



Av. Les Puntes s/n, isla 6, parcela 1, nave 1
Polígono Industrial Constantí
43120 - CONSTANTÍ (Tarragona)
tel. 977 524 940 - fax 977 541 478
NIF A 12 655 817
www.borelog.com

TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DEL POZO SAN JUAN, CABANES (CASTELLÓN)

Febrero 2.006



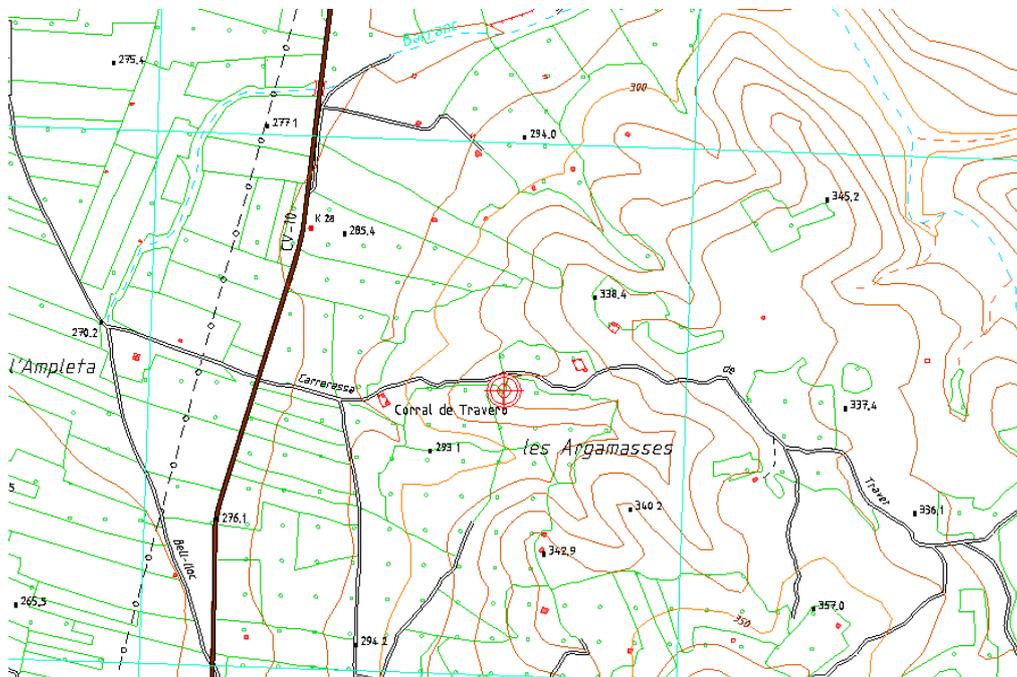
INDICE

1	OBJETIVO	3
2	EQUIPO DE TESTIFICACIÓN	4
	2.1 Sonda Full Wave Sonic (FWS)	5
	2.2 Sonda Televierer acústico (ABI).....	7
	2.3 Sonda Natural Gamma (NG).....	9
3	POZO SAN JUAN - CABANES	10
4	TRABAJOS REALIZADOS	11
	4.1 Sonda Televierer acústico (ABI).....	11
	4.2 Full Wave Sonic (FWS)	14
	4.3 Gamma Natural (NG).....	17
5	INTERPRETACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	20
6	ANEJO : DIAGRAFÍAS Y REGISTROS	23

1 Objetivo

El objeto de la presente memoria es la exposición y descripción de los trabajos de testificación geofísica realizados los días 13 y 14 de octubre en el pozo San Juan, situado en el paraje *Les Argamasses* en el término municipal de Cabanes (Castellón).

Los trabajos fueron realizados a petición del Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E.), mediante contrato de Asistencia Técnica.



Emplazamiento del pozo San Juan, Cabanes (Castellón).



2 Equipo de testificación

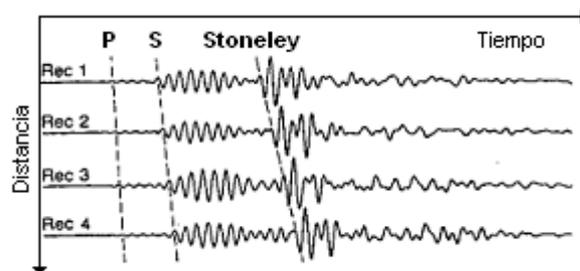
Los trabajos se han realizado conjuntamente con los equipos de la empresa Hydro Assistance y Borelog. El cabrestante utilizado de Hydro Assistance (Geovista) emplea un cable de acero de 1500 m de longitud, con cuatro hilos conductores en su interior. La sonda gamma natural y tomamuestras (Geovista) se utilizaron con la unidad de registro proporcionada por Hydro Assistance. Las sondas Full Wave Sonic y Televierwer Acústico (ALT) se emplearon con el mismo cabrestante y cable, junto con la unidad de registro ALT Logger de la empresa Borelog.

