

REINTERPRETACIÓN CUANTITATIVA DE DIAGRAFÍAS GEOFÍSICAS EN EL POZO CENTENERA 2

Dennis Rivadeneira ⁽¹⁾, Gastón Proaño Cadena ⁽²⁾
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra ⁽¹⁾⁽²⁾
Departamento de Ingeniería Geológica ⁽¹⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral ⁽¹⁾⁽²⁾
Universidad Politécnica de Madrid ⁽¹⁾
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863, Guayaquil-Ecuador ⁽¹⁾⁽²⁾
Calle Ríos Rosas, 21. 28003 Madrid-España ⁽¹⁾
rivadeneira_dennis@hotmail.com ⁽¹⁾, gproano@espol.edu.ec ⁽²⁾

Resumen

El presente proyecto tiene por objeto reinterpretar las diagráfias del sondeo Centenera 2, enfocándose principalmente en la mejora de la interpretación de porosidades y otras características presentes en las formaciones. Para cumplir dicho objetivo se desarrolla una metodología, la misma que será aplicable a estudios similares, especialmente cuando se trate de diagráfias de sondeos antiguos. La metodología comienza con un proceso que consiste en convertir las diagráfias originales en formato papel a formato digital para que puedan ser tratadas por computador. Las diagráfias digitalizadas son a continuación corregidas por efectos del sondeo (temperatura, diámetro del sondeo, densidad del lodo, etc.). Posteriormente se procede a interpretar de forma general el pozo, subdividiéndolo en varias zonas geológicamente distintas, para así poder escoger los tramos de mayor interés económico. Finalmente se realiza una interpretación cuantitativa de las formaciones, determinando las porosidades a partir de distintos métodos. Los datos obtenidos de la metodología, demostraron la existencia de formaciones potencialmente productoras de gas, las mismas que tiene porosidades mayores a las descritas por trabajos realizados en décadas pasadas

Palabras Claves: Sondeo Centenera 2, diagráfias, porosidad, interés económico, gas.

Abstract

The present project aims to reinterpret the Centenera 2 well logs, being focused mainly in the improvement of the interpretation of porosities and other characteristics present in the formations. In order to complete this objective, it has been developed a methodology that could be applicable to similar studies, especially when old well logs are studied. The methodology begins with a process that consists on transforming the original paper well logs into digital format well logs, so they can be treated by computer. Then, the digitized well logs are corrected for well effects (temperature, diameter, mud density, etc.). Later, a general interpretation of the well is made, subdividing it in several zones geologically different, for this way to choose more economic interest zones. Finally a quantitative interpretation of the formations is carried out, determining their porosities through different methods. The data obtained by the methodology, demonstrated the existence of formations potentially producers of gas, the same ones that have bigger porosities to those described by studies in past decades.

Key Words: Centenera 2 well logs, porosities, economic interest, gas

1. Introducción

Hoy en día uno de los pilares fundamentales de la economía de países tanto desarrollados como subdesarrollados es la energía.

Los principales elementos naturales para la producción de energía son los hidrocarburos donde se incluye al gas natural y al petróleo, ya que a partir de ellos se puede generar energía eléctrica, mecánica, térmica, etc., útil para el desarrollo de un determinado país. Los hidrocarburos han demostrado ser un factor de desarrollo importante en países que cuentan con economías fuertes y poblaciones que gozan de buenas condiciones de vida. Lastimosamente existen países que carecen de reservas de petróleo y gas dependiendo en gran medida de los países exportadores de hidrocarburos. Uno de estos países es España.

En España actualmente el 20% de la producción eléctrica que se genera es de origen nuclear, el 10% es de energías renovables, carbón el 27%, gas natural el 27%, productos petrolíferos 8% e hidroeléctrica el 8%. Para lograr esta producción se importa prácticamente todo, es decir, la dependencia del exterior es enorme y los costes dependen de lo que los productores hagan, por otro lado los países productores no suelen ser especialmente estables.

Por ello encontrar yacimientos de petróleo y gas en el territorio español ha sido una labor que se ha llevado arduamente durante varias décadas. Uno de los principales recursos que se han buscado ha sido el gas natural habiéndose encontrado zonas de posible interés como es la cuenca de Graus-Tremp dentro de la gran Cuenca Surpirenaica de antepaís. Por ello estudios como el presente se consideran importantes ya que permiten determinar la posible existencia de yacimientos de hidrocarburos lo cual ayudaría en gran medida a incrementar las reservas energéticas del territorio español.

1.1 Metodología

El método de estudio se basa en el análisis de las diagrfías o registros eléctricos obtenidos a partir de la testificación geofísica en el sondeo de prospección de gas Centenera 2 (Provincia de Huesca-España), pretendiendo proponer mejoras en la interpretación de ciertos parámetros petrofísicos (porosidad, contenido en arcilla) y características (tipos de fluido) de las formaciones geológicas presentes.

1. Realizar el tratamiento de diagrfías
2. Efectuar el análisis geológico del sondeo Centenera 2 donde se intentará construir una macrocolumna geológica

3. Realizar la interpretación cuantitativa de la zona de interés

Los límites de este proyecto se establecen en la interpretación y posible determinación de formaciones potencialmente productoras de gas, pero no pretende caracterizarlas de manera muy precisa ya que para cumplir dicho objetivo se necesitaría mayor información de la disponible, así como el registro de parámetros geofísicos obtenidos a partir de dispositivos más modernos.

