

CARACTERIZACIÓN DE DISCORDANCIAS UTILIZANDO PROPIEDADES MAGNETICAS Y DIELECTRICAS DE ROCAS SEDIMENTARIAS: CASO TIPO CONTACTO CHIMANA/QUERECUAL


J.L.Gago 1*, V. Constanzo-Alvarez 1, M. Aldana 1, n. Suarez 2, W. Williams 3.

1 Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad Simón Bolívar, Aptdo. 89000, Sartenejas, Edo. Miranda, Venezuela.

2 Dpto. física, Universidad Simon Bolívar, Sartenejas, Edo. Miranda, Venezuela.


3 Department of Geology and geophysics, University of Edinburgh, Edinburgh, U.K.

Resumen



En este trabajo se presentan los resultados de estudios de propiedades dieléctricas y magnéticas en rocas sedimentarias las cuales están ubicadas en estratos cercanos al contacto litológica Chimana/Querecual (Cantera de Pertigalete). La evidencia magnética sugiere que este contacto debió actuar como un foco de alteración hidrotermal y consecuentemente se produjeron remagnetizaciones en los estratos adyacentes. Las anomalías en las magnetizaciones remanentes naturales (MRNs) estables, para las proximidades de la transición formacional, revelan la presencia de materiales magnéticos secundarios tales como magnetita y/o pirrotita. Los experimentos de desmagnetizaciones termales de IRMs compuestos parecen sugerir que la presencia de hematita es también condicionada por el contacto litológico en muchos de los sitios analizados (ej.: CHO, CH2, QC1 Y QC2). Las técnicas de corrientes de depolarización térmicamente estimuladas (TSDC) se usa aquí para caracterizar dialécticamente el contacto. El espectro complejo de TSDC, obtenido en el rango de temperaturas de 77 a 230 K para las muestras en estudios, señala una notable diferencia entre las rocas de Chimana (CH) y las de Querecual (QC). Tratamientos de secado y de rehidratación indican que todo el espectro de despolarización es causado principalmente por la humedad atrapada en la microporosidad del material. El espectro, separado utilizando el método de análisis espectral directo (DSA), muestra la presencia de cuatro picos solapados. los resultados de TSDC indican un cambio progresivo en el cambio de energía de relación con la litología para las cuatro relajaciones. Esta variación, debida al cambio en el entorno que ven los dipolos de agua ligados por enlaces de hidrogeno a sitios distintos del material, se observa en las mismas litologías en las que se reportaron las anomalías magnéticas. Es importante resaltar que los análisis magnéticos de las rocas y la técnica del TSDC pueden ser usados con un éxito como métodos alternativos de caracterización de litologías y continuidades estratigráficas en secuencias sedimentarias.

Abstract



Rock magnetic and dielectric studies have been performed to physically characterize and contact Chimana/Querecual (Pertigalete). By integrating mifold rock magnetic evidence we argue that this contact has acting as a major of hidrotermal alteration and consequent remagnetizations in the adjacent strata. Anomalies of susceptibility and total NRM values, at the surroundings of the unconformity, revel the dominate presence of the secondary magnetic minerals (i.e. hematite). Moreover, thermal demagnetization of composite IRMs suggests that the presence of hematite is also conditioned by the lithological contact (i.e. CHO, CH2, QC1 and QC2). Thermally Stimulated Depolarization Current (TSDC) technique is used here to dielectrically characterize the formational contact. The complex spectra obtained in the temperature range 77 to 230 K for samples studied indicate a straight between Chimana and Querecual samples. Drying and rehydration treatments performed on this samples indicate that the whole depolarization spectrum is mainly due to moisture on the microporosity of the material. The board spectra, separated by using direct signal analysis, show the presence of four overlappings peaks. TSDC indicate progressive change in the mean re-orientation energy of the water dipoles hydrogen-bonded to different sites in the materials, are observed for the same lithologies where magneties anomalies have been reported. According to these preliminary results it is important to emphasize that rock magnetic analyses and TSDC technique can be successfully used as an alternative means or characterizing lithologies and stratigrafic discontinuities.

Introducción

En los últimos años el grupo de paleomagnetización y rocas de la Universidad Simón Bolívar ha venido realizando estudios magnetoestratigráficos en diferentes secuencias sedimentarias Cretáceas Y Paleógenas en el norte de Venezuela (Willians et. al., 1996). Uno de los resultados más interesantes obtenidos hasta el momento es la detección sistemática de una serie de revestimientos cortos del campo geomagnético en los estratos Albiense/Cenomanianes adyacentes al contacto formacional Chimana/Querecual (figura 1).