2.1 Sonda Full Wave Sonic (FWS)

Esta sonda consiste en un transmisor que emite pulsos sónicos de alta frecuencia que se transmiten a través del fluido y de las formaciones. Las ondas refractadas son detectadas por los receptores situados en la sonda a diferentes distancias respecto al transmisor.

Esta sonda genera diagramas mediante el análisis de los tiempos de llegada y la amplitud de las ondas detectadas por los receptores.

La configuración de esta sonda incluye un transmisor de pulsos y cuatro receptores, permitiendo el registro de las ondas compresionales (P), de cizalla (S) y Stoneley.



Una vez obtenidos los datos de los receptores, se efectúa el procesamiento de los mismos. Para cada tren de ondas registrado se calculan los tiempos de llegada de cada tipo de onda a cada receptor. Con estos tiempos y la distancia entre los receptores se obtiene el retardo de los diferentes tipos de ondas. A partir de los retardos se calculan las velocidades de propagación de las ondas en las litologías.

Conociendo las velocidades de las ondas P y S, se puede obtener el Coeficiente de Poisson. Además, si se dispone de la densidad de los materiales, se pueden calcular sus diferentes parámetros geomecánicos (módulo de elasticidad, módulo de cizalla, etc.).



Las ondas Stoneley, también llamadas “*Tube Wave*”, son ondas de baja frecuencia que se propagan por la interfase de dos medios. Estas ondas se propagan más lentamente que las compresionales y las de cizalla, por lo que se sitúan más tarde en el tren de ondas recibidas. Cuando una onda Stoneley pasa por una fractura que atraviesa el sondeo, ésta aplica una presión sobre el fluido presente en la fisura. En una fractura abierta y permeable el resultado de esta presión es un movimiento del fluido que causa una reducción en la

amplitud de la onda Stoneley y la generación de una onda Stoneley reflejada. Estas ondas reflejadas son visibles en el registro de onda sónica completa, en forma de “*chevron*” cuyo vértice está centrado en la localización de la fractura permeable. Como regla general, cuando más alta es la amplitud de estas ondas Stoneley reflejadas, más grande y permeable puede considerarse la fractura.

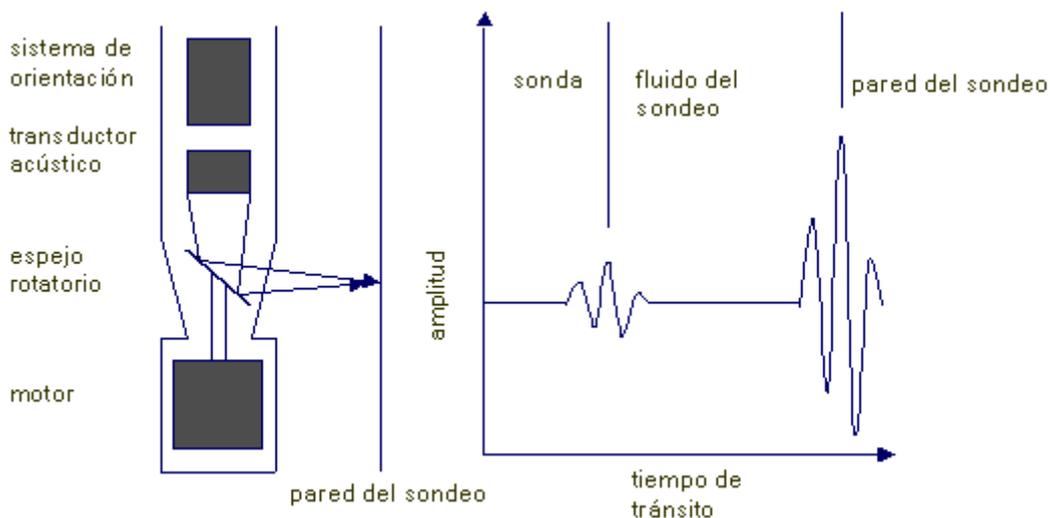


Aplicaciones:

- Identificación litológica.
- Localización de zonas de fracturación.
- Localización de contactos.
- Análisis de cimentaciones (CBL).
- Obtención de parámetros geomecánicos.
- Permeabilidad por fracturas abiertas (Stoneley).

