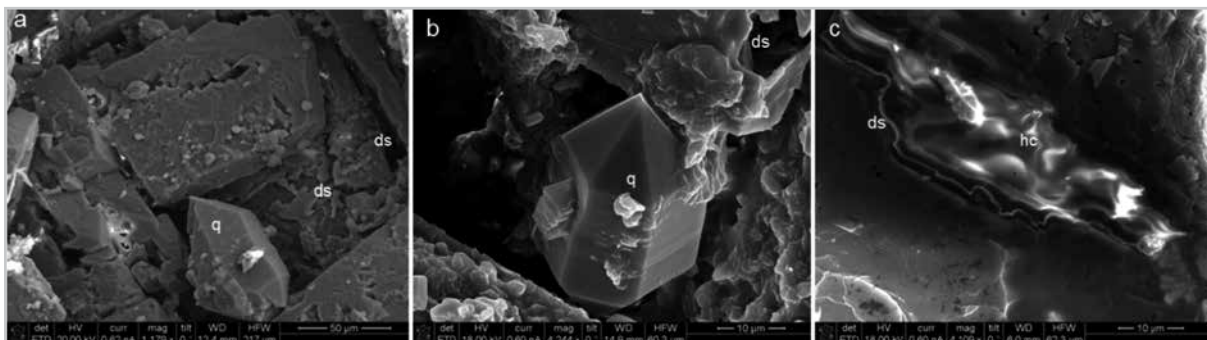
mayor recristalización, ya que las fracturas son la vía para la circulación de fluidos tardíos ricos en magnesio, necesarios para este proceso. Las fracturas en su mayor parte corresponden a fracturas abiertas, y fracturas acanaladas por disolución, **Figura 9 a,b**. Finalmente, estas fracturas se presentan como las vías de impregnación de hidrocarburo hacia la porosidad intercrystalina y vugular, **Figura 9 c,d**.





**Figura 9.** Detalles de fracturas y disolución con fluorescencia UV. Fractura acanalada (fac), hidrocarburos (hc), porosidad vugular, (pv).

El proceso diagenético más importante relacionado con la impregnación es la disolución, ya sea por su efecto en el ensanchamiento de fracturas, o en la modificación de la porosidad intercrystalina generando vúgulos. La evidencia de esta interacción fluido roca son los precipitados de cuarzo, **Figura 10**, y arcilla autigénicos, encontrados dentro de los poros.



**Figura 10.** Imágenes de MEB. a-b) Precipitados de cuarzo autigénico y evidencias de disolución; c) Impregnación de hidrocarburos y evidencia de disolución. Cuarzo (q), disolución, (ds), hidrocarburos, (hc).

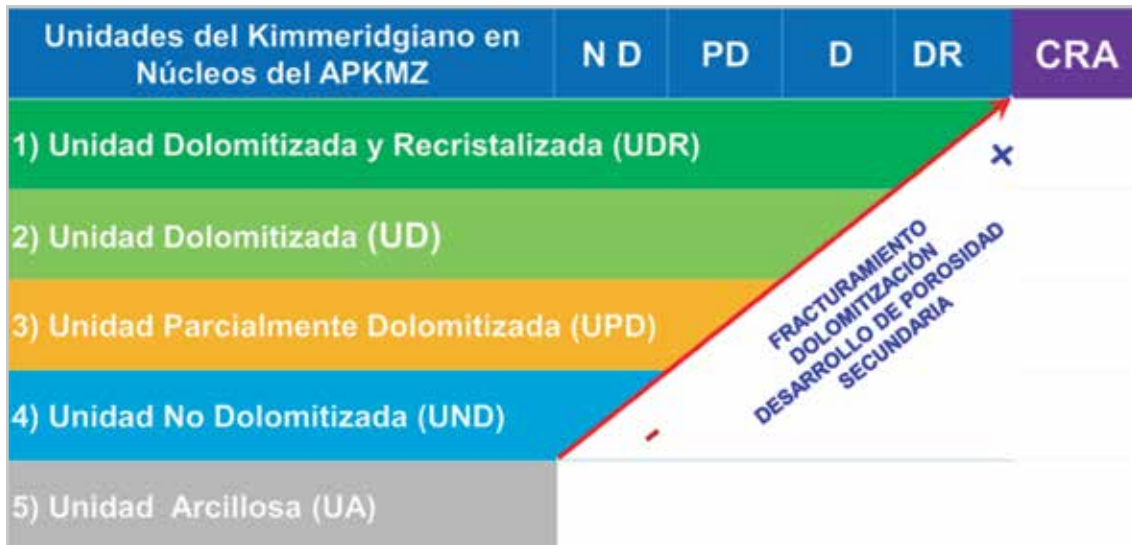
## Calidad de la roca almacén

En los yacimientos del Kimmeridgiano del AIKMZ se han definido cinco “unidades diagenéticas” de acuerdo a la evolución de porosidad y paragénesis distintivas:

- 1) Unidades dolomitizadas y recristalizadas (UDR);
- 2) Unidades dolomitizadas (UD);
- 3) Unidades parcialmente dolomitizadas (UPD);
- 4) Unidades no dolomitizadas (UND) y
- 5) Unidades no carbonatadas, o unidades arcillosas (UA).