2. Antecedentes

2.1 Ubicación

Geográficamente, el sondeo Centenera 2, cuyas coordenadas geográficas son 42°17'33,5" Latitud/ 4°04'43,7" Longitud, se localiza dentro de la hoja topográfica y geológica de Graus (escala 1:50.000) alcanzando una profundidad total de 4291,7 m. Dicha hoja se halla en la vertiente sur del Pirineo central, en la parte septentrional de la provincia de Huesca al NE de España (Ver Fig. 2-1). Se lo implantó en la cima de un anticlinal definido por las campañas de sismica de reflexión existentes, al nivel del techo y de la base del Cretáceo. El nivel geológico de partida es el Eoceno del Luteciense hasta alcanzar parte del Trias plástico.

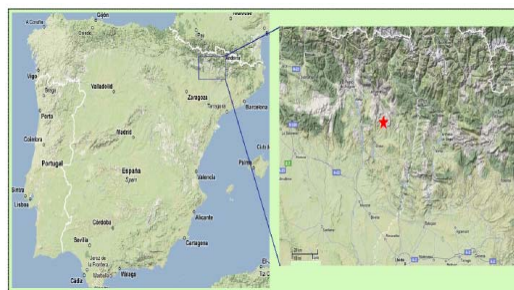


Fig. 2-1. Ubicación geográfica del sondeo centenera 2.

2.2 Diagrfías Del Sondeo Centenera 2

La testificación geofísica del sondeo Centenera 2 fue llevada a cabo por la empresa de servicios Schlumberger. Como se puede observar en la tabla 2-1, se registraron tres series de diagrfías con el principal fin de correlacionar con los sondeos vecinos y estudiar las formaciones de interés.

Tabla 2-1. Diagramas del sondeo Centenera

Operación N°	Tipo	De (m)	A (m)	Escala Técnica	Escala Profundidad
(1) Cota del sondista: 670 m	Laterolog 3 PS	25	670	Híbrida 0-100-∞ Ω·m Lineal 0-20 Ω·m 10 mV.	1/500
	Log Sónico	15	669,5	40-90-140 μs/m	1/500
	Calibrador	14	670,5	14"-24"-34"	1/500
(2) Cota del sondista: 2496 m	Laterolog 3 PS	669	2495,7	Híbrida 0-100-∞ Ω·m Lineal 0-20 Ω·m 10 mV.	1/500
	Sónico-Calibrador	669	2495,7	40-90-140 μs/m 8"-18"	1/500
	Gamma Ray-Neutrón	25	2496,4	0-80 API 0-1333-2666 API	1/500
	Microlaterolog	2180	2496,4	0,3-1-10-100-1000-3000 Ω·m	1/200
	Temperatura	1495	2377	53-63-73-83°C	1/500
(3) Cota del sondista: 2496 m	Laterolog 3 PS	2498	4263,5	Híbrida 0-100-∞ Ω·m Lineal 0-20 Ω·m/m² 10 mV.	1/500
	Sónico-Calibrador	2498	4263,5	40-90-140 μs/m 6"-16"	1/500
	Gamma Ray-Neutrón	2490	4262	0-80 API 400-1732-3065 API	1/500
	Microlaterolog	3800	4261	0,3-1-10-100-1000-3000 Ω·m	1/500
	Microcalibrador	3800	4261	6"-16"	1/500

Hasta la cota 4263.5 m el sondeo ha sido cubierto por un Laterolog 3-Potencial espontáneo, un Sonic-log-Calibrador y un Gamma-Ray Neutrón. La buzometría-desviación ha sido registrada de 4000 a 4263.5 m. El Microlaterolog ha cubierto las zonas comprendidas entre 2180 a 2496.4 m y 3800 a 4261m.

3. Contexto Geológico-Estructural de los Pirineos

Los Pirineos son una cadena montañosa situada al norte de la península Ibérica, la cual se extiende a lo largo de 415 km desde el mar Mediterráneo al este, hasta el mar Cantábrico al oeste.

Geológicamente, los Pirineos son un orógeno afectado por la orogenia hercínica (cadena pirenaica) y por la orogenia alpina, constituido por un núcleo paleozoico metamórfico (zona axial) como se puede observar en la figura 3-1.

A través del Cretácico inferior, donde tuvo inicio la etapa del rift atlántico, se generaron pequeñas cuencas de sedimentación somera. A partir del Aptiense se inició la apertura del Golfo de Vizcaya debido a un movimiento transcurrente entre la microplaca Ibérica y la placa Euroasiática, formando cuencas transtensivas durante el Albiense superior con sedimentación profunda. Estas cuencas se hacen más extensas a partir del Cenomaniense y el régimen distensivo perdura hasta el Santoniense.

