DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

INTERPRETACIÓN Y CORRELACIÓN DE REGISTROS GEOFÍSICOS EN SONDEOS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA LA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y LA GESTIÓN DE LA EXPLOTACIÓN.

APLICACIÓN EN EL ARCO NOROESTE DE LA CUENCA DE MADRID

MEMORIA

Autora:
NATALIA CAPARRINI MARÍN
Licenciada en Ciencias Geológicas

Director:
JESÚS M. DÍAZ CURIEL
Doctor en Ciencias Físicas

2006

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

(D-15)

Tribunal nombrado por el Magfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día ..... de ..... de 200.....

Presidente:_____

Vocal: _____

Vocal: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Suplente: _____

Suplente: _____

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día ..... de ..... de 200..... en la E.T.S.I. .....

EL PRESIDENTE LOS VOCALES

EL SECRETARIO

RESUMEN

El trabajo realizado en esta Tesis Doctoral consiste en el desarrollo de una metodología para el estudio geológico e hidrogeológico de cuencas detríticas continentales a partir del análisis e interpretación de registros geofísicos obtenidos en sondeos de captación de aguas subterráneas y su aplicación a 13 sondeos situados en el arco Noroeste de la Cuenca de Madrid.

La metodología comienza con la interpretación pormenorizada, homogénea y automática de todos los registros geofísicos convencionales testificados (resistividades, potencial espontaneo y gamma natural) que comprende los siguientes procesos: estimación indirecta de parámetros del sondeo, corrección de decalajes, eliminación del desplazamiento de lineas base, segmentación, interpretación cuantitativa: porosidad y permeabilidad, contenido en arcillas y calidad química del agua, asignación litológica y zonación.

Posteriormente se realiza una correlación de los tramos definidos en los distintos sondeos. Esta correlación permite establecer la sección geofísica del subsuelo en la que se puede identificar la distribución y geometría de las formaciones acuíferas existentes en la cuenca de cara a la ubicación y gestión de los recursos hídricos de la misma.

Por último se realiza un análisis sedimentológico a partir de los perfiles de pozo que consiste en la definición de secuencias lito-energéticas a partir de la determinación del carácter (positivo o negativo) de éstas y un estudio de la correspondencia de estas con los ciclos sedimentarios admitidos por la comunidad científica de la Cuenca de Madrid.

A partir de los procesos descritos anteriormente se pude llegar a una interpretación geológica e hidrogeológica a partir de registros geofísicos en sondeos, es decir, encontrar la clave relacional entre datos geofísicos y datos geológicos obteniendo así la serie estratigráfica general de la cuenca y la columna tipo para el conocimiento geológico global de las cuencas detríticas continentales, con lo que se puede admitir que el método es capaz de dividir un sondeo en unidades con significado geológico e hidrogeológico propio.

ABSTRACT

The word made in this Doctoral Thesis consists of the development of a methodology for the geological and hydrogeological study of continentals detritical basins from the analysis and interpretation of geophysical logs obtained of boreholes of captation from groundwaters and their application to 13 boreholes placed in the Northwest arc of the Madrid Basin.

The methodology begins with the detailed, homogenous and automatic interpretation of all the conventional logs performed (resistivities, spontaneous potential and gamma ray) that include the following processes: shifts correction, base line correction and elimination of its displacements, register segmentation, bore hole stratums determination, clay contents calculations, total dissolved solid calculation, real resistivity calculation with permeability estimation, lithologic interpretation and stratums correlation.

Later a correlation of the defined sections is made in the different soundings. This correlation allows to establish the geophysical section of the subsoil in which it is possible to be identified the distribution and existing water-bearing geometry of the formation in the basin, in order to be located and to manage the hydric resources of the same one.

Finally a sedimentologic analysis from the well-logs are made. This analysis consists of the lito-energetic sequences definitions from the determination of the character (positive or negative) of these sequences and a correspondence study of these with the sedimentary cycles admitted by the scientific community of the river basin of Madrid.

From the previously described processes, I could be arrived at a geological and hydrogeological interpretation from conventional geophysical logs in boreholes, that is to say, to find the relational key between geophysical data and geological data obtaining by this way the general stratigraphics sequences of the basin and the column type for the global geological knowledge of the continentals detritical basins. Therefore, it is possible to be admitted that this method is capable of dividing a sounding in units with own geological and hydrogeological meaning.

AGRADECIMIENTOS

A Julia, Lucía y José por su paciencia y comprensión

A mi Madre por su apoyo y persistencia

A mi Padre y a Mamen por su juicio y colaboración

A Carolina por su ánimo y por esas sobremesas

A Jesús por su ayuda y sapiencia

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO ..... Pag. 2

1.2 OBJETIVOS 3

1.3 DESARROLLO METODOLÓGICO 3

CAPITULO 2: ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1 INTERPRETACIÓN Y CORRELACIÓN DE DIAGRAFÍAS 8

2.1.1 Interpretación litológica 8
2.1.2 Interpretación cuantitativa 9
2.1.3 Zonación 12
2.1.4 Correlación 13

2.2 ANÁLISIS DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS 14

2.3 PROGRAMAS INFORMÁTICOS 17

CAPITULO 3: INTERPRETACIÓN Y CORRELACIÓN DE DIAGRAFÍAS

3.1 PARÁMETROS DE SONDEO 20

3.1.1 Diámetro 21
3.1.2 Temperatura 22
3.1.3 Viscosidad del lodo de perforación 24
3.1.4 Densidad del lodo de perforación 25
3.1.5 Conductividad del filtrado de lodo 27

3.2 TRATAMIENTO DE LOS REGISTROS 30

3.2.1 Corrección de Tendencias 30
3.2.1.1 Registro de Potencial espontaneo 31
3.2.1.2 Registro de Gamma Natural 33
3.2.2 Corrección de decalajes 34

3.3 SEGMENTACIÓN 36

3.3.1 Determinación de Límites de capa 36
3.3.2 Valor aparente entre límites 37
3.3.3 Determinación de capas paramétricas 38

3.4 INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA 40

3.4.1 Calidad química del agua 40
3.4.1.1 El registro de potencial espontaneo 40
3.4.1.2 Concentración equivalente 41
3.4.1.3 Determinación de P.E.E. 43
3.4.1.4 Obtención de la resistividad equivalente del agua 44
3.4.1.5 Cálculo del total de sólidos disueltos 45
3.4.2 Relación Porosidad-Permeabilidad 47
3.4.2.1 Cálculo de la porosidad 47
3.4.2.2 Cálculo de la resistividad real 48
3.4.2.3 Relaciones permeabilidad/porosidad 50
3.4.2.4 Cálculo de la permeabilidad a partir de la granulometría 50
3.4.2.5 Relación permeabilidad/porosidad 52
3.4.3 Contenido en arcillas 54
3.4.3.1 El registro de radiación gamma 55
3.4.3.2 Corrección del sistema de medida 55
3.4.3.3 Corrección por efectos del pozo 56
3.4.3.4 Determinación del % de arcilla 59

3.5 ASIGNACIÓN LITOLÓGICA 61
3.5.1 Asignación Directa 61
3.5.2 Códigos litológicos 63

3.6 ZONACIÓN 64

3.7 CORRELACIÓN GEOFÍSICA 65

CAPÍTULO 4: LA CUENCA DE MADRID

4.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA 68

4.2 ENCUADRE GEOLÓGICO 69
4.2.1 Zócalo 71
4.2.2 Cretácico 71
4.2.3 Paleógeno 72
4.2.4 Neógeno 72
4.2.4.1 Mioceno 73
4.2.4.2 Plioceno 80
4.2.5 Cuaternario 81

4.3 HISTORIA GEOLÓGICA 83

4.4 HIDROGEOLOGÍA 84
4.4.1 Unidades Hidrogeológicas 85
4.4.2 Calidad del Agua subterránea 88

CAPITULO 5: APLICACIÓN EN EL ARCO NOROESTE DE LA CUENCA DE MADRID

5.1 OBTENCIÓN DE DATOS 95
5.1.1 Instrumentación 95
5.1.2 Metodología de registro 96
5.1.3 Columnas litológicas 97

5.2 SONDEOS SELECCIONADOS 97

5.3 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA 102
5.3.1 Estimación de parámetros de sondeo 103
5.3.2 Interpretación cuantitativa 104
5.3.2.1 Contenido en arcilla..... 105
5.3.2.2 Calidad del agua de formación..... 106
5.3.2.3 Porosidad/permeabilidad 107
5.3.3 Interpretación litológica 108
5.3.4 Ubicación de filtros 109
5.3.5 Selección y Correlación de Tramos 111
5.3.5.1 Sección de Correlación Norte 116
5.3.5.2 Sección de Correlación Oeste 118

5.4 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE TRAMOS GEOFÍSICOS.. 120

CAPITULO 6: ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

6.1 INTRODUCCIÓN..... 124

6.3 METODOLOGÍA PROPUESTA 125
6.3.1 Secuencialización 126
6.3.2 Definición de Macrosecuencias..... 127

6.3 IDENTIFICACIÓN GEOLÓGICA..... 130

CAPITULO 7: CONCLUSIONES

7.1 CONCUSIONES..... 134

7.2 LINEAS DE FUTURO..... 135

CAPITULO 8: BIBLIOGRAFÍA..... 138

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

La Testificación Geofísica se constituye, en el ámbito de la Hidrogeología, como una de las herramientas indispensables dentro de la prospección de aguas subterráneas debido a las múltiples ventajas que representa su aplicación en los estudios de explotación y gestión de recursos hídricos de una cuenca, así como por la información que representa para la ubicación y planificación de sondeos en una región hidrogeológica determinada.

El desarrollo de esta técnica en los últimos años, corre parejo a la necesidad de aumentar la calidad de las explotaciones de aguas subterráneas, contribuyendo así, al máximo aprovechamiento de la información que proporcionan las diagrafías, a la implementación y desarrollo de nuevas tecnologías y métodos de interpretación y a la divulgación de sus utilidades, señaladamente entre los técnicos relacionados con los múltiples campos donde se requiere la ejecución de sondeos.