Sin embargo, la posibilidad de estar observando desmagnetizaciones relacionadas con efectos diagenéticos, en vez de revestimientos reales del campo geomagnético en el supercron normal del Cretáceo, requiere una cuidadosa verificación ulterior. De hecho, parece que las discontinuidades estratigráficas, contenidas en la transición Chimana/Querecual, estuviesen actuando con pequeños focos de alteración acompañados de sus consecuentes cambios químicos y remagnetizaciones. Basándonos en estos efectos de alteración local proponemos aquí un método alternativo de caracterizaciones litológicas mediante el estudio dual de las propiedades dieléctricas y magnéticas de rocas sedimentarias, lo que permitiría un cuidadoso monitoreo de los eventos de alteración tardíos, así como de sus efectos puntuales, sobre los MRNs primarios.

Este tipo de estudios parecer ser útil en la definición de los límites entre diferentes ambientes desposicionales, además de permitir la identificación del hiatus, diasistemas o cualquier otro tipo de discontinuidades dentro de la secuencia estratigráfica precisos muy útiles en la correlación de secuencias distantes. Esta última aplicación reviste un especial interés en el estudio del Cretáceo y el Paleógeno en Venezuela, en donde existen grandes lagunas estratigráficas que aun no han sido completamente tipificadas por análisis convencionales de geoquímica, bioestratigrafía, magnetoestratigrafía y/o litoestratigrafía.

En este trabajo, el problema de contacto formacional entre Chimana y Querecual se presenta como un ejemplo para ilustrar el material del método propuesto. Los gráficos MRN y los análisis de las curvas de desmagnetización térmica de IRNs compuestos se comparan con los resultados de los estudios de corrientes estimulada térmicamente (TSDC).

La técnica de TSDC es muy sencilla para el estudio de relajaciones dieléctricas de un material que contiene entes polarizables. Este método ha sido ampliamente usado en la caracterización de sistemas heterogéneos como cristales iónicos, polímeros, sólidos finamente divididos y macromoléculas de carbón. Sin embargo, esta es la primera vez que se aplica a un problema geológico.

Caracterizaciones geológicas y tomas de muestras alrededor de un contacto formacional

Para este trabajo se tomó un promedio de 6 muestras por horizonte sedimentario (15 Horizontes) en un afloramiento localizado en la cantera de cemento de Pertigalete, en el noreste de Venezuela (figura 2). Cada horizonte sedimentario es considerado como un sitio y en muchos casos la distancia entre dos sitios adyacentes no es mayor de 3 metros (tabla 1). El muestreo se centró en las proximidades de la línea media en la zona transicional entre las formaciones de Chimana y Querecual.

Entre las formaciones de Pertigalete los sedimentos de Chimana forman capas de 20 a 40cm de espesor y están compuestas principalmente por arcénicas y lutitas que pasan gradualmente a ser calizas micríticas típicas de la formación Querecual, es decir rocas grises oscuras con alguna laminación y un ligero olor fétido. Las arcénicas lutitas de Chimana pertenecen a un ambiente de deposición de costero a nerítico ligero (granos de gruesos sedimentos moderadamente escogidos). El color de estas rocas varía de amarillo a rojo intenso.

La transición entre Chimana y Querecual abarca unos 6 metros de la secuencia sedimentaria y esta caracterizada por un cambio progresivo de color, del crecimiento del tamaño promedio de grano y disminución del cuarzo contenido del cuarzo detrítico. Es importante destacar que la formación de Querecual se depositó en un ambiente anóxico que contrasta con las condiciones oxigenadas de sedimentos de Chimana.

Tres muestras de la formación Querecual (QC1, QC2 y QC4) se usaron para análisis bioestratigráficos, debido a la presencia relativa de la *Biticinalla subbreggeiensis* (Andrés Pilloud, Martha Carrillo y William Slitter, comunicación personal) en los sitios QC1 y QC2 se puede asumir que estos sedimentos se depositaron entre el Albiense medio y tardío ya que QC4 tiene una edad estimada en el Albiense medio.

Caracterización magnética de un contacto formacional.

Gráfico MRN



En la figura 3, se graficaron con respecto al nivel estratigráfico, las magnitudes promedio por sitio de las magnetizaciones estables (cambios destructivos medios y temperaturas de desbloqueo por encima de las 20 mT y los 400oC respectivamente) junto con las corrientes desviaciones estándar.

Las anomalías en los valores promedio de MRN, observada en los sitios cercanos al contacto inferido, sugiere la interferencia de una concentración conspicua magnética y/o pirrotita. Estos dos minerales son estables en condiciones reductoras y pueden ser evento de alteración tardía que se focalizó en las discontinuidades estratigráficas de la transición formacional.

Las anomalías en las desviaciones estándar, para las adyacencias del contacto (figura 3), también se puede explicar como consecuencia cambios químicos que afectaron a los minerales magnéticos primarios. Es decir la diversidad de fases magnética (granulometria y mineralogía) debe incrementarse en aquellos sitios en que la alteración es mas pronunciada.