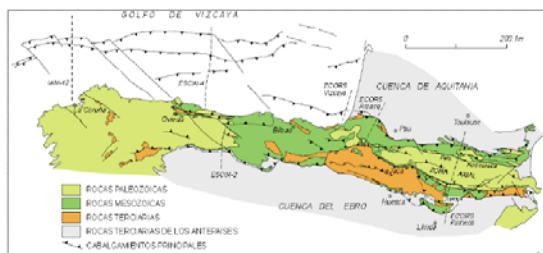


Fig. 3-1. Mapa Geológico de la cordillera Pirenaica

3.1 La Cuenca Surpirenaica

La cuenca de antepaís Surpirenaica estuvo fuertemente controlada por la inversión de las estructuras tectónicas distensivas originadas a través del Cretácico. La geometría de las láminas cabalgantes que implican a los materiales cretácicos, refleja parcialmente la disposición de las cuencas sedimentarias de esta edad y su emplazamiento condicionó la evolución y compartimentación de la cuenca eocena Surpirenaica. Concretamente, el emplazamiento durante el Eoceno inferior y medio de las láminas cabalgantes de Montsec-Cotiella que involucran materiales cretácicos, generó la compartimentación progresiva de la cuenca surpirenaica en dos sub-cuencas, la cuenca Surpirenaica oriental y la cuenca Surpirenaica central que a su vez se divide en tres subcuencas: Ager, Graus-Tremp y Jaca.

3.2 La Cuenca Surpirenaica Central

La cuenca Surpirenaica central se extiende desde la localidad de Tremp hasta el oeste de Pamplona, según un surco paralelo a la cadena pirenaica (figura 3-2). La parte oriental, conocida como cuenca de Tremp-Graus, contiene exclusivamente facies de plataforma mientras que la parte occidental conocida como cuenca de Jaca, contiene facies turbidíticas y plataformas carbonáticas en su margen distal. La transición entre ambas cuencas se sitúa en una zona de talud silicoclástico que coincide aproximadamente con el límite occidental de la unidad Surpirenaica Central. Las diferencias estratigráficas entre ambas sub-cuencas se deben a que durante gran parte de la sedimentación, la sub-cuenca de Tremp-Graus era transportada sobre la Unidad Surpirenaica Central.

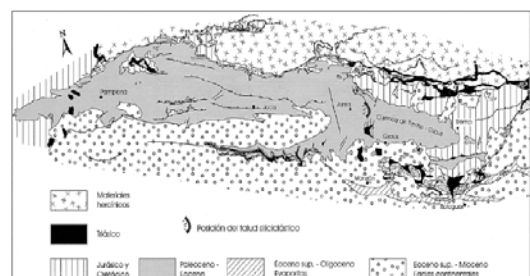


Fig. 3-2. Esquema Geológico de la Cuenca Surpirenaica Central

Como ya se mencionó en párrafos anteriores la cuenca Surpirenaica central se divide en tres sub-cuencas: Ager, Graus-Tremp y Jaca. El sondeo Centenera n°2, objeto de este proyecto, se localiza en la Cuenca Graus-Tremp.

3.3 Cuenca Grauss-Tremp

Los principales materiales estudiados se encuentran en la Cuenca Graus-Tremp representados en la figura 3-3, la cual constituye una cuenca de tipo “piggy-back” transportada sobre la unidad Surpirenaica central durante su sedimentación. Se sitúa entre las sierras Interiores y la sierra del Montsec. La sucesión se estructura en un amplio sinforme (sinclinal de Tremp), cuyo eje se orienta en dirección WNW-ESE, cuyos flancos están formados por materiales de edad cretácica y paleocena, mientras que el relleno corresponde al Eoceno, con espesor de más de 1.500 m.

Esta estructura se complica por la presencia de una serie de pliegues y cuatro familias de fallas normales cuya orientación predominante es NE-SW y E-W, éstas de carácter sintectónico.

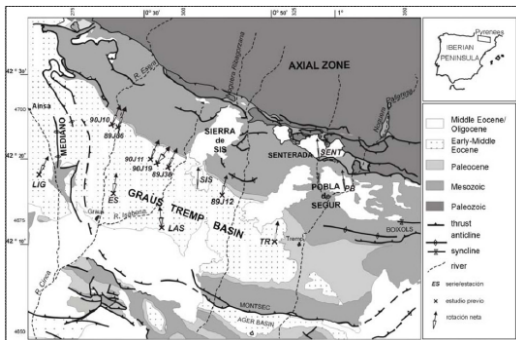


Fig. 3-3. Mapa Geológico simplificado de la Cuenca Graus-Tremp

3.4 Estratigrafía.

La estratigrafía de la Cuenca Graus-Tremp se conoce con mucho detalle, siendo la parte mejor estudiada de la cuenca Surpirenaica.

La primera secuencia comienza con la transgresión de la base del Ilardiense sobre las facies aluviales y palustres del Paleoceno. Se trata de facies de plataforma carbonática (rampa homoclinal), con tres horizontes principales de progradación, sobre las que se disponen facies silicoclásticas en onlap de procedencia septentrional.

La segunda secuencia representa un cambio importante en el modelo sedimentario de la cuenca Graus-Tremp con la generalización de la sedimentación silicoclástica. Ésta se caracteriza por un sistema aluvial agradante en el eje de la cuenca, discurriendo hacia el oeste según su dirección, que se encuentra alimentado y se interdigita con abanicos aluviales procedentes del margen orogénico.

La tercera y última secuencia sedimentaria viene acompañada de la última truncación erosiva importante reconocida, la de Formigales sobre la

que se depositaron en onlap, facies turbidíticas. Por el hecho de que la cuenca de Graus-Tremp se desplazó sobre la Unidad Surpirenaica Central mientras se hallaba en procesos de formación, es importante conocer la situación geológica-estructural de dicha unidad, para tener un mejor entendimiento de la distribución de los materiales sedimentarios en profundidad más allá del Terciario.