La testificación geofísica convencional, utilizada durante la fase de perforación, permite, a través de los registros obtenidos, conocer las características geofísicas de las capas que atraviesa el sondeo. A partir de éstas, pueden deducirse las características constructivas del sondeo y ubicarse las zonas filtrantes para optimizar la explotación del sondeo.

Además, la testificación geofísica en una serie de sondeos más o menos lejanos nos permite establecer una correlación geofísica, incluso geofísica-geológica, que servirá de base para estudiar los acuíferos de la zona y su evolución espacial, a fin de programar nuevas captaciones y su explotación racional, es decir, valorar los recursos subterráneos de una cuenca para su óptima gestión.

A parte de la clara utilidad de la testificación geofísica en hidrogeología, el estudio e interpretación de diagrafías se perfila como una herramienta muy útil para una interpretación geológica global de cara a múltiples aplicaciones geológicas y técnicas como el análisis de cuencas sedimentarias.

1.1 PLANTEAMIENTO

Los escasos recursos de agua superficial y la creciente demanda de agua, tanto para uso doméstico como industrial, del área metropolitana de Madrid, ha despertado el interés por las aguas subterráneas, sobre todo tras la intensa sequía que sufrió nuestro país desde finales de la década de los 80 hasta la mitad de la de los 90.

Esto hizo que numerosas empresas junto con el Estado se lanzaran a la construcción de sondeos para captación de aguas subterráneas a veces de forma poco programada. En muchas ocasiones, los sondeos se hicieron sin dar mucha importancia a aspectos como la proximidad entre los mismos o la ubicación de zonas filtrantes.

Entre ellos, la empresa Canal de Isabel II, decidió la perforación y el estudio completo de una serie de pozos para captación de agua subterránea.

La Cátedra de Geofísica Aplicada y Prospección Geoquímica del Departamento de Ingeniería Geología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid fue la encargada de realizar la testificación geofísica de muchos de estos pozos tanto al norte como al oeste de Madrid, con el fin de determinar los niveles permeables susceptibles de aportar agua, para la posterior colocación de tubería filtrante.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo fundamental que se persigue con este trabajo es desarrollar una metodología para el estudio geológico e hidrogeológico de cuencas detríticas continentales a partir del análisis e interpretación de registros geofísicos obtenidos en sondeos de captación de aguas subterráneas.

Esta metodología posteriormente va a aplicarse en la Cuenca de Madrid para realizar una valoración de sus recursos hídricos y optimizar la gestión de los mismos, utilizando las diagrafías obtenidas en diversos sondeos de captación de aguas subterráneas en las áreas Norte y Oeste de esta Cuenca.

Para ello, además de una interpretación pormenorizada, homogénea y automática de todos los registros geofísicos convencionales testificados (resistividades, potencial espontaneo y gamma natural) en estos sondeos y su posterior correlación, se pretende interpretar estos registros desde un punto de vista estratigráfico, obteniendo con este tipo de análisis una aportación estratigráfica para el conocimiento geológico global de las cuencas detríticas continentales.

1.3 DESARROLLO METODOLÓGICO

Para alcanzar el objetivo propuesto se plantea realizar una serie de procesos de tratamiento, interpretación y correlación de las diagrafías obtenidas en la testificación geofísica de los sondeos de estudio con el apoyo de sistemas informáticos. Los procesos que se proponen son los siguientes:

Estimación indirecta de parámetros del sondeo: En la interpretación de ciertos registros físicos de sondeos existen una serie de parámetros que influyen en los resultados obtenidos, como son el diámetro y la temperatura a lo largo del sondeo y la viscosidad, densidad y conductividad del lodo de perforación.

Sin embargo por cuestiones operativas o económicas, normalmente dichos parámetros no se miden directamente en el sondeo con las correspondientes sondas, por lo que se van a deducir una serie de expresiones empíricas para obtener, de forma aproximada, estos parámetros.

Tratamiento de los registros: Para una correcta interpretación de las diagrafías se debe realizar un tratamiento previo para eliminar ciertos efectos en los registros, los cuáles apantallan los resultados de los parámetros medidos. Estas correcciones, que deberían ser frecuentes en la interpretación de los registros geofísicos, no se realizan en la mayoría de los casos, por lo que los resultados obtenidos pueden conducir a errores en la interpretación.

Algunas de estas correcciones, como son los efectos derivados de la geometría del pozo y del lodo de perforación empleado, son específicas de cada registro. Sin embargo la mayoría de las diagrafías, a pesar de estas correcciones específicas, presentan un desplazamiento general del registro, denominado desplazamiento de línea base.

En algunos registros, como el de potencial espontáneo, la corrección del desplazamiento de línea base ya se realiza automáticamente, sin embargo el registro de radiación gamma, tiende a presentar un desplazamiento de la línea base de radiación que afecta a la interpretación y que no se suele corregir.

Estos desplazamientos se deben a la emisión que provocan las arcillas presentes en el lodo de perforación, que no es constante a lo largo del sondeo, sino que aumenta con la profundidad al ir decantándose éstas en el fondo del sondeo. Por esto, se propone investigar la metodología para corregir dicho desplazamiento.

Segmentación: Este proceso consiste en transformar el registro continuo de un parámetro en una serie de límites de profundidad entre los que se realiza la asignación de los valores aparentes de los distintos parámetros registrados.

Una vez segmentados los registros, se realiza la determinación de las capas geofísicas definitivas del sondeo mediante el estudio de concordancia de los límites y las variaciones de amplitud entre los distintos registros.

Interpretación cuantitativa: A partir de los registros geofísicos convencionales se pueden deducir una serie de propiedades de las distintas capas atravesadas por el sondeo, entre las que destacan:

Porosidad y Permeabilidad: Con la resistividad real obtenida a partir de los registros de resistividad aparente medidos con sondas eléctricas convencionales se van a estimar los valores de porosidad de las distintas capas y con éstos, mediante la relación porosidad/permeabilidad, su permeabilidad.

Contenido en arcillas: El contenido en arcillas de las formaciones atravesadas por el sondeo representa un dato de interés, tanto para la reducción del porcentaje de finos, como para optimizar la permeabilidad final del sondeo.

Tradicionalmente, el contenido en arcilla de las formaciones atravesadas se calcula a partir del índice de arcilla obtenido con los registros de gamma natural. Este cálculo se realizaba por un lado, con los valores del registro sin tratar, y por otro no tenía en cuenta que los valores máximos de emisividad se pueden deber a otras formaciones con alta emisividad gamma o a valores anómalos de las mismas arcillas.

Para evitar estos errores, se deben eliminar los efectos derivados del equipo de media y de la geometría del pozo, determinando así valores de radiación independientes del diámetro de perforación y de la densidad del lodo empleado. A continuación, se va a realizar un tratamiento estadístico de los registros para modificar la expresión del índice de arcilla.

Calidad química del agua: Una vez corregido el desplazamiento de la línea base que presentan los registros de potencial espontáneo y corregidos los efectos del diámetro del sondeo y del espesor de la capa, se pueden obtener los valores de potencial espontáneo estático a cada profundidad.

Con estos valores se va a calcular la resistividad del agua de las formaciones a partir del tipo del lodo empleado y su resistividad. Además se pueden obtener valores del total de sólidos disueltos conocido el tipo de agua esperado en el sondeo, es decir, el ion predominante en las aguas extraídas en la zona.

Asignación litológica: Con las capas geofísicas del sondeo se procede a una correcta asignación litológica de éstas en función de los valores y características encontradas en cada una de ellas.

Todos estos parámetros, además de su propio interés, permiten determinar las características constructivas del sondeo, es decir definir los intervalos óptimos para la colocación de la tubería filtrante, para un máximo aprovechamiento de las aguas subterráneas.

Zonación y Correlación: Una vez interpretados los registros se realiza una correlación geofísica entre sondeos. Al encontrarnos en una cuenca detrítica multicapa de gran complejidad y debido a que se pretende correlacionar sondeos lejanos se deben correlacionar tramos geofísicos, ya que, aunque el número de tramos obtenidos en este proceso es elevado, la subdivisión de sondeos profundos resulta especialmente interesante en medios sedimentarios heterogéneos y anisótropos, pues facilita una abstracción y visión objetiva de conjunto, que permite dar un enfoque geológico e hidrogeológico mayor para un análisis e interpretación global de la cuenca.

Para ello, se deben determinar los tramos geofísicos en cada unos de los sondeos. Este proceso denominado "zonación" consiste en la determinación y clasificación de los distintos tramos o unidades geofísicas existentes a partir del análisis estadístico del registro inicial y de la curva segmentada de resistividad.

La determinación de los tramos de una diagrafía apoyada en procesos automáticos, establece una subdivisión que es muy difícil de alcanzar de forma personalizada, con la ventaja añadida de que todos los tramos están determinados empleando el mismo criterio y no dependen del interpretador.

La correlación de estos tramos, nos permite establecer la sección geofísica del subsuelo en la que se puede identificar la distribución y geometría de las formaciones acuíferas existentes en la cuenca de cara a la ubicación y gestión de los recursos hídricos de la misma.

Caracterización estratigráfica: A partir de los procesos descritos anteriormente se pude llegar a una interpretación estratigráfica a partir de perfiles de pozos, es decir, encontrar la clave relacional entre dichos tramos geofísicos y datos geológicos relevantes, como por ejemplo, los ciclos sedimentarios admitidos por la comunidad científica en una cuenca, en este caso, la Cuenca de Madrid. Es decir pasar de la correlación geofísica a la geológica obteniendo así la serie estratigráfica general de la cuenca y la columna tipo.

Para ello se va a desarrollar una metodología, a partir de los perfiles de pozo, que incluya un análisis de secuencias encontradas a partir de la determinación del carácter (positivo o negativo) de estas, proceso que se va a denominar "secuencialización". El proceso va a continuar con la realización de un nuevo agrupamiento según la tendencia lito-energética en "macrosecuencias", ya con significado estratigráfico.

A continuación y con el fin de conseguir un mayor sentido sedimentológico de las macrosecuencias definidas se va a realizar un estudio de la correspondencia de estas secuencias energéticas con ciclos deposicionales, finalizando con la confirmación del modelo propuesto, es decir comprobando que la correlación de estas macrosecuencias se asemeja ó coincide con el modelo geológico previsto de la cuenca.