2.2 Sonda Televiewer acústico (ABI)

Esta sonda, también llamada “*Acoustical Borehole Image*” (ABI), consiste en un scanner que genera una imagen de la pared del sondeo mediante la transmisión de pulsos de ultrasonidos emitidos desde un sensor rotativo y por el registro de la amplitud y el tiempo de llegada de las ondas reflejadas. Para la transmisión y recepción de dichos ultrasonidos necesita estar sumergida en un fluido.



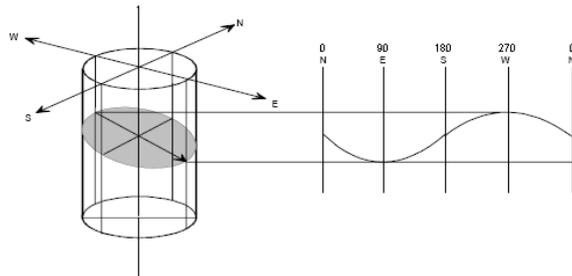
Permite el registro de ondas en pozos sin entubar (*Open hole*) y en pozos entubados con PVC (*Cased hole*). Gracias a que esta sonda incluye un sistema de grabación digital de todo el tren de ondas reflejadas, es posible obtener la imagen interna del PVC (correspondiente a la llegada de la primera onda) y de la pared del sondeo (correspondiente a la llegada de la segunda).

Además incorpora un sistema de orientación formado por tres magnetómetros y tres acelerómetros que permiten orientar los registros obtenidos respecto al Norte magnético y medir la desviación del sondeo.

A partir del registro obtenido se generan dos imágenes, una basada en los tiempos de llegada de las ondas (*Travel Time*) y la otra basada en la amplitud (*Amplitude*). La amplitud de las ondas medidas es función de la dispersión del pulso acústico, que depende de la rugosidad y forma de la pared del sondeo y del contraste de impedancia acústica entre el fluido y la pared. Además, la impedancia acústica está directamente relacionada a la dureza de la roca.



Sobre las imágenes generadas es posible medir buzamientos orientados respecto al Norte magnético marcando las trazas sinusoidales observadas, que corresponden con planos (contactos, fracturas, laminaciones, etc.). El software utilizado calcula las orientaciones e inclinaciones de estos planos en base a estos sinusoides y al diámetro del sondeo. Posteriormente, para obtener los buzamientos reales se corrigen los efectos de la desviación del pozo.



También es posible generar una proyección virtual en 3D de la pared del sondeo, generándose un testigo cilíndrico, en el que se proyecta la imagen obtenida con la amplitud de las ondas.

Con esta sonda además es posible la obtención del diámetro del sondeo (*Caliper*), en base a los tiempos de llegada de las ondas reflejadas en la pared del sondeo.

Aplicaciones:

- Detección de fracturas, su medición y evaluación.
- Detección de capas delgadas, su medición y evaluación.
- Medición de buzamientos.
- Caracterización litológica.
- Análisis de fracturación de las rocas.
- Inspección de entubados.
- Mediciones de calibre de alta resolución.
- Medición de la desviación de sondeos.

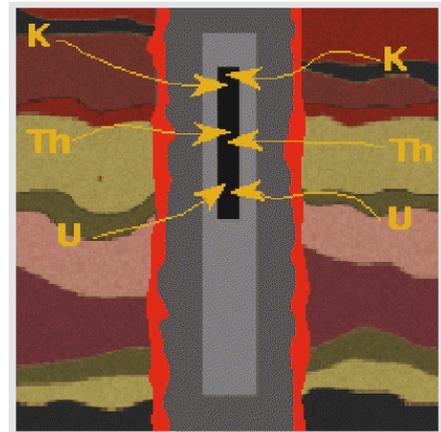
2.3 Sonda Natural Gamma (NG)

Registra la radiación gamma natural emitida por los materiales de la pared del sondeo. El sensor de medición es un cristal de escintilación de yoduro de sodio acoplado a un tubo fotomultiplicador.

La radiación electromagnética gamma se emite por la desexcitación de determinados núcleos de átomos (Uranio, Torio y Potasio) presentes en los minerales de las formaciones. Los fotones que la constituyen son de frecuencia superior y más penetrantes que los rayos X, siendo esta radiación una característica natural de cada mineral.

Aplicaciones:

- Caracterización litológica.
- Detección de arcillas.
- Correlaciones estratigráficas entre sondeos.



3 Pozo SAN JUAN - CABANES

El pozo San Juan se sitúa en el paraje *Les Argamases* en el término municipal de Cabanes (Castellón). Las coordenadas UTM del pozo son X: 248.748, Y: 4.451.252 y la cota es de 320 metros s.n.m. (el Datum utilizado es el EUROPEAN 1950).