Ya que la formación de Querecual se deposito en un ambiente marino profundo y en condiciones anóxicas se puede argumentar que la magnetita, en este contacto, data de los tiempos en el que Querecual comenzó a desarrollarse sobre el tope de Chimana (Albiense Superior). Sin embargo, debida a la compleja historia geológica de múltiples y alternantes ambientes anóxicos y oxidantes que pudieron haber reactivado el contacto, es bastante difícil pensar en la hematita (inestable en condiciones anóxicas) y/o la magnetita (inestable en condiciones oxidantes) primarias hayan podido preservarse desde el momento de su depositación hasta la actualidad.

| HORIZONTE | NIVEL ESTRATIGRÁFICO |
|-----------------|----------------------|
| QC9 | 19.07 m |
| QC8 | 16.84 m |
| QC7 | 16.34 m |
| QC6 | 11.87 m |
| QC5 | 8.82 m |
| QC4 | 6.90 m |
| QC3 | 3.85 m |
| QC2 | 3.35 m |
| QC1 | 2.35 m |
| CONTACTO | |
| CH0 | -1.16 m |
| CH1 | -2.18 m |
| CH2 | -3.60 m |
| CH3 | -9.37 m |
| CH4 | -10.87 m |
| CH5 | -12.37 m |

Tabla 1 – Esquema de muestreo

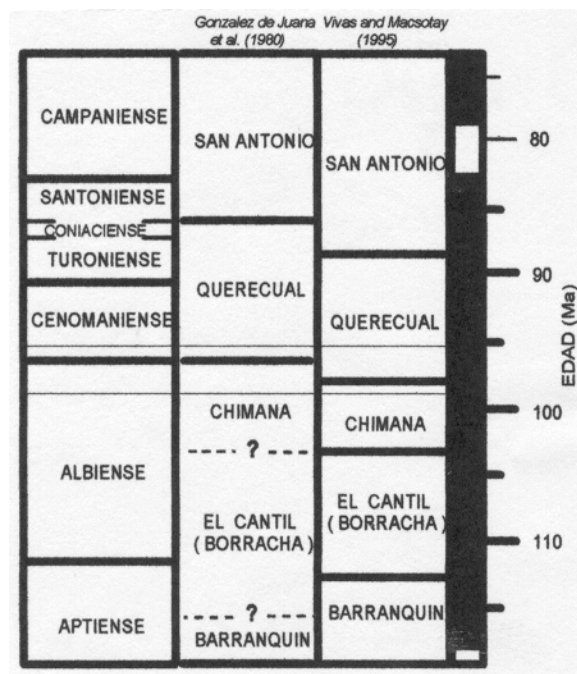


Figura 1. Columnas estratigráficas de; Cretáceo medio y superior para la sección sedimentaria de Pertigalete (González de Juana et al., 1980 y Vivas y Macsotay, 1995) comparadas con la escala de revertimientos del campo geomagnético (Harland et al., 1990).

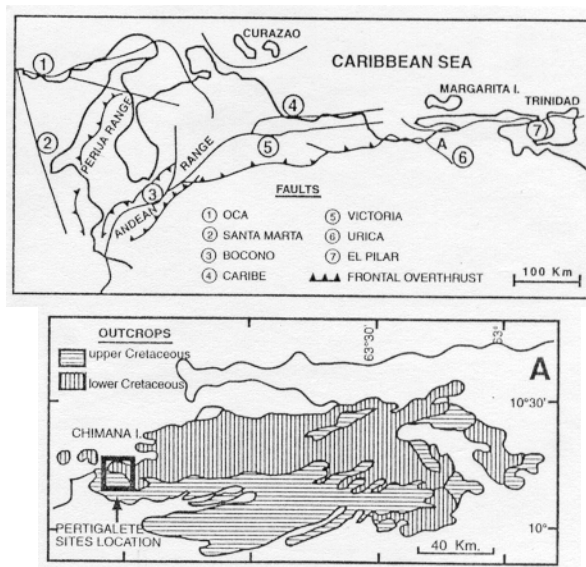


Figura 2. Mapa estructural del norte de Venezuela mostrando la ubicación de la secuencia sedimentaria de Pertigalete. Además vista cercana del estudio mostrando las regiones con afloramientos del Cretáceo inferior y superior.