De conseguir efectuar con los tramos un análisis secuencial de tendencias y una correlación espacial que encaje suficientemente con el modelo geológico esperado en la cuenca, se puede admitir que el método es capaz de dividir un sondeo en unidades con significado geológico e hidrogeológico propio.

Finalmente y una vez aplicadas estas metodologías en un número suficiente de sondeos en la Cuenca de Madrid se podrán deducir conclusiones tanto hidrogeológicas como geológicas de los acuíferos identificados en la sección de estudio, todo ello encaminado a optimizar la valoración de las reservas hídricas y la gestión de los recursos subterráneos de la Cuenca.

CAPÍTULO 2:

ESTADO DE CONOCIMIENTO

La testificación geofísica de sondeo o diagrafía, es el registro de uno varios parámetros físicos a lo largo del mismo. La Testificación Geofísica de sondeos es una técnica desarrollada a espaldas de las perforaciones petrolíferas, en cuyo coste, la realización de estos estudios estaba más que justificado.

Las primeras diagrafías que se realizan en España para colocación de filtros en sondeos de captación de aguas subterráneas se remontan a finales de los años 60, con registros de gamma natural, potencial espontáneo y resistencia puntual o monoelectródica.

En los años 70 aparecen una serie de sondas, fundamentalmente eléctricas con dispositivos focalizados. Finalmente en los años 80 se desarrollan las sondas espectrométricas, sondas especiales (T.D.T., N.M.R., pH, redox,...) y se generaliza el uso de equipos digitales con los que se potencia la automática de la interpretación.

Este progreso llevó al abandono de los parámetros convencionales, provocando la ausencia de métodos para la interpretación exhaustiva con dichos parámetros y por tanto de programas informáticos que realicen estos procesos. Sin embargo, en la actualidad todavía sigue siendo muy común el empleo de sondas convencionales para la medida de resistividad en sondeos con fines hidrogeológicos.

2.1 INTERPRETACIÓN Y CORRELACIÓN DE DIAGRAFÍAS

Para la interpretación y correlación geofísica se va a emplear el sistema automático descrito por Díaz Curiel (1996) en su tesis doctoral en la que desarrolla una serie de códigos informáticos que realizan el tratamiento, interpretación y correlación de diagrafías geofísicas de forma lo más automática posible.

Estos procesos automáticos presentan la ventaja de que todos los registros están interpretados empleando los mismos criterios y no dependen del interpretador, aunque el sistema permite la posibilidad de que el usuario intervenga en todos los procesos.

2.1.1 Interpretación litológica

La segmentación es el primer paso para realizar la interpretación litológica de diagrafías. Segmentar registros geofísicos consiste en determinar, dentro de la curva continua de un parámetro, las discontinuidades correspondientes a niveles con distinto comportamiento frente al parámetro medido, esto es, las distintas capas paramétricas del sondeo.

La determinación de los límites de capas "a ojo" tiene, además de la subjetividad de criterios y el elevado tiempo de ejecución, una dificultad añadida, que es la determinación exacta de dichos límites en función del parámetro registrado y las características geométricas de la sonda empleada. En la tesis de licenciatura de Domínguez de la Rasilla (1986a) realizada en la Cátedra de Geofísica de la E.T.S.I.M., se realizó un compendio de las normas para la determinación de los limites de capas atravesadas por el sondeo en función del parámetro medido.

Existen diversas técnicas matemáticas que se emplean para realizar este proceso, entre las que se destacan la Transformada de Walsh, empleada por Lanning y Johnson (1983); Filtros de Deconvolución, utilizados por algunos autores (Foster et al, 1962; Branisa, 1974) únicamente para reducir el efecto de

la velocidad de registro; cambios espectrales, realizado con éxito en señales genéricas por Baseville y Benveniste (a,b) en 1983; puntos de inflexión, utilizado por diversos autores en algunos programas de interpretación (Souder, 1974; Alonso, 1986; Vermeer et al, 1992; Chunduru et al, 2002); reconocimiento de patrones, técnica introducida por Stephanou (1979), desarrollada por Pavlidis en 1980 y optimizada posteriormente por otros autores (Liu et al, 1982; Wu et al, 1987; ...); máxima Probabilidad, siendo los algoritmos más empleados los desarrollados por Chouinard et al (1988) y Radhakrishnan et al (1991) y la integración de varias de estas técnicas matemáticas para dispositivos con distintas resolución (Chunduru et al, 2000).

Dentro de éstas, la elegida para realizar el proceso de segmentación de registros en este trabajo, es la determinación de los puntos de inflexión (Díaz Curiel et al, 1998a) tanto por la calidad de los resultados, que dependen básicamente de los filtros de suavizado y de derivación que se definan, como por el reducido tiempo de procesado que requiere.

Una vez determinadas las capas o niveles atravesados por el sondeo y a partir de los valores aparentes de los parámetros registrados se debe proceder a la interpretación litológica, es decir asignar ciertas litologías a cada uno de esos niveles.

La forma gráfica de proceder es a través de una representación n-dimensional (siendo n el número de parámetros medidos) en la que se conocen los subdominios de cada una de las litologías existentes. Diversos autores han establecido distintos criterios para el proceso de asignación litológica (Poupon, 1971; Besenecker, 1976; Delfiner, 1984; Kassenaar, 1989; Kamel, 2000; Fromyr, 2000, Salem, 2000...), aunque por el momento las técnicas automáticas más adecuadas permanecen dentro de programas comerciales.

Las técnicas matemáticas más operativas (Díaz Curiel, 1996) para determinar las distintas clases o grupos de respuesta física similar, los que representarán distintas litologías, son las técnicas del análisis multivariante (agrupación y discriminante).

2.1.2 Interpretación Cuantitativa

En este proceso se intenta obtener a partir de los valores aparentes registrados, ciertas características que definan cada uno de los niveles encontrados como son la calidad química del agua, el contenido en arcillas y la relación porosidad-permeabilidad.

Calidad química del agua

Dada la importancia en sí de este factor, más la importancia añadida que tiene para el cálculo de porosidades a partir de registros eléctricos, éste ha sido también uno de los objetivos desde los comienzos de la testificación geofísica. El registro que, a pesar de sus muchos detractores, mejores resultados ofrece para este cálculo es el de Potencial Espontáneo (P.E.).

Desde que Schlumberger y Leonardon (1934) planteasen que la amplitud del potencial espontáneo era proporcional al logaritmo del cociente de resistividades del lodo y del agua de la formación, hasta la actualidad, dicha relación ha sufrido diversas modificaciones. Por un lado se añadieron los factores de concentración y actividad de los iones de ambos fluidos (Doll, 1948; Wyllie, 1949) y por otro lado se

incluyeron una serie de correcciones, tanto en el coeficiente de proporcionalidad que relaciona el P.E. con la resistividad del agua, como en los factores que afectan a la medida (espesor de capa, diámetro del sondeo,...).

A través de sucesivas publicaciones (Jones et al, 1951; Gondouin et al, 1957; Worthington et al, 1959; Turcan, 1962; Segesman, 1962; Henty et al, 1962; Alger, 1966; Hallenburg, 1971; Schlumberger, 1972; Evers et al, 1975;...) fueron modificándose las expresiones para su interpretación. Posteriormente cabe destacar los trabajos de McConnell (1983), que introduce correcciones polinómicas previas en función de la resistividad del filtrado de lodo.

Algunos autores han profundizado aún más en las posibles aplicaciones del registro de P.E., como la obtención del grado de saturación en agua o el contenido de arcillas, sobre todo de cara a las aplicaciones petrolíferas (Silva et al, 1983; Mathews et al, 1984; Tabanou et al, 1987; ...). En estos intentos se resta meticulosidad al proceso inicial de interpretación, utilizando el valor de P.E. para la estimación directa de los valores de resistividad, empleando el valor de P.E. directamente sin conversión a P.E.E., o utilizando en las relaciones de P.E. la resistividad del agua en vez de su resistividad equivalente.

La búsqueda de expresiones para una mejor utilización del P.E. sigue siendo una constante de los investigadores dentro de este campo (Radhakrishna et al, 1990; Jorgensen, 1991; Taherian et al, 1992), aunque la utilización del registro de P.E. para la obtención de la conductividad del agua de las formaciones utilizando expresiones genéricas está suficientemente aceptada (Lindner et al, 1995; Schnoebelen et al, 1995; Souder, 2001; Fan, 2002).

Además y bajo la hipótesis de la existencia de un ión predominante en el agua de formación (Díaz Curiel et al, 1998c) se puede optimizar el empleo de estas diagrafías para establecer la concentración del mismo en los niveles permeables de un sondeo sin entubar, considerando dichos niveles totalmente saturados en agua, a partir de una serie de curvas experimentales (Domínguez et al, 1896) para los cuatro tipos de disoluciones más usuales en cuencas sedimentarias.

Contenido en arcillas

El cálculo del contenido en arcillas queda determinado por la emisión natural de radiación gamma (Poupon et al, 1970; Cable et al, 2000, Zhu, 2001,..), cuyo registro debe someterse a una serie de correcciones debidas, por un lado, a los efectos derivados del sistema de medida y por otro, de la geometría del pozo.

Diversos autores (Scott et al, 1961; Foster et al, 1962; Branisa, 1974;Song et al, 2000; Andrews, 2000, Cripps et al, 2000...) han estudiado formas de realizar una interpretación cuantitativa del registro de Gamma natural por todos o algunos de estos efectos, mediante el empleo de filtros inversos o deconvoluciones que resuelvan esos parámetros que afectan a la medida.

En algunos casos como en el estudio de capas con espesores similares o inferiores a la longitud de los detectores empleados, la deconvolución de los registros es indispensable (Bristow et al, 1984; Sheng et al, 1987; Goldberg, 2001). Igualmente se debe señalar que para estudios en capas no sub-horizontales es necesario realizar otro tipo de correcciones (Conaway, 1981).

Algunos autores (Wahl, 1983; Peplow et al, 1994; Guo et al, 1995) han utilizado métodos estadísticos, sobre todo, el análisis de componentes principales (P.C.A.) y la simulación Monte Carlo, para incluir en las correcciones debidas al diámetro del sondeo, la posición de la sonda.