En cada una de estas unidades el efecto de los procesos diagenéticos en la textura y modificación de porosidad y permeabilidad es diferente y por consiguiente en la calidad

de roca almacén. La **Figura 11** sintetiza estos eventos, donde el mayor impacto en la roca son los procesos de dolomitización, el fracturamiento y recristalización conllevaría a una mayor calidad de roca almacén. De esta manera, las unidades de roca que presentan las características diagenéticas del tipo 1 corresponden a unidades con mejor calidad de roca almacén que la unidad 2, la 2 que la 3 y así hasta la unidad 5, que es la que presenta menores características diagenéticas y consecuentemente, menor calidad de roca almacén. Dentro de este contexto las unidades dolomitizadas donde prevalece la dolomitización por reemplazamiento pseudomórfico corresponden a la unidad 2, unidad dolomitizada UD, mientras que las unidades dolomitizadas dominadas por reemplazamiento no pseudomórfico y con recristalización, corresponden a la unidad de mayor calidad como roca almacén: unidad 1 dolomitizada y recristalizada.



**Figura 11.** Unidades diagenéticas y calidad de roca almacén, (CRA).

## Conclusiones

La dolomitización masiva de las unidades del Kimmeridgiano corresponde a dolomitización pseudomórfica, con desarrollo incipiente de porosidad intercrystalina, que en parte es ocluida por material orgánico y/o arcilla. Las mejores condiciones almacenadoras de este tipo de dolomita se presentan donde se ha desarrollado porosidad mórdica previa a la dolomitización, y está comunicada

por microfisuras. Por su parte, la dolomitización no pseudomórfica ocurre a través de fisuras, y recristaliza de manera significativa algunos intervalos y/o unidades previamente dolomitizadas. Este evento de recristalización promueve el desarrollo de porosidad intercrystalina y conjuntamente con el fracturamiento y disolución tardía conforman la roca almacén de mejor calidad para el Kimmeridgiano dentro de los campos en estudio.

## Agradecimientos

Al Ing. Antonio Rojas Figueroa, Coordinador del Grupo Multidisciplinario de Especialistas Técnicos de Diseño de Proyectos del Activo Producción Ku Maloob Zaap, por apoyar al grupo de Caracterización de yacimientos en la realización de estudios geológicos especializados que nos ayudan a comprender nuestros yacimientos petroleros.

## Referencias

Folk R. L. 1962. Spectral subdivision of limestones types: in classification of carbonate rocks. AAPG mem.1, 62-84.

Machel, H.G, 1997. Recrystallization versus neomorphism, and the concept of "significant recrystallization" in dolomite research, *Sedimentary Geology*, v113, n3-4, p. 161-168.

Mountjoy, E.W., Machel, H.G., Green, D., Duggan, J., Williams-Jones, A.E., 2000. Devonian matrix dolomites and deep burial carbonate cements: a comparison between the Rimbey-Meadowbrook reef trend and the deep basin of west-central Alberta. *Bull. Can. Petrol. Geol.* 47 \_4., 487–509.

Sibley, D.F., 1982. The origin of common dolomite fabrics: clues from the Pliocene: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 52, p. 1087–1100.

Sibley, D.F. and Gregg, J.M., 1987. Clasificación of dolomite rock textures, *J. sedim. Petrol.*, 57, 967-975.

Supko P. R., 1977. Subsurface dolomites, San Salvador, *Bahamas Journal of Sedimentary Research* 47: 1063-1077.

## Semblanza de los autores

### Jonás García Carmona

Master Eficiencia y Mercados Energéticos por el Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos, Zaragoza, España. Ingeniero en Geociencias, con 13 años de experiencia en flujos de trabajo de caracterización de yacimientos tanto en exploración como producción. Como grupo multidisciplinario logró reconocimiento por la mayor incorporación de reservas obtenidas y el descubrimiento de campos de crudo extrapesado en la Región Marina Noreste, año 2008. Actualmente está enfocado al análisis integral de estudios geológicos especiales y propuestas eficientes de desarrollo de campos para el Activo de Producción Ku Maloob Zaap.

### María de Jesús Correa López

Ingeniera Petrolera con 17 años de experiencia; Superintendente del grupo de caracterización yacimientos del Activo de producción Ku Maloob Zaap. Es responsable del cálculo de volumen de reservas, interpretación sísmica y modelado geológico. Actualmente es Líder del desarrollo de campos a través de la caracterización integral de yacimientos en los campos Ku Maloob Zaap.

### Romeo Antonio Rojas Figueroa

Ingeniero Petrolero trabajando para Pemex desde 1990. Fue responsable del estudio integral del campo Nohoch, participó en el proyecto de implementación BEC (bombeo electrocentrífugo), en el Activo Ek-Balam. Cuenta con Master en Ingeniería Petrolera por la Universidad Autónoma de México. Desde 2009 al presente ha sido responsable del Grupo de especialistas técnicos de diseño de proyectos del Activo de Producción Ku Maloob Zaap. Ha publicado artículos sobre transporte de hidrocarburos, bombeo electrocentrífugo, optimización de bombeo neumático, terminaciones inteligentes y gestión integrada de yacimientos.



### **Ricardo Martínez Ibarra**

Doctor en Petrología y Geoquímica por la Universidad Nacional Autónoma de México. Consultor independiente en diagénesis de carbonatos. Especialista en petrografía avanzada, geoquímica inorgánica e inclusiones fluidas. Con más de 20 años de experiencia ha laborado como investigador en el instituto Mexicano del Petróleo, donde implementó metodologías y técnicas para estudios diagenéticos. Desde 2007, como consultor independiente ha desarrollado proyectos sobre diagénesis relacionados a la evolución de porosidad y dolomitización en algunos yacimientos de la Región Marina. Ha participado en numerosos congresos y es autor y colaborador de artículos científicos.