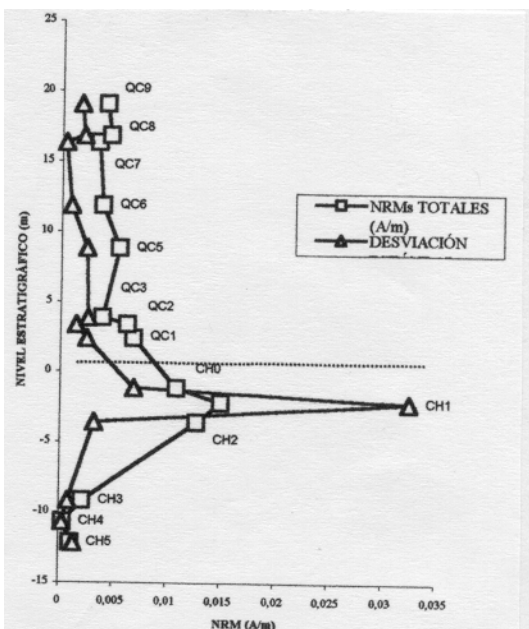


Figura 3. Magnitudes de las magnetizaciones remanentes naturales estables ($H_c > 20$ mT and $T_b > 400$ oC) promediados por sitios y graficadas con respecto al nivel estratigráfico. Se muestra también sus respectivas desviaciones estándar.

Desmagnetización termal de IRM compuestos.

Para identificar con mayor detalle las principales fases magnéticas presentes en estas rocas así como la forma en que su existencia esta condicionada por el contacto, se llevaron a cabo desmagnetizaciones escalonadas de IRMs compuestos. En estos experimentos los IRMs fueron conducidos a lo largo de los ejes X (0.12 T), Y (0.4 T) y Z (1.24 T) de muestras cilíndricas de rocas con dimensiones de 1,5 x 1,5 cm (Lowrie, 1990). Para poder comparar los resultados entre dos sitios diferentes, dentro de una misma formación, los valores de los IRMs se valorizaron al mayor valor inicial de IRM.

En el eje Z (1.24 T), paralelo a las muestras de simetría de las muestras cilíndricas, la goetita ($H_c > 1.24$ T y $T_b > 600$ oC). Es particularmente notable que para los sitios QC1 y QC2, los cuales están mas cerca del contacto inferido, los valores del IRM correspondientes a los minerales magnéticos de alta coercividad (i.e.) goetita y hematita) aparezcan en elevadas proporciones, lo que implica que de alguna manera el contacto ha condicionado la presencia de esos minerales en estos sitios específicos.

Se puede llegar a una conclusión similar en el caso de Chimana. De hecho, en la curvas de desmagnetización termal de IRM normalizado, inducido a lo largo del eje Z (1.24 T), la hematita parece ser una fase magnética presente en proporciones significativas (figura 4b). Es importante apuntar que para aquellos sitios CH2 (y menos notable para CH0), cercanos al contacto, los valores de IRM son especialmente prominentes comparados con el resto de los sitios.

Caracterización dieléctrica de un contacto formacional

Técnicas de Corrientes de Despolarización Térmicamente Estimuladas (TSDC)

El método de TSDC (Bucci y Fieschi, 1964) ofrece una poderosa técnica dieléctrica para detectar la relajación de las entidades dipolares presentes en un material. Esta técnica estudia la variación de la corriente de despolarización de una muestra previamente polarizada a una temperatura T_p lo suficientemente alta como para permitir la orientación de las diferentes especies dipolares a ser estudiadas. La polarización que se consigue al aplicar a un campo eléctrico externo constante, E_p , se congela a temperatura de nitrógeno líquido, de forma tal que mantiene la condición perturbada después de que se apaga el campo. Posteriormente, se calienta a una velocidad constante, b , de manera que el material regrese a su estado de equilibrio. Durante este retorno se genera en el material estudiado corrientes inducidas por la desorientación de los dipolos eléctricos. El proceso de relajación de cada entidad dipolar produce un pico de corriente en el espectro de despolarización. Las condiciones de excitación experimental pueden variarse ampliamente, permitiendo la separación de cada proceso y minimizando así la influencia de los pocos vecinos. La posibilidad de separar experimentalmente cada proceso es muy útil en el estudio de los materiales complejos, dado que en el espectro dieléctrico en estos casos esta generalmente compuesto de bandas anchas resultantes del



soplamiento de varios procesos. la información derivada de los análisis de las curvas de TSDC es el numero de la diferente entidades que se están desorientando, sus tiempos de relajación t , y la abundancia relativa de cada especie (si se conocen sus momentos dipolares).

Los experimentos se llevan a cabo en una celda de alto vacío en donde la muestra se coloca entre los dos electrodos de metal. Los electrodos de bloqueo se obtienen intercalando un par de discos de zafiro de 19mm de diámetro y 0.216mm de ancho. La celda se llena, bien se con hidrogeno gas para el proceso de polarización, o con helio como gas de intercambio para el calentamiento. Se establece una diferencia de potencial de 1500 V entre ambos electrodo. Un eletrómetro (Cary 401M) se usa para medir la corriente de depolarización como función de la temperatura; esta se incrementa a una razón constante (usualmente 0.1 K/s). La sensibilidad de nuestro sistema de medición de corriente es de 10^{-17} A y la relación señal ruido es mayor que 500.