No obstante si se realiza el registro de gamma a velocidad inferior a 5 m/min no es necesario la utilización de tales correcciones, precisando únicamente efectuar las correcciones ocasionadas por el diámetro del sondeo y la presencia de lodo.

Estos efectos se han corregido tradicionalmente mediante ábacos experimentales (Gearhart-Owen Ind., 1976). Sin embargo mediante una modelización geométrica teórica los valores de radiación gamma corregidos son independientes, tanto del diámetro del sondeo, como de la densidad del lodo utilizado, siempre que ésta se mantenga constante, con las consiguientes ventajas para su utilización para sondas radiactivas cualesquiera (Díaz Curiel et al 1997a).

Relación Porosidad-Permeabilidad

Tanto la porosidad total (en adelante porosidad) como la permeabilidad de rocas detríticas y sedimentos, se encuentran condicionados, para una temperatura dada, por una serie de factores como son:

* Tamaño medio de los granos
* Selección (Coeficiente de uniformidad)
* Forma (esfericidad, angulosidad)
* Empaquetamiento (Disposición)
* Contenido en arcillas
* Compactación y cementación

Estos factores se han intentado cuantificar con una serie de coeficientes obtenidos de la geometría media de los granos tales como angulosidad y esfericidad, otros derivados de la curva granulométrica como asimetría o curtosis, y otros que reflejan la disposición de los granos como el índice de empaquetamiento lineal, ...etc.

El tamaño de grano, aunque influye directamente en la permeabilidad, considerado aisladamente, no influye en la porosidad. Esto es, si consideramos el caso de granos esféricos del mismo tamaño, su porosidad, en disposición cúbica (la de menor empaquetamiento) sería del 47,64%, mientras que en disposición rómbica sería de 25,95%, ambas independientes del diámetro de los granos.

El valor anterior de porosidad máxima puede superar el valor de 50% en presencia de enlaces químicos, mientras que el valor mínimo puede bajar del 10% en función de la selección y forma de los granos y, por supuesto, del grado de cementación.

La morfología de los granos y la distribución de éstos en función de su tamaño conlleva una diferencia en el empaquetamiento de los mismos que es el factor más decisivo para su permeabilidad. Por esta razón, algunos autores (Rogers et al., 1961; Morrow et al, 1969;Hazen; 1893...) han definido relaciones directas para muestras de arenas entre características geométricas y granulométricas y la permeabilidad K, y entre permeabilidad/porosidad para medios no arcillosos en función del diámetro eficaz (Bear, 1972; Terzhagui, 1985).

Hay que señalar que la utilización de estas relaciones supone una simple aproximación, pues, además de no tener en cuenta las condiciones de confinamiento, no considera muchas de las características anteriormente citadas.

Por eso diversos autores han continuado en la búsqueda de expresiones que consideren otros factores como la presión de confinamiento, compactación y cementación, la composición química, el contenido en arcilla o la anisotropía de las formaciones (Nelson, 2000; Worthington, 2001; Sigal, 2002b....).

El cálculo de la porosidad derivado de la resistividad, se viene realizando mediante el empleo del factor de formación. En una primera aproximación, la resistividad R_0 de una roca porosa completamente saturada en agua, cuya fase sólida es muy resistiva, como es el caso que nos ocupa, puede considerarse proporcional a la resistividad del fluido que rellena sus poros, mediante el Factor de Resistividad (Sundberg, 1932) o Factor de Formación F (Archie, 1942).La relación de este factor con la porosidad viene dada, en su forma más general, por la expresión de Winsauer (1952).

En los últimos años diversos autores han modificado la expresión de Archie para su empleo en medios anisótropos (Herrick et al, 2001) o han buscado análisis alternativos, como el análisis de saturación, para la obtención de los parámetros de la ecuación que tradicionalmente se determinan por métodos experimentales (Chen et al, 2001).

En muchas relaciones de porosidad y permeabilidad con la resistividad, aparecen factores como la conductividad superficial, de doble capa o intercapa, difíciles de calcular con técnicas geofísicas de sondeos. No obstante, mediante equipos muy sofisticados podemos obtener los valores de la superficie específica, como es la sonda de Resonancia Nuclear Magnética (Timur, 1969; Pape et al, 1985, Sigal, 2002a; ...etc) pero esta técnica no es muy utilizada en la actualidad debido al alto coste de los equipos. Otra técnica que se está desarrollando en los últimos años es el análisis de imágenes en sondeos, como las de microporosidad, para el cálculo de la permeabilidad (Garnham, 2001).

Sin embargo con los registros de resistividad obtenidos mediante sondas eléctricas convencionales se pueden estimar los valores de porosidad y con estos los de permeabilidad a partir de relaciones empíricas porosidad/permeabilidad (Díaz Curiel et al,1997b). Para la obtención de los valores de resistividad del fluido se puede partir de las medida de P.E. utilizando las resultados obtenidos por Domínguez de la Rasilla et al (1986b) y modificados en la Tesis Doctoral de Díaz Curiel (1996).

2.1.3 Zonación

Las técnicas que se emplean para realizar la zonación de registros son las mismas que las de segmentación, aunque las que aportan mejor resultados son los análisis estadísticos, fundamentalmente el estudio del valor medio y el análisis de varianza.

El criterio de variación del valor medio fue introducido para zonación de diagrafías por Webster (1973) quién, inicialmente, utilizó el test de Student dividiendo sucesivamente cada registro en dos y comparando cada mitad; posteriormente, generalizó dicha metodología utilizando la distancia de Mahalinobis. Más tarde, Shaw y Cubit (1979) modificaron este método utilizando una ventana predefinida a lo largo del registro.

El criterio de cambios en la varianza fue empleado por Testerman (1962) y Gill (1970) estableciendo las zonas de forma que la varianza sea mínima dentro de cada una y máxima entre ellas. Para ello, utilizaron un modelo de regresión en los distintos tramos seleccionables hasta alcanzar un número máximo de zonas, o una diferencia predeterminada de varianza entre tramos.

Posteriormente Hawkins y Merriam (1973) modificaron el método de selección de los tramos, empleando una ventana predefinida que diera un número de zonas óptimo. Estos mismos autores en 1974, así como Hawkins y Ten Krooden (1979), ampliaron este técnica para determinar los tramos utilizando simultáneamente varios registros.

Este método ha seguido desarrollándose; así Chen et al (1986) realizaron modificaciones que conseguían reducir el tiempo de cálculo mediante optimización estadística y tomando sólo los puntos con variaciones significativas de amplitud como posibles límites de zonas. En trabajos posteriores, este tipo de criterios se ha consolidado como uno de los más resolutivos (Moghaddamjoo, 1989; Chandu et al, 1989; ...).

2.1.4 Correlación

En la actualidad es posible y tiene sentido realizar correlaciones "capa a capa" para sondeos próximos o entre capas "guía", pero la división de una diagrafía en tramos, series, o zonas, se plantea como el método más eficaz para encontrar correlaciones entre sondeos lejanos dentro de una cuenca detrítica como la estudiada.

En la bibliografía especializada se han sucedido, durante las tres últimas décadas, una serie de algoritmos físico-matemáticos para la correlación de diagrafías. Entre éstos cabe destacar, la Cross–Correlación, el Entrelazado y los criterios matriciales.

El método de Cross-Correlación, aplicado a las correlaciones de diagrafías se empleó a partir de los años sesenta, empezando por las correlaciones en el dominio original del espacio (Anstey, 1966; Rudman et al, 1973;...) y continuando con el dominio transformado de frecuencias (Rudman et al, 1975; Mann et al 1978; Kwon et al, 1979;...). Muchas de estas técnicas se han desarrollado posteriormente para diagrafías de buzamiento (Kemp, 1982,; Kerzner, 1982).

El entrelazado, es otra de las técnicas de correlación, desarrollada por Gordon et al (1979) con el nombre de "Slotting". Por último, los criterios matriciales se utilizan por primera vez en correlaciones geológicas en 1965 (Sackin et al), y van siendo desarrollados por diversos autores (Harbaugh et al, 1968; Smith et al, 1980; Davis, 1973; Díaz Curiel et al, 1986; Startzman et al, 1987; Wu et al, 1987).

Otras técnicas utilizadas para los procesos automáticos de correlación incluyen el diseño y reconocimiento de patrones, como los desarrollados por Stephanou (1979), Vincent et al (1979), Fang et al (1992), Zhao (2000) y Chen et al (2000). La utilización de patrones es una técnica muy eficaz en el caso de que no se realice la interpretación litológica de las diagrafías.

2.2 ANÁLISIS DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS

El análisis de ambientes sedimentarios es posible a través de la descripción de las evidencias que las condiciones físicas, químicas, biológicas y geomorfológicas dejan en los depósitos. Esta evidencias definen "una facies" que es, la suma de las características físicas, químicas y biológicas que diferencian un cuerpo sedimentario de otro.

El término facies, introducido por Gressly (1838), ha sido utilizado de diversas maneras y los usos y definiciones han sido revisados constantemente por distintos autores (Moore, 1949; Krumbein y Sloss, 1963; Selley, 1970; Middleton, 1978...). El término facies cubre un significado general, descriptivo y nunca genético y corresponde al aspecto que presenta una roca sedimentaria como resultado de la suma de características litológicas, estructurales y orgánicas que pueden ser detectadas en el campo y que distinguen a esta roca de las que la rodean. Estas características son por un lado el resultado de las condiciones físicas, químicas y biológicas bajo el que el sedimento se depositó y por otro provienen de su evolución bajo influencias diagenéticas.

Sin embargo el conocimiento de una facies no es suficiente para identificar un ambiente. Es a partir de sus características y del contexto en que se encuentra (espesor de cada facies, evoluciones secuenciales verticales y laterales, relación tiempo espacio con las facies vecinas, control tectónico regional en el periodo del depósito) cuando se puede determinar su origen, su ambiente sedimentario y su historia geológica, permitiendo una discriminación entre dos o tres posibles ambientes.

La clave de este tipo de análisis consiste en analizar todas las facies de manera conjunta y en el contexto general, ya que la secuencia en que aparecen proporciona tanta información como las propias facies (Walker 1984). Por lo tanto el estudio de las facies y su distribución o asociación en la secuencia vertical y lateral es el único modo de establecer el ambiente de depósito.