Todas las profundidades citadas en este informe están referenciadas a la superficie topográfica actual.

El brocal del pozo está situado a 0.43 m sobre el nivel del terreno. Los diámetros de perforación y entubación se resumen en la siguiente tabla:

Profundidad inicial (m)	Profundidad final (m)	φ Perforación (mm)	φ Entubación (mm)
0	245	508	350 (0-245m)
245	308	311	260 (0-309m)
308	446	260	
446	714	256	
714	1004	203	

Una vez terminados los trabajos de perforación y entubación se observó que el pozo se había colmatado hasta los 969 m.

En el día 13 de octubre el nivel piezométrico estaba a 265 m medidos desde el nivel del terreno.



Detalle del pozo San Juan, Cabanes (Castellón)

4 Trabajos realizados

Se realizaron los siguientes trabajos:

1. Toma de cuatro muestras de agua a 335 m, 505 m, 715 m y 940 m. Las muestras fueron recogidas por técnicos del I.G.M.E. para su posterior estudio.
2. Testificación con la sonda Gamma Natural.
Estos trabajos fueron realizados por técnicos de la empresa Hydro Assistance, y al finalizar comenzaron los trabajos a cargo de los técnicos de Borelog.
3. Testificación con la sonda Televierer acústico, ABI.
4. Testificación con la sonda sónica de onda completa, FWS.

4.1 Sonda Televierer acústico (ABI)

Con la sonda Televierer acústico se testificó desde 305 m de profundidad hasta 969 m, en modo "Open Hole" (sin entubación). Debido a los diferentes diámetros del sondeo, se realizaron varias maniobras en ascenso y descenso para regular los centralizadores que necesita esta sonda para su correcto funcionamiento.

Una vez procesados los datos obtenidos, se obtiene una imagen de la pared del sondeo. En ésta imagen se observa una traza helicoidal hasta los 309 m, que se corresponde con la soldadura de la entubación de acero que llega hasta esta profundidad.



Regulación de los centralizadores de la sonda ABI.



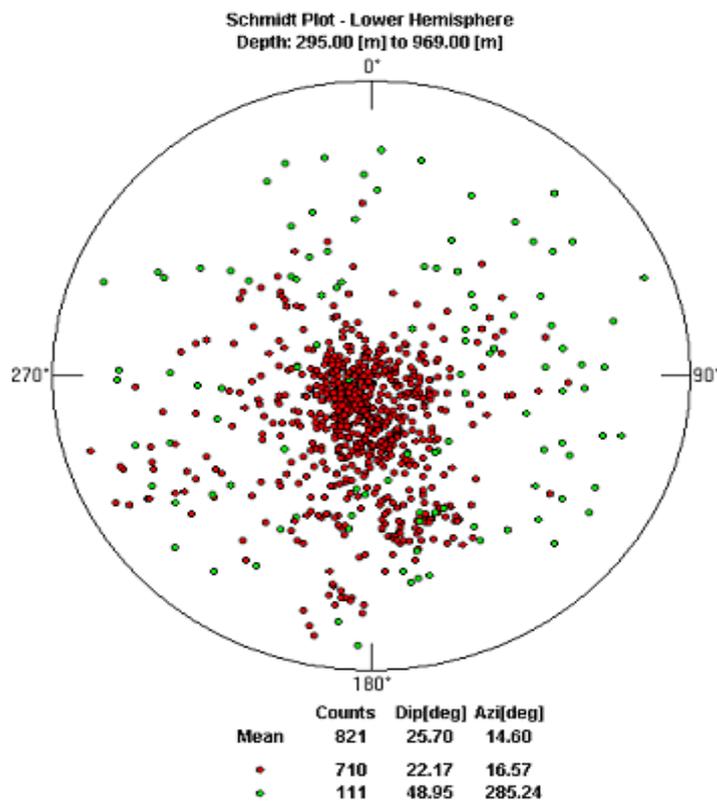
Sobre la imagen obtenida del Televiwer acústico se procedió a estimar y medir las estructuras observadas, clasificándose en dos grupos (contactos y laminaciones, y fracturas) según su aspecto en la imagen generada de la pared del sondeo. Posteriormente estas estructuras son corregidas para obtener los buzamientos reales, compensando los efectos causados por la desviación del pozo.

El análisis de estructuras se ha dividido utilizando los tramos que corresponden con las diferentes edades geológicas y ambientes sedimentarios de las litologías.