4. Tratamiento de las Diagrafías

Los procesos utilizados en el tratamiento de las diagrafías del sondeo Centenera 2 consisten en llevar los datos de las diagrafías originales que se encuentran en formato papel, a datos que sean útiles de cara a las correspondientes interpretaciones litológicas e interpretaciones cuantitativas.

La mayoría de las diagrafías geofísicas que se pueden medir en un sondeo. En el sondeo Centenera 2, se realizó el registro del diámetro a través de un dispositivo conocido como caliper o calibre, el cual proporciona los diámetros puntuales del sondeo a lo largo de la profundidad del mismo.

Otro parámetro importante que hay que destacar es la temperatura a lo largo del sondeo, ya que además de la información que proporciona en sí misma, es necesaria para la corrección de ciertos registros entre los que se puede resaltar a los valores de conductividad del lodo y las resistividades de las formaciones atravesadas durante la perforación. En el sondeo Centenera 2 sólo se registró la temperatura en el intervalo de 1495-2377 m.

Los valores de densidad y conductividad del lodo así como los valores del lodo filtrado, son necesarios para realizar correcciones en ciertos registros. En especial se utiliza la densidad del lodo para corregir el registro de gamma natural mientras que los valores de conductividad del lodo (y su filtrado) son necesarios fundamentalmente para la corrección e interpretación de las diagrafías eléctricas (potencial espontáneo, resistividad normal, resistividad lateral, registros focalizados, etc.).

En las cabeceras de todas las diagrafías del sondeo Centenera 2, se encuentran los valores de la densidad y conductividad del lodo así como la conductividad de su filtrado, por lo que no será indispensable realizar estimaciones.

4.1 Correcciones de las diagrafías

La corrección de las diagrafías consiste en un conjunto de procesos conceptuales y matemáticos que tiene como objetivo principal homogenizar cada registro a lo largo de todo el sondeo

intentando eliminar los efectos del mismo que afectan a las medidas, efectos que ya fueron descritos en párrafos anteriores. Dentro del proceso de tratamiento se incluye también la corrección de tendencias de algunas diagrafías

4.1.1 Corrección del registro gamma natural por densidad del lodo y diámetro del sondeo.

Las lecturas obtenidas de radiación natural gamma están apantalladas por la presencia del lodo de perforación entre las formaciones y la sonda, por lo que la atenuación de las emisiones es función del diámetro del sondeo y de la densidad del lodo. Para realizar la corrección de los registros gamma natural del sondeo Centenera 2 se va a utilizar la expresión de corrección detallada propuesta por Díaz Curiel [5]:

$$I_{medido} = I_0 \cdot \exp\left(-\mu\delta \frac{D-d}{2} \frac{D+d}{2D}\right) \cdot (1 + 0,97\mu\delta(\sqrt{D/d})^{1,26})$$

Donde:

I_{medido} : lecturas de emisividad medidas por la sonda

I_0 : valores reales de emisividad

μ : coeficiente de absorción másico

δ : densidad del lodo

D: diámetro del sondeo

Esta expresión se la formula en una hoja de Excel donde los datos de entrada son (tabla 4-1): los datos originales, el coeficiente de absorción másico, los datos de calibre puntual para cada profundidad, la densidad del lodo para cada etapa de registro y el diámetro de la sonda. Los datos de salida son los valores de Gamma natural corregido.

Tabla 4-1. Datos de entrada para la corrección del registro gamma natural.

Descripción del Dato	Valor
Densidad del lodo para el registro gamma natural desde 25 a 2496,4 m	1,11 gr/cm ³ -Bentonítico
Densidad del lodo para el registro gamma natural desde 2490 a 4262 m	1,17 gr/cm ³ -Bentonítico
Coefficiente de absorción másico	0,057 cm ⁻¹
Diámetro de la sonda utilizada	9,84 cm
Valores de radiación gamma original	Valores en anexo digital E
Valores de diámetro puntual	Valores en anexo digital E

Después de realizar esta corrección se obtiene un registro de radiación gamma natural homogenizado a lo largo de todo el sondeo como se puede observar en la figura 4-1 que representa al tramo desde 3400 a 3600 m, donde cuyos valores serán independientes del diámetro del sondeo y de la densidad del lodo de perforación utilizado.

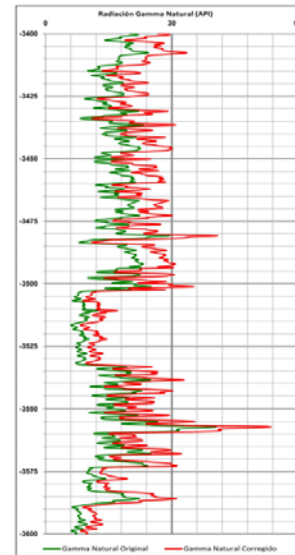


Fig. 4-1. Registro gamma natural original y corregido

4.1.2 Corrección del registro de resistividad laterolog 3.

Los dispositivos focalizados de resistividad como es el laterolog 3 proporcionan medidas que se encuentran afectadas por ciertos parámetros del sondeo como es el diámetro y la conductividad del lodo. Para corregir dichas medidas se han construido ábacos a partir de una serie de simulaciones matemáticas. Para corregir las diagrafías laterolog 3 del sondeo Centenera 2 se ha utilizado un ábaco de elaborado por la empresa Schlumberger [21]. los datos de entrada serán (tabla 4-2); los datos originales de resistividad para cada intervalo medido, el valor de la resistividad del lodo para mencionados intervalos, el diámetro puntual del sondeo correspondiente a cada tramo del sondeo. Los datos de salida serán los valores de resistividad corregida por efectos del sondeo.