Parece que la idea de utilizar las diagrafías como herramienta sedimentológica proviene de alrededor de los años 50 a partir de ingenieros que trabajaban para la compañía Shell-Pecten en Houston (USA). Estudiando el delta del Mississippi, establecieron que la curva de potencial espontáneo (P.E.) presentaba formas características. Cada una de estas formas correspondía a una facies de un cuerpo arenoso particular. Analizando la curva de P.E., el tipo de contacto (neto o progresivo) entre arenas y lutitas, y el carácter de la curva (lisa o aserrada, cóncava, rectilínea o convexa) establecieron una clasificación en función de las formas de las diagrafías (cilíndrica, campana o embudo).

Lennon (1976) usó el método de análisis de estas curvas para construir mapas de facies y Pirson (1970,1977) asocia las facies y los ambientes de depósito a formas características de las curvas e interpreta sus tendencias como indicadores de velocidad de los procesos de transgresión o regresión.

Conociendo las razones fundamentales para la elección de la curva de P.E. (otros perfiles no están disponibles frecuentemente, las curvas de resistividad pueden estar muy afectadas por la presencia de fluidos,..) y sus posibilidades reales en la series detríticas arenas-lutitas (en la mayoría de los casos refleja la arcillosidad y la evolución del tamaño de grano) se sabe que el uso del P.E., como única curva, es generalmente insuficiente para determinar una facies y un ambiente de depósito. Inclusive puede conducir a errores en la interpretación a raíz de los efectos parásitos que puede presentar (invasión, espesor de los estratos, zonas compactas...).

Esto explica porqué la forma de una sola curva define sólo excepcionalmente las facies y el ambiente de sedimentación. Por lo tanto, cuanto mayor sea el número y variedad de perfiles, mayor y más clara será la información que aportan**.**

Varios autores (Fisher, 1964; Visher,1965; Coleman et al, 1964; Galloway et al, 1983; Hu et al, 1996; Brister, 2000; Saggaf, 2000) han utilizado las formas de las curvas de P.E. y resistividad para determinar facies y ambientes. Pero como se ha mencionado estas curvas no siempre son suficientes para determinar correctamente las características de los materiales atravesados y por tanto las facies. Por eso es preferible utilizar todos los registros disponibles para la interpretación.

Serra y Abott (1980a) analizan la respuesta de los parámetros de los registros de sondeo a los cuatro parámetros geológicos principales utilizados en el reconocimiento de facies. Estos mismos autores (1980b) intentan establecer un orden jerárquico teniendo en cuenta como influye en la respuesta de cada uno de los registros los tres parámetros geológicos principales: composición, textura y estructura, incluyendo también la influencia de los fluidos ya que éstos son inseparables de las rocas en el subsuelo y pueden influenciar ciertas mediciones. También Serra (1984) establece una relación entre la composición de una roca y los parámetros de los registros de testificación, por un lado y entre éstos y los rasgos estructurales de un depósito, por otro.

Sin embargo a menudo las sondas de testificación tienen una resolución vertical que no es suficiente para detectar eventos o secuencias muy delgadas, éstas serán detectadas sólo mediante microdispositivos como los registros de buzamiento, la herramienta FMS (Schlumberger, 1985) o los microperfiles, especialmente el registro de buzamiento de alta resolución HDT y SHDT (Serra 1986).

Otras sondas están siendo utilizadas para la caracterización de facies y ambientes sedimentarios como las sónicas (Sinha, et al, 1998), gamma ray (Chen 1998), sísmicas (Avseth et al, 1999; Mukerji et al, 1998; Avseth 2002), NMR (Rabiller, 2003) , magnéticas (Thibal et al, 1999) o incluso imágenes eléctricas (knecht, 2003).

Serra (1970) define el término electrofacies como el conjunto de las repuestas de los parámetros que caracteriza a un estrato y permite diferenciarlo de otros. Todas las respuestas de los registros (eléctricos, nucleares, acústicos, de buzamiento..) que indican los aspectos cuantitativos (valores del parámetro) y cualitativos (características de las curvas) representan, por lo tanto , las componentes de las electrofacies.

Es también Serra (1970) quien define el concepto de electrosecuencia a partir de la evolución progresiva de ciertos registros (resistividad, gamma natural, potencial espontaneo..) que tienen forma de rampa y lo define como un intervalo de profundidad de mayor espesor que la resolución vertical de la herramienta de medición y que representa una evolución continua y progresiva entre dos valores extremos del parámetro de medida, describiendo una rampa. Por lo tanto la sucesión de niveles con lecturas contiguas, de acuerdo al intervalo de muestreo utilizado define un electrobanco, estos niveles presentan los mismos valores y las variaciones de sus respuestas no exceden ciertos limites.

El objetivo del análisis de electrofacies mediante los perfiles de pozo es describir objetivamente las formaciones atravesadas durante la perforación mediante sus respuestas en los perfiles y reconocer las distintas electrofacies fundamentales, así como analizar su asociación vertical con otras secuencias

y por lo tanto poder deducir su evolución lateral, es decir reconstruir los modelos de electrofacies que ayudaran a definir los ambientes sedimentarios.

Uno de los primeros procedimientos para la caracterización de ambientes sedimentarios basado en el análisis de facies y secuencias a partir de diagrafías es el descrito por Serra y Abbott (1980). Este procedimiento consiste en dividir el intervalo de estudio en electrobancos o electrosecuencias a partir del análisis de la amplitud de las variaciones de las curvas registradas y definir para cada uno de ellos una Electrofacies.

El proceso automático de este método, consiste en transformar las aproximaciones del analista en funciones matemáticas o procesos estadísticos empleando para ello diversas técnicas como el uso de rosetas, gráficos de telaraña, histogramas o diagramas tipo escalera para visualizar las electrofacies y posteriormente utilizar técnicas de agrupamiento o clustering para definir un cierto número de electrofacies elementales, reduciendo el número inicial. Estas y otras técnicas han sido desarrollas por diversos autores en los últimos años como Lim (1997), Cuddy (1998), Lee (1999), Elphick (1999),Ye (2000), Kapur (2000), Robail (2001), Finol (2001), Antelo (2001) y Sullivan (2002) entre otros.

Por otro lado, el análisis secuencial consiste en analizar por un lado el tipo de transición existente entre una electrofacies y otra (contacto gradacional o neto) y por el otro, la distribución de electrofacies en secuencias verticales, a diferentes escalas (elemental, meso y megasecuencias).

La transición gradacional, por lo tanto, corresponde a una rampa o a una electrosecuencia elemental, detectable simultáneamente sobre una, dos o más curvas y el contacto neto corresponde a un cambio neto, significativo de las lecturas observadas a la misma profundidad de uno o varios perfiles en forma simultanea. A partir de este análisis se podría determinar el significado de estos cambios: transición de un termino de la secuencia a otro, o una interrupción en la secuencia sedimentaria o bien una falla, discordancia, etc... o bien, determinar secuencias de electrofacies.

Algunos gráficos de interrelación indican directamente las secuencias de electrofacies. Rider y Laurier (1979) usaron esta técnica para caracterizar secuencias deltaicas. Una técnica más precisa consiste en el análisis de la distribución de las facies a través de un estudio de probabilidades. Una vez que las electrofacies han sido definidas, se puede hacer un estudio de su organización vertical siguiendo la metodología propuesta por de Raaf et al (1965).

Selley (1970) propone representar la sucesión de electrofacies en un diagrama telaraña, este se conoce actualmente como diagrama de Relación de Facies (FRD), sin embargo Walker (1984) cuestionó este método por ser estadísticamente incorrecto, sugiriendo el uso del método de análisis de las cadenas de Markov (Vistelius, 1949; Mial, 1973; Torres et al, 1996;).

Otros autores han desarrollado expresiones para el análisis de secuencias (Bohacs, 1998) mediante el análisis de Fourier (Cooper, 1998) o mediante patrones de comparación (Xu 2002). Worthington (2002) define una serie de algoritmos para separar petrofacies, definiendolas como las subdivisiones que definen secuencias sedimentarias con propiedades físicas exclusivas de un ambiente.

Como señalo Middleton (1978), el objetivo final del análisis secuencial y faciológico es la reconstrucción del ambiente de depósito, por lo tanto el último paso es pasar del termino electrofacies (concepto

matemático) a facies (concepto geológico), es decir definir la litología con las características extraídas a partir de los registros (Bahar, 1997).

Además después del análisis de electrofacies y electrosecuencias para cada sondeo se puede reconstruir la distribución tempor-espacial de las mismas a través de la correlación de las electrofacies conjuntamente con las cronoestratigráficas. La aplicación de las técnicas de mapeo definirá la geometría de cada facies o grupo de facies (Curry et al, 1972; Allen, 2000;Mukerji, 2001) incluso se proponen técnicas de modelización en 3-D (Akatsuka, 2000).

Combinando los resultados del análisis de electrofacies procesados para varios sondeos de una cuenca, se puede construir una base de datos de electrofacies que a su vez podrá ser utilizada como referencia para el estudio de un nuevo sondeo.

Según Walker (1979) el análisis de las electrofacies y electrosecuencias que pertenezcan al mismo ambiente sedimentario permitirá extraer de las diagrafías las respuestas que caractericen a un ambiente de depósito. De esta manera podemos definir lo que Walker denomina modelo de facies que actuará como: 1) norma de comparación con cada nuevo ejemplo, 2) guía referencial de futuras observaciones, 3) elemento para predecir nuevas situaciones geológicas y 4) base integrada para la interpretación del ambiente que ella represente.

En este sentido muchos han sido los estudios realizados como los realizados por Al-Dajani et al (2000) en depósitos fluviales y eólicos, Allen (2000) en modelos deltaicos, Bridge (2000) en canales y barras fluviales fósiles o Gupta (2001) en depósitos heterolíticos.