La expresión para la densidad de corriente $J_p(T)$ de una relajación de Debye pura (Bucci y Fieschi, 1964), puede ser descrita por la relación

$$J_D(T) = \frac{P_0}{\tau(T)} \exp \left[-\frac{1}{b} \int_{T_0}^T \frac{dT'}{\tau(T')} \right] \quad (1)$$

donde P_0 es la polarización total. El tiempo de relajación $t(T)$ obedece, para este rango de temperaturas, una dependencia tipo Arrhenius

$$\tau(T) = \tau_0 \exp(E/kT) \quad (2)$$



en donde τ_0 es el factor inverso de la frecuencia y E es la energía de reorientación característica del proceso.

En un experimento de TSDC, el espectro obtenido esta compuesto por varios picos solapados y no monoenergéticos, los cuales no pueden ser descritos por la ecuación 1. El espectro complejo se puede modelar como la suma de n procesos de Debye descritos por

$$J_D(T_j) = \sum_{i=1}^N \frac{P_{0i}}{\tau_i(T_j)} \exp \left[-\frac{1}{b} \int_{T_0}^T \frac{dT'}{\tau_i(T')} \right], (j = 1, m), (N \leq m) \quad (3)$$

Cada proceso de Debye esta caracterizado por un $t_i(T_j)$ y por una polarización P_{0i} .

Con el fin de analizar las curvas TSDC, se aplico el método de Análisis Espectral Directo (DSA) (Aldana et al., 1994). Este método consiste en encontrar las N curvas elementales que mejor ajusten el espectro TSDC. el resultado del ajuste son las contribuciones P_{0i} , junto con sus correspondientes t_i . La ventaja de este método es que no supone a priori la forma de las funciones de distribución en E o τ_0 , ni en el numero de los procesos de relajación que conforman el espectro complejo.



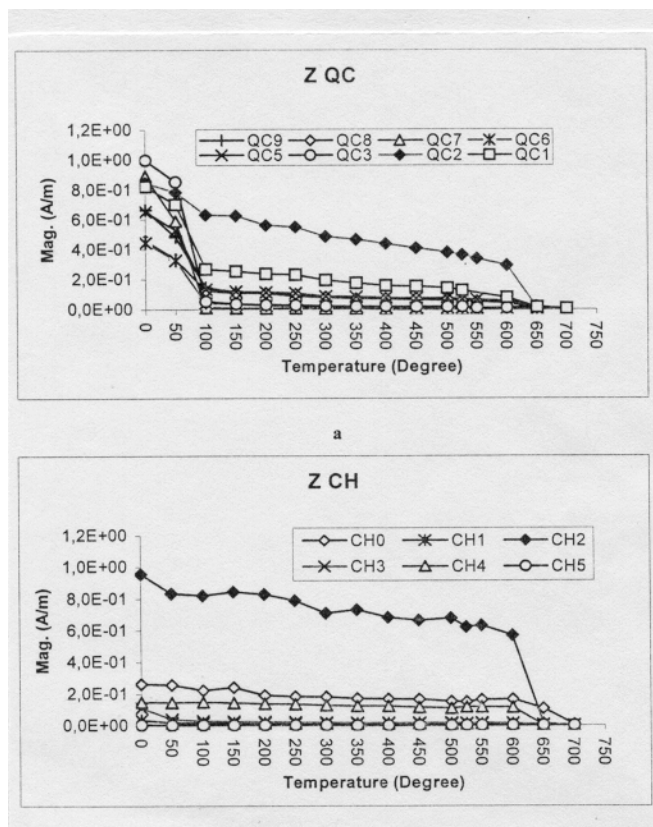


Figura 4.- Desmagnetización progresiva por pasos de los IRMs normalizados los cuales han sido inducidos usando un campo magnético de 1.24T a lo largo del eje de simetría de las muestra cilíndricas de roca para: (a) Querecual y (b) Chimana.

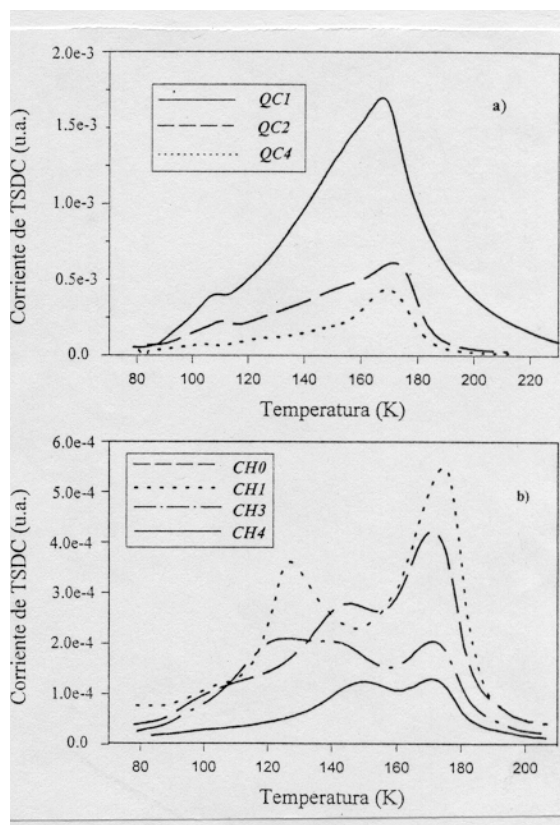


Figura 5.- a) Espectro de TSDC para las muestras de formación Querecual. b) Espectro de TSDC para las muestras de la formación Chimana. $T_p = 172$ K. Todos los espectros han sido normalizados a la misma área de muestra y campo aplicado.