Tabla 4-2. Datos de entrada para la corrección del registro laterolog 3

Descripción del Dato	Valor
Resistividad del lodo para el laterolog 3 desde 25 a 670 m	4,20 Ω·m a 18,8°C
Resistividad del lodo para el laterolog 3 desde 669 a 2495,7 m	6,24 Ω·m a 16,1°C
Resistividad del lodo para el laterolog 3 desde 2498 a 4263,5 m	0,34 Ω·m a 18,8°C
Valores de resistividad original	Valores en anexo digital E
Valores de diámetro puntual	Valores en anexo digital E

Después de realizar esta corrección se obtiene un registro de resistividad homogenizado a lo largo de todo el sondeo como se puede observar en la figura 4-2 donde se representa al tramo de resistividad laterolog original y corregido en el tramo de 700 m a 900 m, donde cuyos valores serán independientes del diámetro del sondeo y de la conductividad del lodo de perforación utilizado.

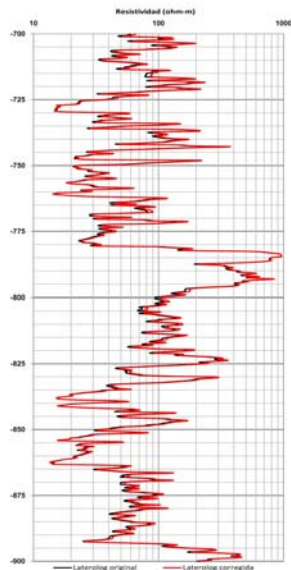


Fig. 4-2. Registro de resistividad original y corregida

4.1.3 Corrección del registro de potencial espontáneo. Algunos registros como el del potencial espontáneo o el de gamma natural, definen una línea al atravesar niveles impermeables, conocida como línea base de las arcillas, para determinar la línea base de las arcillas del registro de potencial espontáneo del sondeo Centenera 2, se ha generado la línea directamente en la pantalla mediante la utilización de cursores. Una vez determinada la línea base, se procede a eliminar sus desplazamientos o tendencias puesto que esta línea tiene teóricamente un valor nulo. El resultado que se obtiene es el mismo que si directamente calculamos las diferencias para cada intervalo de profundidad, entre el valor del registro y el valor de la línea base (figura 4-3).

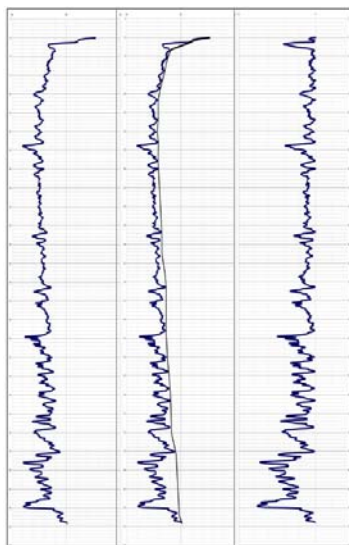


Fig. 4-3. Cálculo manual de la línea base y eliminación del desplazamiento de tendencia.

Corrección del registro de neutrones. La herramienta neutrónica utilizada en el sondeo Centenera 2 fue el dispositivo GNT, al ser una herramienta muy antigua, las lecturas están muy influenciadas por la salinidad del fluido, temperatura, presión, diámetro del sondeo, costra de lodo y densidad del lodo. Para la corrección se ha utilizado el ábaco de Schlumberger específico para la herramienta GNT utilizada en el sondeo. Luego de aplicar las respectivas correcciones, se obtiene un registro neutrónico uniforme a lo largo del sondeo cuyas lecturas serán independientes del diámetro del sondeo, de la temperatura, del tipo y densidad del lodo de perforación. Los datos de entrada para la corrección se pueden observar en la tabla 4-3.

Tabla 4-3. Datos de entrada para la corrección del registro de neutrones.

Descripción del Dato	Valor
Gradiente de temperatura	0.026 °C/m
Diámetro de la sonda	9,84 cm
Valores de neutrones originales	Valores en anexo digital E
Valores de diámetro puntual	Valores en anexo digital E

En la figura 4-4 se puede observar un tramo desde los 2100 a 2300 m donde se muestra el registro de neutrones original y el corregido.

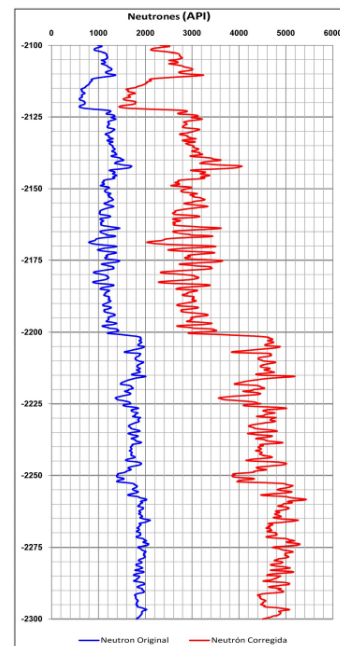


Fig. 4-4. Registro de neutrones, original y corregido.