En el caso de las cuencas continentales, hasta el momento se han realizado bastantes estudios utilizando el apoyo de diagrafías de forma no automática, tanto en el ámbito internacional (Tipper, 1988; Lorenz et al, 1991; Connally & Wiltse, 1994; .Ben Ismail, 1992; Rao, 1993; Brister, 2000; Mathisen et al, 2001; Ruf et al, 2005; Betzler et al, 2006;..) como en España (Lanaja, 1987; Rolandi et al., 1989; Querol, 1989; Díaz Curiel et al., 1995; Martín Sánchez et al., 1999...). Además se han desarrollado programas automáticos que involucran sistemas expertos (Doveton et al, 1996; Zhang et al, 1999; Chang 2000) para definir el ambiente de depósito directamente a partir de las diagrafías de testificación en sondeos.

2.3 PROGRAMAS INFORMÁTICOS

Existen en el mercado una serie de aplicaciones informáticas comerciales que realizan algunos de los procesos de interpretación y correlación geofísica de forma automática.

Entre los más conocidos, se encuentran programas de digitalización (DIGLOG - Interlink System), representación (LOGGER 5.0 - Rockware) o correlación (AUTOCORRELATE 1.1 - IMC) y algunos que realizan ciertos procesos de interpretación para determinadas sondas como ANALYTICAL COMPULOG (Century) PERMEABILITY FROM LOGS (Marathon Research), QUICKLOG & TOCP (Henderson Petrophysics) y EXCELOG (Sait Ismail Ozkaya) que es uno de los más completos. Sin embargo estos programas no son de libre divulgación y en la mayoría de los casos no se conocen los procesos matemáticos ni los algoritmos empleados.

Como se ha indicado, para la realización de este trabajo se va a emplear el sistema automático de interpretación y correlación de diagrafías descrito por Díaz Curiel (1996) en su tesis doctoral. Algunos de estos programas se han modificado para adecuarlos a la Cuenca de Madrid, en otros casos se han ampliado para completar los procesos de tratamiento e interpretación de los registros. Este sistema automático está compuesto de una serie de programas que realizan los siguientes procesos:

- DIAGRAB: Digitalización y grabación de registros analógicos
- DECALAR: Corrección de decalajes
- LINEA BASE: Cálculo de línea base y eliminación de sus desplazamientos
- SEGMENTAR: Segmentación de los registros
- CAPAS: Determinación de las capas del sondeo
- ARCILLA: Cálculo del contenido en arcillas
- TOTSOLDIS: Cálculo del total de sólidos disueltos
- RHOREAL: Cálculo de la resistividad real con estimación de la permeabilidad
- LITOLÓGICA: Interpretación litológica
- CORRELACAP: Correlación de capas
- ZONACION: Determinación de tramos geofísicos
- CORRELAZON: correlación de tramos

Por último, destacar que para la interpretación de ambientes sedimentarios a partir de registros geofísicos existen una serie de programas comerciales, entre ellos destacan: GEODIP, SYNDIP y LOCDIP para el calculo de buzamiento a partir de microperfiles de buzamiento de alta resolución, FACIOLOG para la determinación automática de electrofacies, LITHO para la determinación litológica de estas y GLOBAL para la interpretación cuantitativa de las mismas, todos ellos registrados por la marca Schlumberger.

CAPÍTULO 3:

INTERPRETACIÓN Y CORRELACIÓN DE DIAGRAFÍAS

A continuación se van a describir de forma pormenorizada los pasos a seguir para una interpretación homogénea de todos los registros convencionales. Se plantea realizar una serie de procesos de tratamiento, interpretación y correlación de diagrafías con el apoyo de procesos informáticos.

El desarrollo automatizado de los procesos de interpretación tiene como principales ventajas sobre la interpretación de forma personalizada, que además de dejar patente los criterios empleados, se realizan siempre con el mismo criterio y no dependen del interpretador.

3.1 PARÁMETROS DEL SONDEO

En los procesos de interpretación de diagrafías geofísicas de sondeos existen una serie de parámetros que influyen en los resultados obtenidos, como son el diámetro, la temperatura, la conductividad del lodo (y filtrado de lodo) y su densidad. Estos parámetros y su variaciones a lo largo del sondeo producen ciertos efectos que pueden apantallar los resultados de ciertos registros.

La mayoría de estos parámetros pueden medirse directamente mediante sondas de testificación convencionales (temperatura, diámetro, conductividad,...), siendo la densidad del lodo a lo largo del sondeo el que necesita una sonda menos convencional.

Sin embargo, normalmente, no se miden dichos parámetros directamente en el sondeo con las correspondientes sondas, principalmente como consecuencia del bajo nivel de estudios técnicos que se realizan dentro de los sondeos para captación de agua debido a la baja inversión en dichos sondeos, lo que obliga al empleo de un número mínimo de sondas convencionales.

Para paliar este inconveniente se ha decidido encontrar expresiones empíricas para estimar dichos parámetros de forma indirecta (Díaz Curiel et al, 1997c) a través de datos constructivos del sondeo, generalmente facilitados por la empresa de perforación, o a partir de medidas realizadas en superficie.

Dichas aproximaciones representan una herramienta útil para la interpretación cuantitativa de ciertos registros físicos de sondeos. Algunas de estas expresiones van a depender de factores como la litología, el tipo de agua, la rutina de perforación, ... etc. por lo que los resultados obtenidos se limitan a sondeos realizados en materiales detríticos y perforados con circulación inversa de lodos.

En concreto, para la determinación de estas expresiones se han utilizado los distintos registros realizados en varios sondeos testificados en la Cuenca del Tajo por el equipo de investigación de la Cátedra de Geofísica Aplicada de la E.T.S.I de Minas de Madrid.

Los valores medios obtenidos no pretenden caracterizar de forma determinante la zona de estudio sino obtener unos valores medios para los sondeos de captación de aguas subterráneas en estas grandes cuencas detríticas.

Estas estimaciones tampoco pretenden alcanzar una determinación exacta de dichos parámetros, sino, simplemente, mejorar los resultados que se obtienen en ausencia de la medida de dichos datos, minimizando, de esa forma, los errores cometidos. Por otro lado, para las relaciones estudiadas, se han desarrollado expresiones analíticas para un manejo rápido y sencillo bien manualmente o mediante ordenador.

Además de la utilidad de cara a la interpretación de registros geofísicos, pueden ser de utilidad para otros cálculos en sondeos, como son el cálculo de volumen de cementación, o la temperatura del agua de extracción, además de la posibilidad de utilizar la información de diagrafías antiguas o de las bases de datos existentes sobre testificaciones geofísicas de sondeos como, por ejemplo, la existente en el Instituto Tecnológico Geominero de España (I.T.G.E.).

Por último, la precisión de los resultados obtenidos, y de cara a la interpretación de diagrafías, hace recomendable, como se verá más adelante, la medida de la densidad del lodo en superficie y de un valor de temperatura en el sondeo, dado el bajo coste que ello representa.

3.1.1 Diámetro

La mayoría de los parámetros geofísicos que se pueden medir en un sondeo, salvo aquellos en los que el dispositivo de medida se adhiere a las paredes del sondeo, están afectados por el diámetro del sondeo, siendo su conocimiento indispensable para la interpretación de los resultados.

Los diámetros puntuales del sondeo, es decir, los valores que tiene el diámetro para cada profundidad, pueden suponerse, en primera aproximación, prácticamente iguales a los diámetros de perforación. No obstante, se debe señalar que los valores reales son algo mayores, salvo en algunos niveles, donde se atraviesan materiales expansivos, como determinadas arcillas.

Este aumento del diámetro depende en gran medida de factores sobre la rutina de perforación (carga, estado del tricono, retención del lodo, ...) y de los materiales atravesados, por lo que la estimación de un diámetro medio real será una aproximación que simplemente mejorará la consideración del diámetro medio real igual al de perforación.

Los valores medios se han obtenido a través de los registros de calibre de varios sondeos realizados en la Cuenca del Tajo (facies detríticas), obteniendo que el diámetro medio real es entre 4% y 7% mayor que el diámetro nominal de perforación, con un valor promedio igual a 6%, es decir:

$$D_{medio} = 1.06\ D_{perforación}$$

Las variaciones de diámetro dentro de cada sondeo muestran una variación mucho mayor respecto a su valor medio, llegando a alcanzar, en algunos niveles donde se acentúan los desprendimientos, diámetros más de 10 cm superiores al valor medio. No obstante, esos niveles son escasos y la consideración de un único valor para el sondeo es aceptable pues la diferencia media respecto a ese valor es de 1 cm.

Por último, hay que señalar que en determinados puntos críticos como son las reducciones de diámetro, dichos cambios resultan en la práctica más graduales con la profundidad. Esa gradación, muy variable en función de la rutina de perforación, se produce a lo largo de un intervalo de profundidad que en alguno de los sondeos estudiados supera los 5 metros.

Este cambio gradual de diámetro es especialmente significativo en los primeros metros de los sondeos por el cambio de diámetro que se produce por el emboquille del sondeo.

3.1.2 Temperatura

Este parámetro es necesario para la corrección de ciertos registros entre los que destacan los valores de conductividad del lodo y las resistividades de los distintos niveles atravesados durante la perforación.

Antes de describir los procesos realizados para su estimación, hay que señalar que los sondeos actúan térmicamente como sistemas cerrados, esto es, aunque existe intercambio energético con el terreno atravesado, éste es mucho mayor dentro del sondeo (en la vertical). De esa forma, el gradiente térmico dentro del sondeo no tiene por qué coincidir con el gradiente geotérmico, pues el sondeo puede alcanzar su propio estado de equilibrio térmico.

La distribución de temperatura dentro del sondeo depende del tiempo que transcurre desde la última intervención dentro de éste (perforación, extracción, ...etc.), por lo que los resultados que se utilicen deben estar referidos a una misma situación temporal. En este caso interesan los valores inmediatamente después de un proceso de circulación del lodo en el sondeo (durante el período de registro de las diagrafías).

Para el análisis de las curvas de temperatura con la profundidad se han utilizando siete diagrafías realizadas en la Cuenca del Tajo. En la figura 3.1 se presentan algunos ejemplos de dichos registros.

Para la estimación de la temperatura a lo largo del sondeo, en ausencia de datos medidos, lo más sencillo es utilizar una temperatura media en la superficie T_S y un gradiente térmico medio en el interior del sondeo G_T. Es decir:

$$T(Z) = T_s + G_T \times Z$$

La consideración de un gradiente térmico medio se aleja mucho de la realidad en los primeros metros del sondeo, donde el valor de temperatura está afectado por la presencia de la tubería de emboquille y la inercia térmica de la sonda (aunque esta última puede eliminarse si se detiene el registro hasta su estabilización) por lo que habrá que obviar esos metros.