Resultados de TSDC



La polarización previa de las muestras, a temperatura ambiente, mostró un espectro dieléctrico complejo. La región baja de temperatura (77 a 230 K), se seleccionó para caracterizar las muestras, aplicando para ello el campo a una temperatura de 172 K.

Los experimentos de TSDC se realizaron en cuatro muestras CH (formación Chimana) y tres QC (formación Querecual). La figura 5 se presenta en el espectro de TSDC para QC (a) y CH (b) después de calentar las muestras a 345 K y de un día de secado al vacío a temperatura ambiente. Se observa aquí un amplio espectro para todas las muestras, pudiéndose inferir la presencia de al menos tres procesos principales de depolarización. Para la serie QC la polarización total, representada por el área bajo la curva, se incrementa a medida de que nos acercamos al contacto Chimana/Querecual. Para la serie CH se observa la misma tendencia, excepto para CHO. Se observa también una notable diferencia entre los espectros correspondientes a ambas litologías. La proporción relativa del pico alrededor de 170 K es mayor en la serie QC.

Se realizaron también tratamientos de secado y de rehidratación de estas muestras. Las muestras fueron rehidratadas, saturándolas en agua a temperatura ambiente y fueron secadas desgasificándolas en la celda de alto vacío, progresivamente y a temperatura ambiente. La figura 6 muestra el resultado de estos tratamientos para una de las muestras (CH4). Como se observa, la rehidratación incrementa la intensidad de las curvas, mientras que con la rehidratación se ve el efecto inverso. Estos resultados indican que la totalidad del espectro de depolarización se debe, principalmente, a la humedad atrapada en la microporosidad del material.



Los análisis de DSA realizados en los espectros de la figura 5, indican la existencia de cuatro procesos de relajación principales. Estos procesos se identifican como A, B, C y D de acuerdo a la temperatura media de 110, 120, 150 y 170 K, respectivamente. La figura 7, muestra los resultados del análisis de DSA para QC2. El resultado del mejor ajuste al espectro experimental está representado en la figura 7a por la línea continua. La figura 7b es el histograma de energía resultante de las contribuciones de cada pico de Debye. Del histograma queda claro la existencia de varios procesos solapados. Si se supone un perfil Gaussiano para la distribución de energía de cada uno de ellos, se pueden detectar cuatro relajaciones. La figura 7c representa la variación de τ asociada con cada pico elemental.

La figura 8 muestra, como función del nivel estratigráfico, los valores medio de energía ajustada, obtenidos para los cuatro procesos identificados, junto con los resultados de los MRN estables promediados por sitio.

El rango de energía que se observa en los diferentes procesos identificados permite la asignación tentativa de las entidades dipolares responsables de cada relajación. Los valores de la energía de activación para el pico A son similares a los obtenidos en estudios previos, en muestras de carbón (Suarez et al., 1993), para agua ligada por enlaces de hidrógeno a grupos hidroxilos aislados. Los rangos de energía para los picos B y C están en concordancia con los resultados previos reportados en el sílice (Ehrburger y Donnet, 1979), en donde relajaciones similares fueron atribuidas a la polarización de moléculas de agua absorbidas en grupos OH. Como se puede ver en la figura 8 los valores medio de energía de los procesos A, B y C se incrementan a medida de que nos aproximamos a la zona de contacto. Estos cambios pueden relacionarse con transiciones graduales entre ambas litologías (principalmente arsenicas para la formación Chimana y calizas para la formación de Querecual). De hecho, en la concentración de los grupos hidroxilo a medida que nos acercamos a la zona de contacto, debe influenciar la intensidad de los enlaces de hidrógeno de las moléculas de agua. El rango de energía del pico más prominente (D), comparado con el obtenido en policarbonatos derivados de tirosina (Suarez et al., 1997) y poliarilatos derivados de la tirosina (Suarez et al., 1998), indican que esta polarización pudo originarse por el movimiento de los dipolos de agua ligados por enlaces de hidrógeno a grupos carbonilos. El incremento en la concentración de grupos carbonilos, puede explicar el incremento en la proporción relativa del pico D en la serie QC.