En la siguiente tabla están representados los valores medios de los buzamientos reales, respecto al Norte Magnético, para las diferentes edades geológicas:

DESDE (m)	HASTA (m)	EDAD	CONTACTOS (Dirección/Inclinación)	FRACTURAS (Dirección/Inclinación)
305	325	BEDOULIENSE SUPERIOR	348.7°/29.3°	345.4°/56.3°
325	380	BEDOULIENSE MEDIO - INFERIOR	2.0°/35.5°	252.2°/52.5°
380	438	BEDOULIENSE BASAL	35.1°/10.7°	205.9°/46.4°
438	517	PORTLANDIENSE - KIMMERIDGIENSE SUPERIOR	28.1°/18.4°	354.0°/44.0°
517	714	KIMMERIDGIENSE SUPERIOR - OXFORDIENSE SUPERIOR	4.3°/14.6°	200.4°/43.0°
714	969	?	23.6°/31.5°	308.8°/50.7°

En la siguiente figura se muestra la proyección estereográfica de todas las estructuras medidas en el imagen obtenida de la pared del sondeo.



Proyección estereográfica polar de todas las estructuras medidas (• Contactos y laminaciones, • Fracturas, Counts: nº total de estructuras medidas, Dip: buzamientos, Azi: dirección de la línea de máxima pendiente). En esta figura los planos de las estructuras están representados por su proyección polar. El buzamiento de éstos comprende desde los 0° (en el centro) a los 90° (en la circunferencia exterior) y la dirección de la línea de máxima pendiente es la opuesta al radio que va del centro al polo proyectado.

4.2 Full Wave Sonic (FWS)

La testificación con esta sonda se inicio a 266 m hasta una profundidad total de 969 m. Se hicieron dos registros, uno en descenso y otro en ascenso, con diferentes configuraciones para la obtención de los registros de las ondas P, S y *Stoneley*.

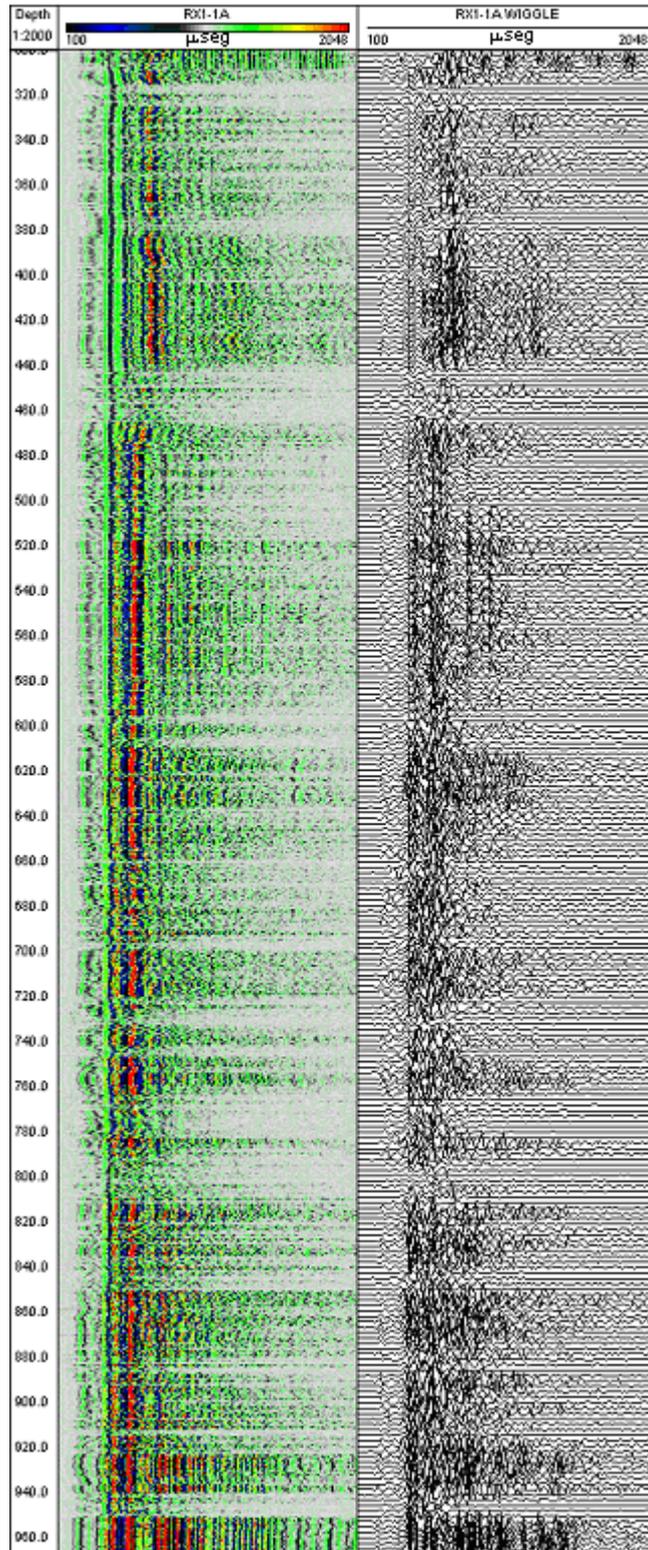
Una vez procesado los datos recogidos por esta sonda, se procedió al análisis y estudio de los trenes de ondas. En este registro es posible detectar las zonas fracturadas, aunque no se ha podido identificar con claridad las ondas *Stoneley*, ni las ondas *Stoneley* reflejadas.