Siguiendo un criterio de mínimos cuadrados se han obtenido los valores de la temperatura en superficie, que oscilan entre 16.3°C y 21.3°C, y de gradiente térmico, que varían entre 1.41°C/100m y 1.97°C/100m, con desviaciones medias para cada sondeo entre 0.2°C y 0.7°C. Los valores medios resultantes para el conjunto de los sondeos son:

$$T_S = 18.5°C \ ; \ G_T = 1.6°C/100m$$

El error cometido utilizando valores medios de temperatura en superficie y gradiente para todos los sondeos, oscila entre 0.7°C y 2.4°C con un error medio de 1.3°C.

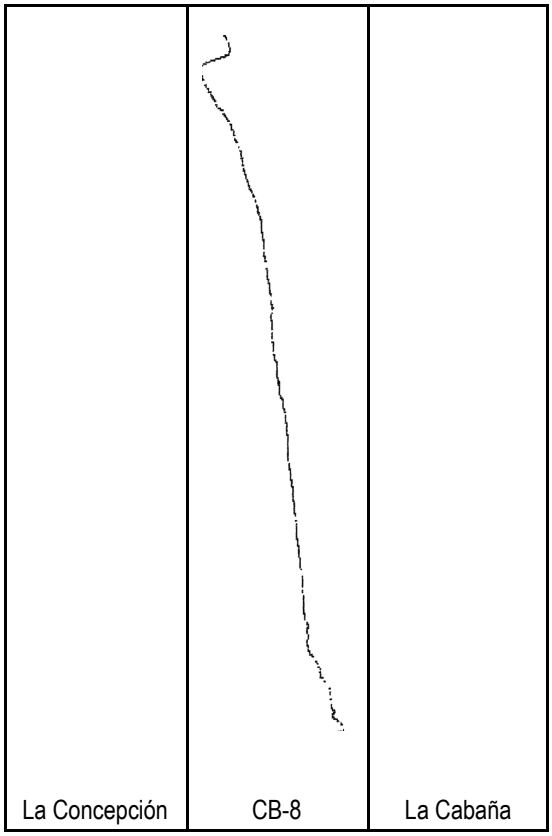


Figura 3.1 - Ejemplos de diagrafías de temperatura

Sin embargo, si se observa con detalle las diagrafías de temperatura en un sondeo recién perforado, se puede apreciar que la variación del registro con la profundidad muestra una tendencia no lineal. Mediante un método de mínimos cuadrados se ha determinado que el ajuste óptimo se encuentra empleando una función cuadrática con la profundidad, esto es:

$$T(Z) = T_0 + C_T \cdot Z^2$$

Los valores de dichos coeficientes para cada sondeo oscilan entre 19°C y 22°C la temperatura T_0, y entre $2.2 \cdot 10^{-5}$ y $3.3 \cdot 10^{-5}$ el gradiente térmico C_T, siendo los errores medios para cada sondeo entre 0.15°C y 0.5°C. Obteniendo que los valores medios para el conjunto de los sondeos son:

$$T_0 = 20.5°C \;;\; C_T = 3.2 \cdot 10^{-5} °C/m$$

La desviación media encontrada utilizando dichos valores medios para el conjunto de sondeos, oscila entre 0.4°C y 1.2°C con un error medio de 0.6°C, aunque para algunas profundidades pueden encontrarse diferencias de hasta 3°C.

Tanto si se adopta para el conjunto de los sondeos, un gradiente lineal medio o un coeficiente medio del término cuadrático, la diferencia entre considerar una temperatura en superficie para todos ellos sobre el valor óptimo en cada sondeo en particular, produce un desplazamiento en todos los valores teóricos de temperatura sobre los reales. La forma de evitar este error, sería disponer de algún valor de temperatura en el sondeo, bien de superficie o bien mediante un termómetro de máxima.

Esta diferencia parece deberse a la influencia de la temperatura de la balsa de lodos de reciente circulación, en los valores de temperatura en el sondeo, puesto que la temperatura de la balsa si está afectada por la variación térmica diaria y estacional (en ausencia de circulación esta influencia puede considerarse despreciable a partir de los 20 metros de profundidad).

3.1.3 Viscosidad del lodo de perforación

Los valores de viscosidad del lodo no influyen significativamente en los parámetros registrados en las diagrafías de sondeos para captación de aguas subterráneas, sin embargo, como se verá más adelante, es un valor útil para la obtención de la densidad a lo largo del sondeo, cuando ésta no se conozca.

Existen ciertos factores que pueden modificar la viscosidad del lodo, entre los que cabe destacar el pH, la presión y la temperatura. La viscosidad va a aumentar con el pH, siendo este aumento muy brusco para pH mayor de 10 (Puy Huarte, 1977). Del mismo modo, la viscosidad aumenta exponencialmente con la presión (Mcatee et al, 1983).

Por último, la variación de la viscosidad del lodo con la temperatura se produce de igual forma que para el agua sin aditivos. Dicha relación se ha obtenido a partir de datos tabulados para el agua en estado líquido (International Critical Tables, 1928-1929 en Benítez, 1972), que muestran la forma de una exponencial decreciente que se representa en la figura 3.2.

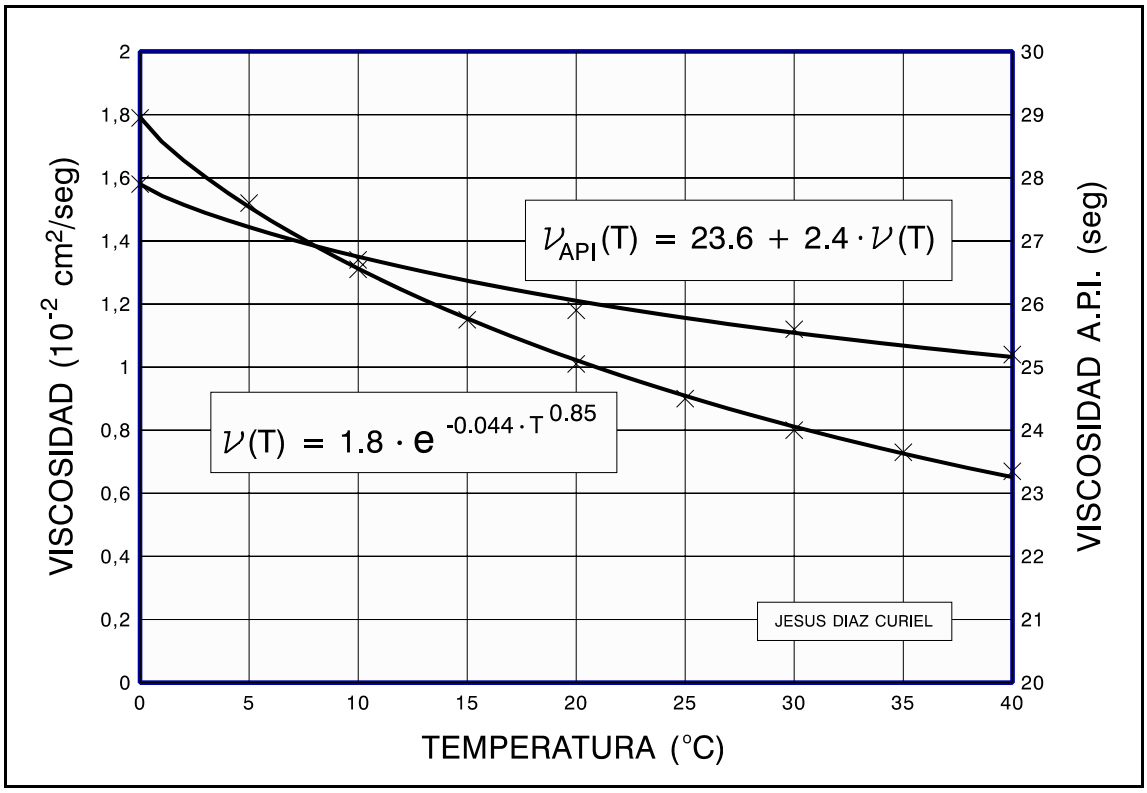


Figura 3.2 - Valores de Viscosidad/Temperatura para el agua

En esa misma figura se ha representado, en función de la temperatura, una segunda relación de la viscosidad en segundos, aproximada a partir de los valores obtenidos experimentalmente para el agua en estado líquido, mediante un Embudo MARSH normalizado según norma A.P.I. (Díaz Curiel, 1996).

3.1.4 Densidad del lodo de perforación

Entre otros, el valor de densidad del lodo es fundamental para la corrección de las diagrafías de emisión gamma natural. En la mayoría de los sondeos que se realizan en la actualidad, es práctica común la medida de la viscosidad A.P.I. (en segundos) del lodo de perforación. Por el contrario, rara vez se miden los valores de densidad del lodo, por lo que tendremos que deducirlos a partir de estos valores de viscosidad.

La relación entre ambos parámetros depende del tipo de lodo de que se trate, por lo que para esta estimación se ha analizado dicha relación para los lodos más comunes empleados en hidrogeología, esto es: Revert, Bentoníticos y Naturales. Entendiendo por lodos naturales aquellos que se forman utilizando agua como fluido de perforación a la que se le van incorporando los limos y arcillas de los niveles atravesados durante la ejecución del sondeo.

Podemos encontrar en la bibliografía estudios anteriores sobre curvas de viscosidad-concentración para lodos naturales y bentoníticos (Subcomittee of the A.P.I. Southern, 1969 y Rogers, en Cambefort, 1962), pero existen grandes diferencias entre ambos trabajos por lo que se ha optado por realizar una serie de medidas de laboratorio sobre muestras representativas de los lodos de perforación empleados en nuestro país. En un primer estudio, se puede observar que los valores obtenidos para lodos bentoníticos se asemejan más a la curva presentada por Rogers y para lodos naturales, se aproximan más a la curva del subcomité del A.P.I.