La figura 8 muestra una buena correspondencia entre los resultados obtenidos con los perfiles de MRN y TSDC. De hecho, los cambios significativos en la energía y en la magnetización se observan en la misma zona litológica.

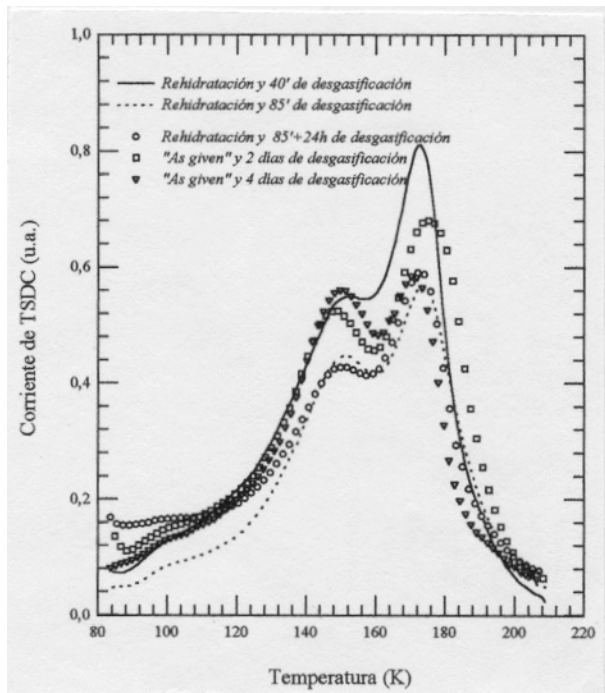


Figura 6.- Tratamientos de secado y rehidratación aplicados a la muestra CH4

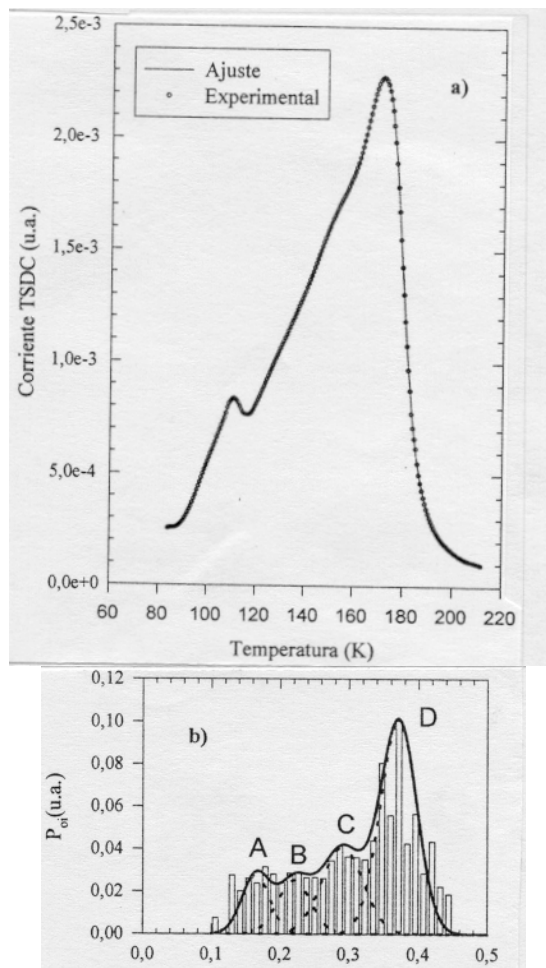


Figura 7.- Análisis de DSA para el espectro de relajación de baja temperatura de la muestra QC2 a) Curvas: experimental y ajustada. b) Histograma de energía mostrando la contribución a la polarización de cada proceso elemental. Las líneas segmentadas son los perfiles Gaussianos que pueden ajustarse al histograma. La línea continua

representa la suma de líneas segmentadas. c) Variación de los τ ajustados para cada proceso de Debye como función de energía.

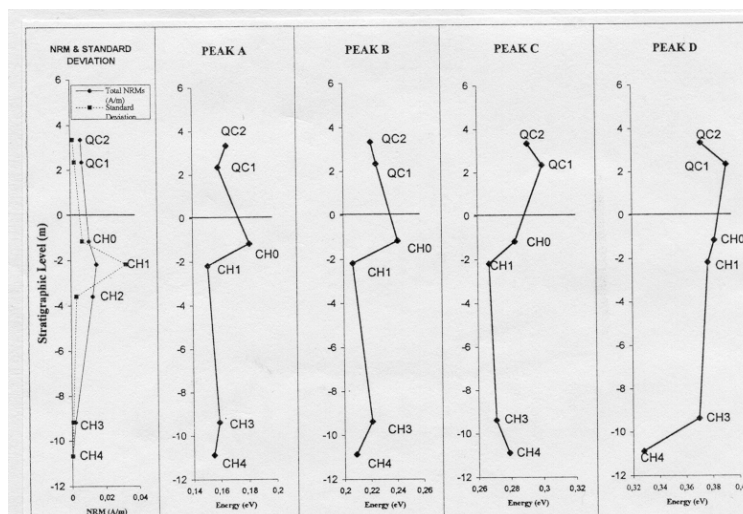


Figura 8.- Variación de la energía media de reorientación obtenida para los cuatro procesos de relajación comparados con los resultados de MRN y graficados con respecto al nivel estratigráfico.