Los criterios usados para la localización de las zonas fracturadas en el registro del tren de ondas son:

1. Atenuación de la amplitud de las ondas P y S.
2. Retraso de los tiempos de llegada de las ondas sísmicas.
3. Reflexiones de las ondas *Stoneley* reflejadas en forma de “*Chevron*”.



Testificación con la sonda Full Wave Sonic (FWS).



Registro de onda completa del FWS (Escala de tiempo de 100 a 2048 μ seg).



A partir del análisis del registro de los trenes de ondas, se definen las posibles zonas con mayor grado de fracturación:

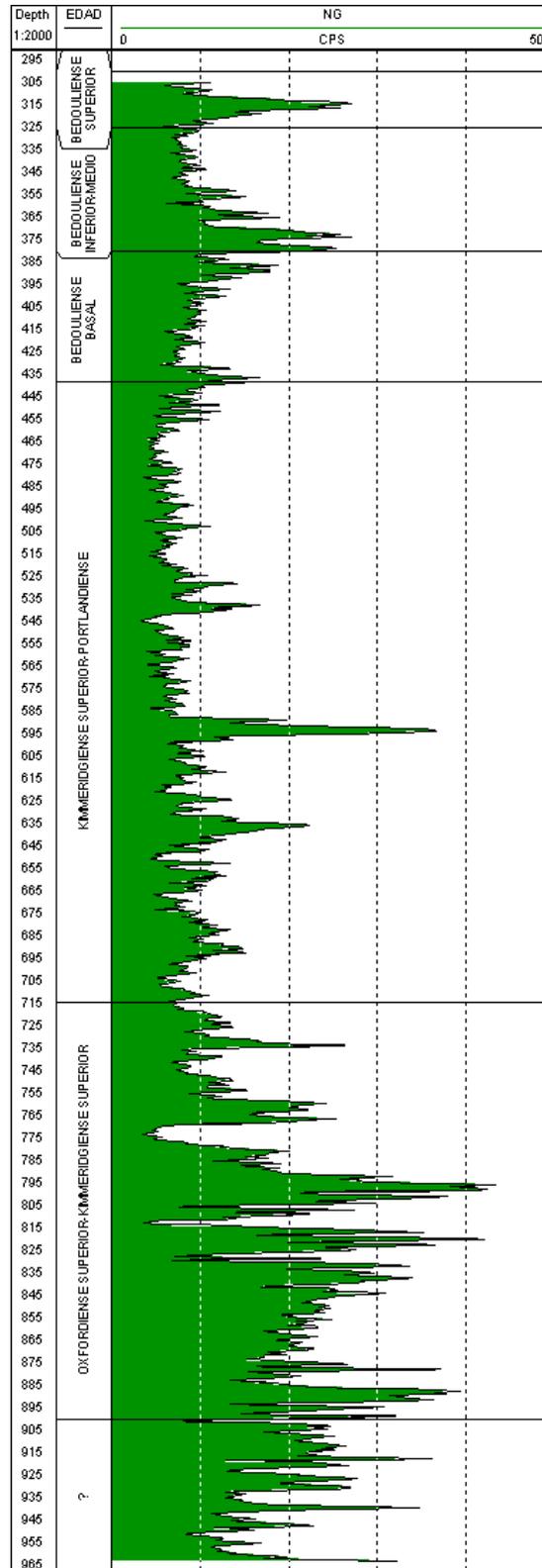
Zonas fracturadas (m)
314 – 324
400 – 402
442 – 465
595 – 599
685 – 690
692 – 699
720 – 732
742 – 747
767 – 769
786 – 812
912 – 915
940 – 950



4.3 Gamma Natural (NG)

El sensor medidor de la radiación se acopló en la parte superior de la sonda tomamuestras y por este motivo el registro de esta medición no llegó hasta la profundidad máxima alcanzada en la testificación (969 m). Después de la adquisición de la última muestra de agua y una vez la sonda había descendido hasta la profundidad máxima posible, se procedió al registro de los valores de gamma natural en ascenso.