5. Zonación Litológica

La zonación litológica es una de las principales partes de éste proyecto. Este proceso consiste principalmente de interpretar geológica y geofísicamente los 4291,7 m del sondeo Centenera 2, sin la necesidad de obtener como

resultados valores numéricos. Además la zonación litológica provee una información de gran ayuda a la hora de realizar la posterior interpretación cuantitativa, especialmente cuando se desee escoger a la zona de interés económico.

La zonación litológica del sondeo Centenera 2, se la realizó con la ayuda de dos procesos que son diferentes pero complementarios: La tramificación y la correspondencia de las diagrafas.

5.1 Resultado de la Zonación Litológica

El principal resultado de la zonación es la obtención de una macrocolumna litológica, que refleja en su mayor medida, cambios claramente visibles en los parámetros geofísicos medidos (resistividad, potencial espontáneo, radiación gamma natural, etc.), teniendo en siempre cuenta la información geológica para las respectivas tramificaciones y correlaciones.

Han sido definidas doce unidades

geofísicas del sondeo Centenera 2, que pueden o no tener algún significado geológico. Para resolver este inconveniente se intenta utilizar los datos geológicos obtenidos del registro del detritus del pozo.

Con los resultados de la zonación litológica del sondeo Centenera 2, se puede concluir que dicho sondeo ha atravesado: potentes facies eocénicas de carácter calco arenoso y arcilloso de aproximadamente 1500 metros de espesor; intercalaciones paleocenas de calizas y margas de aproximadamente 100 metros de espesor; una potente serie Cretácica de más de 2600 metros de espesor con una gran variedad de litologías en las que se incluyen anhidritas, calizas microcristalinas, ferruginosas y arcillosas, areniscas limpias y arcillosas, margas plásticas, arcillas abigarradas y también niveles de anhidrita pero con una gran predominancia de litologías bioclásticas de carácter calcáreo; una delgada serie de materiales dolomíticos del jurásico de no más de 85 metros; y finalmente una serie de 50 metros del triás plástico formado principalmente por arcillas abigarradas, anhidrita y sal.

6. Interpretación

Para llevar a cabo la interpretación se ha escogido 575 m del sondeo, comprendidos entre los 2100 y los 2675 m. Este intervalo corresponde a la zona de mayor interés hidrocarburífero del sondeo, el mismo que fue definido gracias a la zonación litológica

6.1 Delimitación.

Los paquetes corresponden a un conjunto de capas geofísicas que tienen un comportamiento

similar en la mayoría de parámetros geofísicos, La segmentación de los paquetes se realiza bajo la hipótesis de que todo fenómeno que se refleja en al menos dos parámetros medidos, corresponderá entonces a un límite de paquete.

El resultado de la segmentación permite obtener los valores aparentes de los distintos parámetros para cada uno de los paquetes (tabla 6-1).

Tabla 6-1. Valores aparentes de los parámetros para cada paquete (Pq)

Pq	Techo (m)	Muro (m)	Espesor (m)	Radiación gamma (API)	Neutrón (API)	Sónico (us/m)	Laterolog ($\Omega \cdot m$)	P.E.E (mV)	Calibre (cm)
1	-2100	-2112	12	63.3	1154.7	60.8	60.4	-4.6	32.1
2	-2112	-2122	10	96.7	676.8	69.8	25.4	0.0	33.6
3	-2122	-2145	23	55.1	1295.4	59.0	77.0	-3.3	32.1
4	-2145	-2202	57	75.1	1107.9	59.2	107.8	-7.6	33.5
5	-2202	-2217	15	34.9	1856.1	52.1	1437.6	-3.9	33.2
6	-2217	-2228	11	41.5	1532.6	53.1	800.5	-4.1	34.5
7	-2228	-2252	24	47.3	1715.5	52.7	1693.4	-10.6	34.2
8	-2252	-2270	18	36.6	1869.4	52.7	3102.0	-22.7	34.3
9	-2270	-2292	22	47.0	1888.9	54.6	1220.1	-24.6	33.9
10	-2292	-2315	23	55.2	1817.6	57.0	629.4	-21.5	33.4
11	-2315	-2340	25	41.2	1907.1	54.4	1500.4	-22.5	34.3
12	-2340	-2381	41	36.9	1112.8	51.6	2904.2	-30.1	36.0
13	-2381	-2398	17	29.6	1413.4	55.5	380.7	-25.6	34.6
14	-2398	-2426	28	18.9	2047.4	52.7	528.5	-28.0	32.7
15	-2426	-2447	21	24.4	1301.2	52.5	1523.9	-33.7	33.6
16	-2447	-2485	38	11.2	1781.6	52.5	197.9	-27.0	31.7
17	-2485	-2500	15	19.8	1810.9	54.4	210.2	-27.6	31.7
18	-2500	-2536	36	15.4	2106.3	52.1	283.6	-15.6	28.7
19	-2536	-2555	19	13.1	1789.6	56.5	122.7	-16.1	28.8
20	-2555	-2578	23	13.9	1789.6	53.0	158.3	-20.4	28.9
21	-2578	-2625	47	19.9	2208.9	52.9	221.2	-19.7	26.5
22	-2625	-2645	20	18.9	1671.8	56.0	101.9	-19.8	27.8
23	-2645	-2675	30	14.1	1977.5	52.6	145.8	-20.6	28.2

6.2 Contenido de arcilla.

En la tabla 6-2 se observa los valores del contenido de arcillas o porcentaje de material arcilloso para los diferentes paquetes aplicando la ecuación correspondiente al índice de arcillas.