Conclusiones

Los análisis de magnetismo de rocas de las muestras de Chimana y Querecual parecen indicar que la presencia de pirrotita, magnetita, goetita y hematita esta condicionada por el contacto inferido entre estas dos formaciones. De esta forma, el contacto debe de haber actuado como conducto para la circulación de fluidos, creando una aureola termoquímica en los estratos adyacentes que han afectado las mineralogía magnéticas primarias.

Se puede argumentar que la magnetita y pirrotita son secundarias y el resultado de la reducción de la hematita.

Los resultados de TSDC muestran un cambio progresivo en la energía media de reorientación de los dipolos de agua con la litología. Esta variación, debida al cambio en el entorno que ven los dipolos de agua por los enlaces de hidrogeno a diferentes sitios en el material, se observa en las misma litologías en donde se reportan las anomalías magnéticas.

De acuerdo con estos resultado preliminares es importante enfatizar que los análisis de magnetismo de rocas y la técnica de TSDC, ambos métodos basados en las propiedades físicas de los materiales completamente distintas, pueden ser utilizados exitosamente como vías sensibles y alternativas para caracterizar litologías y discontinuidades estratigráficas.

Agradecimientos

Queremos agradecer a: Andrés Pilloud (INTEVEP S.A.), Amarilis de Calzadilla (Vencemos, Pto. La Cruz), Martha Carrillo (INTEVEP S.A.), Iraida Paredes de Ramos (INTEVEP S.A.), Humberto Carvajal Chitty (INTEVEP S.A.), Eladio Gago, Oscar Mirón Valdespino (BPX Venezuela), MC Brandt (Veritas Seismics), Adrián Perarnau (Western Atlas), y W.V Slitter (US Geological Survey) por su entusiasta colaboración en las diferentes tapas de este proyecto, especialmente en el campo de análisis bioestratigráficos. Este trabajo ha sido financiado por: The Brithish Council, Decanato de Investigaciones de la Universidad Simón Bolívar y Scottish Research Fund a W.W.

Referencias

Aldana, M., Laredo, E., Bello, A., and Suarez, N., Direct Signal Analysis Plied to the Determination of the Relaxation Parametres From TSDC Spectra of the Polymers, *J.Polym.Sci B*, 2197-2206, 1994.

Bucci, C. and Fieschi, R., Ionic Thermoconductivity. Metodo for the Investigation of the Polarization in the Insulators, *Phys. Rev. Lett.* 12, 16-19, 1964.

Ehrbunger, F. and Donnet, J., Thermally Stimulated Depolarization (TSD) currents in absorbed phases on silica, *J.*



Appl. Phys. 50 (3), 1478-1485, 1979.

Gallango, O. and Parnaud, F., Two-Dimensional Computer Modeling of the Oil Generation and migration in a Transect of the Eastern Venezuela Basin, in A.J. Tankard, R. Suarez and H.J. Welsik, Petroleum Basins of South America, *AAPG Memoir* 62, 727-740, 1995.

Gonzalez de Juana, C., Iturralde de Azorena, J.M., and Picard, C., *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*, Foninves, Caracas, Venezuela, 1980.

Harland, W.B., Armstrong R.L., Cox, A.V., Craig, L.E., Smith, A.G., and Smith, D.G., *A Geologic Time Scale 1989*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 236 pp, 1990.

Lowrie, W., Identification of the ferromagnetic minerals in a rock by coercivity and unblocking temperatures propietaires. *Geophys. Res. Lett.*, 17, 2, 159-162, 1990.

Suarez, N., Laredo, E., and Naza, R., Characterization of four hydrophilic sites in bituminous coal by ionic thermal currents measurements, *Fuel* 72, 13-18, 1993.

Suarez, N., Laredo, E., Bello, A., and Kohn, J., molecular Relaxation Mechanims of Tyrosine- Derived Polycarbonates by Thermally Simulated Deporalizations Currents, *J. Appl. Polym. Sc.* 63, 1457-1466, 1997.

Suarez, N., Broccini, S and Kohn, J., The Study of the Water Uptake in Degradable Polymers by Thermally Stimulated Depolarization Currents, *J. Bio. Mat. Res.*, 1998, In Press.

Talukdar S., Gallango, O., and Ruggiero A., Generation and Migration of Oil in the Maturin Subbasin, Eastern Venezuela Basin. *Org. Geochem.*, 13, 1-3, 537-547, 1998.