Los valores obtenidos desde el inicio del pozo hasta la profundidad máxima testificada de 962.50 m están comprendidos entre 0 cps y 64 cps.



Registro de la radiación gamma natural para las diferentes edades (Escala: 0-50 cps).



En la siguiente tabla están representados los valores medios de radiación para los intervalos litológicos definidos en la descripción litológica hecha por los técnicos de F.A.C.S.A.

DESDE m	HASTA m	MEDIA DEL INTERVALO cps
305	307	7
307	321	17
321	325	9
325	330	8
330	332	7
332	336	8
336	343	9
343	367	11
367	380	19
380	438	10
438	441	12
441	459	8
459	461	6
461	464	5
464	475	5
475	493	6
493	495	8
495	504	7
504	507	6
507	510	7
510	512	7
512	513	5
513	516	5
516	517	5
517	523	7
523	530	10
530	532	10
532	583	7
583	587	6
587	599	19
599	607	8
607	612	10
612	613	9
613	617	8
617	620	6
620	622	7
622	624	11
624	636	12
636	640	16
640	647	10
647	655	7
655	674	9
674	681	10
681	691	12
691	697	11
697	714	8
714	718	8
718	729	11
729	730	10
730	795	14
795	797	40
797	800	29
800	810	22
810	817	16
817	848	25
848	868	22
868	879	21
879	883	18
883	889	29
889	969	20



5 Interpretación hidrogeológica

Para la interpretación hidrogeológica se ha dispuesto de los datos e informe de la testificación de este mismo pozo efectuada por Sedelam en agosto de 2005 (gamma natural, resistividad a cuatro espaciados, temperatura y conductividad del fluido), el informe con la descripción detallada de la columna litológica del sondeo y además el informe de la dirección de obra del sondeo a cargo del Sr. Jose Ramón Jiménez Salas. Todos estos datos ha sido facilitados a través del I.G.M.E., por gentileza de la empresa F.A.C.S.A..

En función de los datos de conductividad y temperatura, conjuntamente con la definición de las columnas litológicas, se definieron en el estudio previo de este sondeo los tramos de aporte de agua al interior de la captación.

Estos datos son los recogidos en la tabla siguiente como “datos previos” :

Datos previos
324 – 350
396 – 398
442 – 446
504 – 516
688 – 690
712 – 716
912 – 920
938 – 944



A partir de los datos geofísicos obtenidos en el presente estudio, se pueden destacar diferentes zonas con mayor grado de fracturación, utilizando los siguientes criterios:

- Atenuación de la amplitud de las ondas P y S.
- Retraso de los tiempos de llegada de las ondas sísmicas.
- Reflexiones de las ondas Stoneley reflejadas en forma de “Chevron”.

Zonas FWS
314 – 324
400 – 402
442 – 465
595 – 599
685 – 690
692 – 699
720 – 732
742 – 747
767 – 769
786 – 812
912 – 915
940 – 950

Posteriormente, se han comparado estas zonas con la imagen del Televiwer acústico, con el fin de determinar si este comportamiento diferente de las ondas es debido a fracturas o a la textura de la roca. Estas observaciones están reflejadas en la siguiente tabla:

Comparación FWS-ABI	OBSERVACIONES
314 – 324	FRACTURACIÓN
400 – 402	TEXTURA
442 – 465	TEXTURA
595 – 599	TEXTURA
685 – 690	FRACTURACIÓN+TEXTURA
692 – 699	FRACTURACIÓN+TEXTURA
720 – 732	TEXTURA
742 – 747	TEXTURA
767 – 769	TEXTURA
786 – 812	FRACTURACIÓN+TEXTURA
912 – 915	FRACTURACIÓN
940 – 950	TEXTURA



El presente estudio, permite concretar en los tramos con aporte preferencial, si la permeabilidad es primaria (textura), secundaria (fracturación/disolución) o debido a ambas. Estos resultados quedan expresados en la siguiente tabla:

Zona de aportes	Permeabilidad observada
396 – 402	PRIMARIA
442 – 446	PRIMARIA
504 – 516	PRIMARIA
685 – 690	PRIMARIA+SECUNDARIA
712 – 732	PRIMARIA
912 – 920	SECUNDARIA
938 – 950	PRIMARIA

Antonio Díez Pascua
Geólogo colegiado 5.254

Francisco Romero Miranda
Geólogo colegiado 5.120

Constantí, Marzo de 2006



6 ANEJO : Diagrafías y registros

Para la visualización de los registros por parte del cliente, este informe se acompaña con un DVD en el que se han grabado los registros captados por las sondas y el programa WellCAD Reader, que permitirá abrirlos, observarlos y estudiarlos a cualquier escala, pero no modificarlos.