Tabla 6-2. Cálculo del contenido de arcilla

Fm.	Techo (m)	Muro (m)	Litología	GN corregido (API)	Índice de Arcillas	% de Arcillas
1	-2100	-2112	Marga	63.3	0.616	61.6
2	-2112	-2122	Arcilla	96.7	0.990	99.0
3	-2122	-2145	Marga	55.1	0.524	52.4
4	-2145	-2202	Arcilla arenosa	75.1	0.748	74.8
5a	-2202	-2217	Caliza arenosa	34.8	0.297	29.7
5b	-2217	-2228	Caliza arenosa	41.5	0.371	37.1
5c	-2228	-2252	Caliza arenosa	47.3	0.437	43.7
5d	-2252	-2270	Caliza arenosa	36.6	0.317	31.7
6a	-2270	-2292	Arenisca calcárea	47.0	0.434	43.4
6b	-2292	-2315	Arenisca calcárea	55.2	0.525	52.5
6c	-2315	-2340	Arenisca calcárea	41.2	0.369	36.9
7	-2340	-2381	Caliza fracturada	36.8	0.319	31.9
8	-2381	-2398	Arenisca calcárea	29.6	0.238	23.8
9	-2398	-2426	Caliza	18.9	0.119	11.9
10	-2426	-2447	Caliza fracturada	24.4	0.181	18.1
11a	-2447	-2485	Caliza	11.2	0.033	3.3
11b	-2485	-2500	Caliza	19.8	0.129	12.9
11c	-2500	-2536	Caliza	15.4	0.080	8.0
12a	-2536	-2555	Arenisca calcárea	13.1	0.054	5.4
12b	-2555	-2578	Arenisca calcárea	13.9	0.063	6.3
13	-2578	-2625	Caliza	19.9	0.131	13.1
14	-2625	-2645	Arenisca calcárea	18.9	0.119	11.9
15	-2645	-2675	Caliza	14.1	0.066	6.6

6.3 Resistividad del agua de Formación

Los símbolos N/D de la tabla 6-3, significa que no fue posible calcular la resistividad del agua de formación a partir del ábaco SP-3 de Schlumberger.

Tabla 6-2. Cálculo de resistividad del agua de formación.

Datos				Procedimiento								
Fm.	Techo (m)	Muro (m)	Litología	(1) P.E.E (mV)	(2) Tf (°C)	(3) Rmf (Ω·m)	(4) T de Rmf (°C)	(5) Rmf a Tf (Ω·m)	(6) Rmfog (Ω·m)	(7) Kpe	Rwe (Ω·m)	Rw (Ω·m)
5a	-2202	-2217	Caliza arenosa	-3,9	52,6	4,86	17,8	2,58	2,19	77,6	1,95	ND
5b	-2217	-2228	Caliza arenosa	-4,1	53,0	4,86	17,8	2,56	2,18	77,7	1,93	ND
5c	-2228	-2252	Caliza arenosa	-10,6	53,5	4,86	17,8	2,54	2,16	77,8	1,98	ND
5d	-2252	-2270	Caliza arenosa	-22,7	54,2	4,86	17,8	2,52	2,14	78,0	1,10	ND
6a	-2270	-2292	Arenisca calcárea	-24,6	54,8	4,86	17,8	2,50	2,13	78,2	1,03	4,00
6c	-2315	-2340	Arenisca calcárea	-22,5	56,4	4,86	17,8	2,45	2,08	78,5	1,08	ND
7	-2340	-2381	Caliza fracturada	-30,1	57,7	4,86	17,8	2,41	2,05	78,8	0,85	3,00
8	-2381	-2398	Arenisca calcárea	-25,6	58,8	4,86	17,8	2,38	2,02	79,1	0,96	4,00
9	-2398	-2426	Caliza	-28,0	59,7	4,86	17,8	2,35	2,00	79,3	0,89	3,40
10	-2426	-2447	Caliza fracturada	-33,7	60,7	4,86	17,8	2,32	1,97	79,6	0,74	2,40
11a	-2447	-2485	Caliza	-27,0	62,0	4,86	17,8	2,29	1,94	79,9	0,89	3,70
11b	-2485	-2500	Caliza	-27,6	63,2	4,86	17,8	2,25	1,92	80,2	0,87	3,50
11c	-2500	-2536	Caliza	-15,6	64,4	0,25	5,6	0,08	0,07	80,5	0,04	0,05
12a	-2536	-2555	Arenisca calcárea	-16,1	65,7	0,25	5,6	0,08	0,07	80,8	0,04	0,05
12b	-2555	-2578	Arenisca calcárea	-20,4	66,8	0,25	5,6	0,08	0,07	81,0	0,04	0,05
13	-2578	-2625	Caliza	-19,7	68,6	0,25	5,6	0,08	0,06	81,5	0,04	0,05
14	-2625	-2645	Arenisca calcárea	-19,8	70,4	0,25	5,6	0,07	0,06	81,9	0,04	0,05
15	-2645	-2675	Caliza	-20,6	71,8	0,25	5,6	0,07	0,06	82,2	0,03	0,04

6.4 Porosidad Neutrónica

Con las lecturas API, la temperatura de formación, el peso o densidad del lodo utilizado y los diámetros de cada paquete se obtienen, por medio de la utilización de un ábaco, los valores de porosidad, esta información se resume en la tabla 6-3.