Previamente, se procederá a la instalación del programa WellCAD Reader. A continuación se copiarán los archivos que contienen los registros de las sondas en cada sondeo al disco duro del ordenador. Seguidamente se ejecutará el programa WellCAD Reader y finalmente se procederá a la apertura de los archivos deseados desde dicho programa.

Una vez abierto un archivo de WellCAD se recomienda maximizar la ventana a toda la pantalla y accionar el icono  que ajustará la imagen a toda la ventana.

Mediante la opción del menú View y la posterior selección de Depth Scale se podrá seleccionar la escala que mejor convenga para el estudio y análisis de cualquier estructura o detalle que se desee. Mediante la opción Tools y después 3D Borehole podrá visualizar en 3D el testigo de la perforación de la imagen del Televiwer acústico.

La imagen tridimensional así obtenida es manejable directamente con el "ratón" del PC. Los iconos gráficos permiten su alargamiento, acortamiento, rotación, variación de la profundidad visualizada, cosa que también puede lograrse eficazmente a través de la tecla Core Settings en la que podrá fijarse la profundidad de visualización deseada y los metros de visualización de testigo que se desee.

Marcando 0º maker aparecerá la línea que marca el Norte magnético, y marcando en Depth Maker aparecerá la indicación de profundidad del testigo visualizado, todo ello entre otras interesantes posibilidades.

Los archivos entregados en el DVD adjunto son:

- MASTERLOG
- ABI+3D
- ABI+FWS (copia impresa adjunta)
- ANALISIS ESTRUCTURAS DIFERENTES CONTACTOS (copia impresa adjunta)
- CALIPER
- ESTRUCTURAS DIFERENTES CONTACTOS (copia impresa adjunta)
- INTERVALOS GN+LITO+ABI (copia impresa adjunta)
- BORELOG+LOGS PREVIOS



GLOSARIO DE TÉRMINOS:

- **3D:** Imagen virtual en tres dimensiones de la pared del pozo obtenida a partir de la imagen del ABI.
- **AMPLITUDE:** Imagen creada a partir de las amplitudes de las ondas reflejadas por la pared del pozo. Se visualiza mediante colores de densidad variable, mostrando la amplitud con diferente grado de color.
- **AMPLITUDE B&W:** Imagen en blanco y negro creada a partir de las amplitudes de las ondas reflejadas por la pared del pozo. Se visualiza con colores de densidad variable, mostrando la amplitud con diferente grado de sombra.
- **CALIPER MIN/MAX/AVE:** Diámetro mínimo/máximo/medio del pozo.
- **DIP HISTOGRAM:** Representación de la inclinación de la línea de máxima pendiente de las estructuras observadas, mediante histogramas y diferenciadas por tramos.
- **PERMEABILIDAD:** Tipo de permeabilidad: primaria (textura) o secundaria (fracturación/disolución).
- **POLAR CONTACTOS:** Representación de la orientación de la línea de máxima pendiente media y la inclinación de los contactos/laminaciones diferenciados por tramos.
- **POLAR FRACTURA:** Representación de la orientación de la línea de máxima pendiente media y la inclinación de las fracturas diferenciadas por tramos.
- **POLAR PROJECTION DIP:** Proyección estereográfica polar usando la plantilla de Schmidt sobre el hemisferio Sur, de las diferentes estructuras observadas diferenciadas por tramos.
- **ROSE DIAGRAM DIP:** Representación de la inclinación de la línea de máxima pendiente de las estructuras observadas, mediante diagramas de rosas y diferenciadas por tramos.
- **RX1-1A:** Registro de ondas sísmicas de la primera ventana de tiempo del receptor 1, donde se visualizan las amplitudes de las ondas y los tiempos de llegada, mostrando la amplitud en una escala de variación de densidad de colores.
- **RX1-1ª COLOR:** Registro de ondas sísmicas de la primera ventana de tiempo del receptor 1, donde se visualizan las amplitudes de las ondas y los tiempos de llegada, mostrando la amplitud mediante el contraste de dos colores.
- **RX1-1A Wiggle:** Registro de ondas sísmicas de la primera ventana de tiempo del receptor 1, donde se visualiza individualmente cada tren de ondas.



- **TADPOLES NM:** Orientación respecto al Norte Magnético de la dirección (línea) e inclinación (círculo), de la línea de máxima pendiente de las estructuras observadas.
- **TRAVEL TIME:** Imagen creada a partir de los tiempos de llegada de las ondas reflejadas en la pared del sondeo. Se visualiza con colores de densidad variable, mostrando los tiempos de llegada con diferente grado de sombreado.