Tabla 6-3. Cálculo porosidad neutrónica

Datos								Abaco (figura 7-4)	
Fm.	Techo (m)	Muro (m)	Litología	Neutrones (API)	Diámetro (cm)	T (°C)	ρ del Lodo (gr/cm³)	Índice de Porosidad (%)	
5a	-2202	-2217	Caliza arenosa	1856	33,2	126,7	1,11	Menos salino	<1
5b	-2217	-2228	Caliza arenosa	1533	34,5	127,4	1,11	Menos salino	3,0
5c	-2228	-2252	Caliza arenosa	1715	34,2	128,3	1,11	Menos salino	<1
5d	-2252	-2270	Caliza arenosa	1889	34,3	129,5	1,11	Menos salino	<1
6a	-2270	-2292	Arenisca calcárea	1899	33,9	130,7	1,11	Menos salino	<1
6c	-2315	-2340	Arenisca calcárea	1907	34,3	133,6	1,11	Menos salino	<1
7	-2340	-2381	Caliza fracturada	1113	36,0	135,8	1,11	Menos salino	6,0
8	-2381	-2398	Arenisca calcárea	1413	34,6	137,8	1,11	Menos salino	3,8
9	-2398	-2426	Caliza	2047	32,7	139,5	1,11	Menos salino	<1
10	-2426	-2447	Caliza fracturada	1301	33,6	141,3	1,11	Menos salino	4,8
11a	-2447	-2485	Caliza	1792	31,7	143,6	1,11	Menos salino	<1
11b	-2485	-2500	Caliza	1811	31,7	145,8	1,11	Menos salino	<1
11c	-2500	-2536	Caliza	2106	28,7	147,9	1,17	Salino	<1
12a	-2536	-2555	Arenisca calcárea	1790	28,8	150,3	1,17	Salino	3,5
12b	-2555	-2578	Arenisca calcárea	1790	28,9	152,2	1,17	Salino	3,5
13	-2578	-2625	Caliza	2209	26,5	155,4	1,17	Salino	<1
14	-2625	-2645	Arenisca calcárea	1672	27,8	158,7	1,17	Salino	4,5
15	-2645	-2675	Caliza	1977	28,2	161,2	1,17	Salino	3,2

7. Conclusiones

La principal conclusión que arroja la zonación litológica es que la cuenca sedimentaria de Graus-Tremp en donde se emplaza el sondo tiene todas las características sedimentarias y estructurales necesarias para albergar la presencia de yacimientos de hidrocarburos ya que a lo largo del sondeo se pudieron observar litologías muy impermeables las cuales pueden actuar excelentemente como rocas sello.

También se observaron formaciones que deberían albergar porosidades para la acumulación de hidrocarburos. También existen formaciones compactas como calizas donde existe una probabilidad elevada que estas rocas hayan adquirido porosidades secundarias por

fracturación pudiendo convertirse así en excelentes rocas almacén de hidrocarburos.

Como conclusiones finales del presente proyecto se puede decir que el sondeo tiene mucha más capacidad de albergar gas en las formaciones de interés que las descritas en la interpretación inicial de las diagrfias, ya que en aquella se concluyó poco interés gasífero debido a la alta compactación y carencia de fisuración con porosidades inferiores a 1%. Con el procedimiento desarrollado en este trabajo se ha concluido que existen por lo menos dos formaciones desde 2340 a 2381 m y 2426 a 2447 m que están claramente fracturadas y sus porosidades son mayores a un 5%.

8. Agradecimientos

Agradezco el aporte intelectual del Doctor Jesús María Díaz Curiel, Director de Tesis y a la invaluable contribución del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), que proporcionó los medios materiales necesarios para llevar a cabo este proyecto.

9. Referencias

- [1] ARCHIE, G.E. (1942): "The Electrical Resistivity Logs as an Aid in determining some Reservoirs characteristics". Trans. AIME 146, 54-62.
- [2] BARNOLAS, A. y Gil-Peña, I. (2001): "Ejemplos de relleno sedimentario multiepisódico en una cuenca de antepaís fragmentada: La Cuenca Surpirenaica". Boletín Geológico y Minero, 112 (3): pp 17-38.
- [3] BARNOLAS, A. (1992): "Evolución sedimentaria de la Cuenca Surpirenaica Oriental durante el Eoceno". Acta Geológica Hispánica, v. 27, n° 1-2, pp 15 - 31. Homenaje a Oriol Riba Arderiu.
- [4] DELMAS, M.; GARRIDO, A. y RÍOS, L.M. (1971): "Contribución al estudio del Jurásico de la cuenca de Graus-Tremp". Cuadernos Geología Ibérica pp 591-606.
- [5] DÍAZ CURIEL, J.M. (1999): Teoría y práctica de la prospección geofísica. Departamento de Ingeniería Geológica, E.T.S.I Minas.
- [6] DÍAZ CURIEL, J (1995): "Interpretación y correlación automática de diagrfias geofísicas". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Atentamente,

Dennis Stalin Rivadeneira Flores
C.I. 0920822707

Ing. Gastón Proaño Cadena
DIRECTOR DE TESIS