Los valores obtenidos de viscosidad en función de la concentración de aditivos (arcillas y finos en el caso de lodos naturales) se han aproximado a funciones analíticas para poder emplearlas posteriormente por ordenador, obteniendo como resultado las curvas mostradas en la figura 3.3.

Aunque para algunos lodos los datos se aproximan muy bien a una exponencial cuadrática, una función de aproximación más genérica para todos los tipos de lodos, en función de la temperatura -T- y la concentración de lodo -$\div_a$-, viene dada por la ecuación:

$$\nu(\mathbb{C}_a,T) = \nu_{API}(T) \cdot e^{K_1 \mathbb{C}_a + K_2 \mathbb{C}_a^4}$$

donde:
$K_1 = 1.35 \cdot e^{-0.00072T^2}$ y $K_2 = 0.8$ → para lodos Revert
$K_1 = 0.08$ y $K_2 = 0.00022$ → para lodos Bentoniticos
$K_1 = 0.02$ y $K_2 = 0.00005$ → para lodos Naturales

Aunque todos estos coeficientes varían ligeramente con la temperatura, dicha variación se ha despreciado, salvo en la constante K_1 para el caso de lodos Revert, en los que la influencia de la temperatura es mucho mayor.

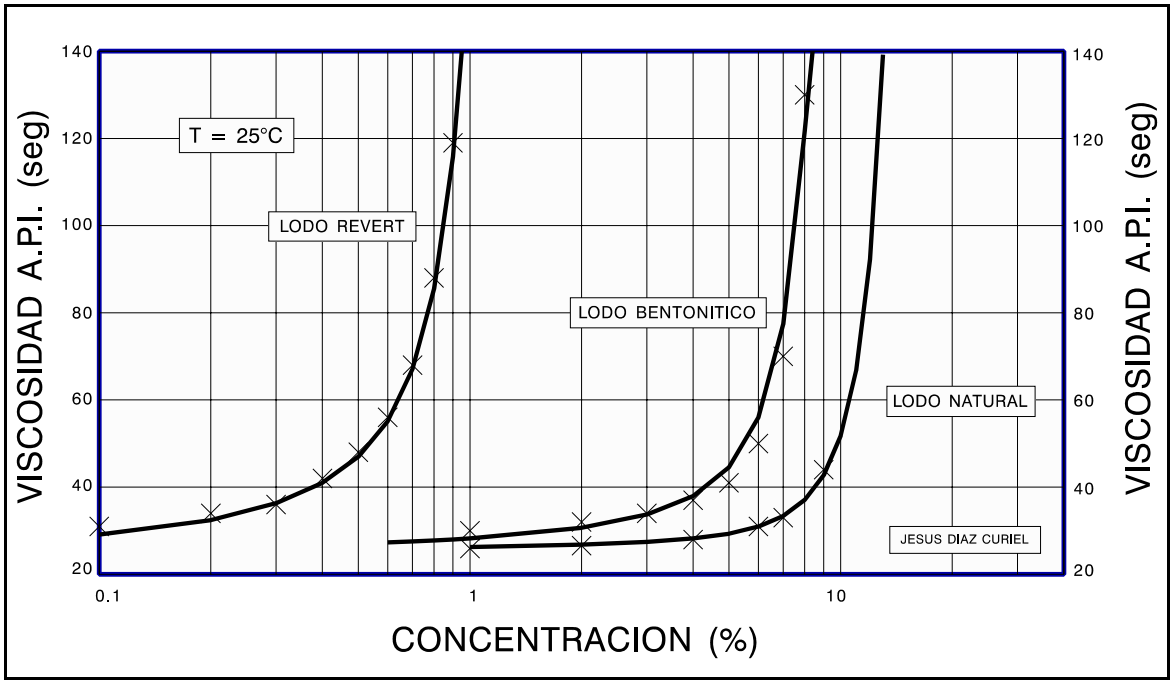


Figura 3.3 - Viscosidad en función de la Concentración de Lodo

Las expresiones anteriores para lodos bentoníticos y revert, se han obtenido empleando lodos limpios por lo que, en principio, serán válidas para lodos totalmente decantados. En la práctica, durante el proceso de testificación geofísica, los lodos todavía mantienen en suspensión cierta cantidad de finos, lo cuál aumenta su densidad sin aumentar de forma significativa su viscosidad.

Por esa razón, para obtener los valores de densidad a partir de las viscosidades en esos dos tipos de lodos, se deben considerar, en primer lugar, los efectos de los aditivos y, posteriormente, analizar la presencia de finos.

A partir de los valores de concentración, las densidades de los lodos con aditivos se pueden obtener mediante la relación:

$$\rho_a\ (gr/cm^3) = 1 + (\div_a/100) / C_1$$

donde C_1 va a variar en función del tipo de lodo. Aunque los valores de dicho coeficiente podrían obtenerse teóricamente, se ha preferido determinarlos mediante ensayos de laboratorio sobre 8 muestras de lodos bentoníticos y 7 de revert.

A continuación se deben corregir estos valores de densidad por un factor C_2 que depende de la cantidad de finos en suspensión (y de algunos solutos que puedan agregarse). Aunque algunos autores aconsejan perforar con un contenido de finos menor al 1% del volumen de lodos (Jannaire, 1982), en la práctica este porcentaje suele ser bastante superior alcanzando hasta un 20%.

Si se considera un valor del 8%, que es el valor medio obtenido para 16 muestras de lodo, como el porcentaje de finos que suelen presentar los lodos, entonces el valor de dicho factor es 1.05, por lo que la densidad final estimada será:

$$\rho = \rho_a \cdot 1.05.$$

Para lodos naturales, en cambio, las concentraciones obtenidas ya incluyen la presencia de materiales solubles y de materia en suspensión. Sin embargo, para mantener una expresión análoga en los tres casos, se ha calculado el valor del coeficiente C_1 sobre 11 muestras de lodos naturales, considerando un valor para el coeficiente C_2 igual a 1.

La expresión final para la obtención de los valores de densidad a partir de los concentraciones deducidas de la viscosidad es:

$$\delta\ (gr/cm^3) = (1 + \frac{C_a/100}{C_1})\ C_2$$

donde: $C_1 = 2.2$ y $C_2 = 1.05$ 6 para lodos Revert
$C_1 = 2.3$ y $C_2 = 1.05$ 6 para lodos Bentoníticos
$C_1 = 1.5$ y $C_2 = 1$ 6 para lodos Naturales

Aunque el error resultante para las 26 muestras analizadas alcanza en un caso un valor del 2%, el error medio para el conjunto es del 1%.

3.1.5 Conductividad del filtrado de lodo

Tanto la conductividad del lodo como la del filtrado del mismo son imprescindibles para la interpretación de las diagrafías eléctricas.

La conductividad del lodo y de su filtrado, pueden medirse fácilmente mediante sondas de conductividad de fluidos. Sin embargo, es un dato que, siendo vital para la interpretación de los registros eléctricos, con frecuencia no aparece entre las características del sondeo que deben figurar en el documento de una testificación geofísica.

Para la estimación de la conductividad del lodo se ha partido de su valor en una muestra reciente del lodo de perforación obtenido a su salida del sondeo y se ha considerado una conductividad uniforme a lo largo del sondeo.

Esta consideración es válida siempre que se realicen los registros geofísicos inmediatamente después de un proceso de circulación del lodo en el sondeo, advirtiendo que, en caso contrario, dicha afirmación tiene fuertes limitaciones, ya que pasado cierto tiempo desde la perforación se produce la decantación de partículas del lodo por lo que la conductividad puede variar a lo largo del sondeo.

Para la obtención de los valores de conductividad del filtrado a partir de la del lodo, existen varias expresiones entre la que cabe señalar la expresión dada por Schlumberger (1977):

$$R_{mf} = K_* R_m^{1.07}$$

donde los valores de K_* se obtienen por interpolación lineal entre el siguiente conjunto de valores para densidad del lodo:

Densidad (gr/cm^3)	1.20	1.32	1.44	1.56	1.68	1.92	2.16
K_*	.847	.708	.584	.488	.412	.380	.350

Sin embargo, dicha expresión, obtenida para los lodos utilizados en sondeos petrolíferos, se aleja de los resultados que se obtienen en los lodos, no salinos y más livianos, empleados en hidrogeología.

Para ello, dada la continuidad de los valores del coeficiente K_* con la densidad, se puede buscar una función de interpolación y extrapolar para valores de densidad más bajos, resultando que k_* puede obtenerse mediante la relación:

$$k_* = 1.23/*^2$$

lo que supone que para densidades menores de 1.1, las resistividades del lodo y del filtrado muestran mayor diferencia de lo que se observa experimentalmente.

Por esta razón, se ha intentado obtener una relación para los lodos más comunes empleados en hidrogeología, los ya citados lodos bentoníticos, orgánicos (Revert) y naturales.

En primer lugar, se debe señalar la diferente influencia que ejercen los aditivos (en parte solubles) y el detrito en suspensión, en el comportamiento eléctrico del lodo. Por regla general, los aditivos bentonita y revert, aumentan la conductividad del lodo, aunque en mucho menor medida el revert que la bentonita.

En cambio, el detrito en suspensión, limos y arcillas en nuestro caso, aumenta ligeramente la conductividad de los lodos revert (y los naturales), pero disminuye claramente la conductividad de los lodos bentoníticos.

Dado que ambos componentes actúan en sentido opuesto, la metodología empleada para su evaluación ha consistido en cuantificar separadamente los efectos de los aditivos y de la presencia de finos en suspensión y considerar posteriormente un porcentaje determinado de estos últimos.

En la figura 3.4 se presentan los valores obtenidos para lodos bentoníticos (bentonita facilitada por Minas de Gador S.A.) y Revert (facilitado por la empresa Johnson en Francia) con distintas concentraciones y para una serie de 16 muestras de lodos naturales de distintos sondeos. En dicha figura se ha incluido las rectas para interpolación obtenidas de manera gráfica.

Las expresiones de interpolación lineal encontradas, que definen las relaciones entre ambas conductividades son:

Bentonita: $C_{Filtrado} = 0.86 \cdot C_{Lodo}$
Naturales: $C_{Filtrado} = 0.94 \cdot C_{Lodo}$
Revert: $C_{Filtrado} = 1.09 \cdot C_{Lodo}$

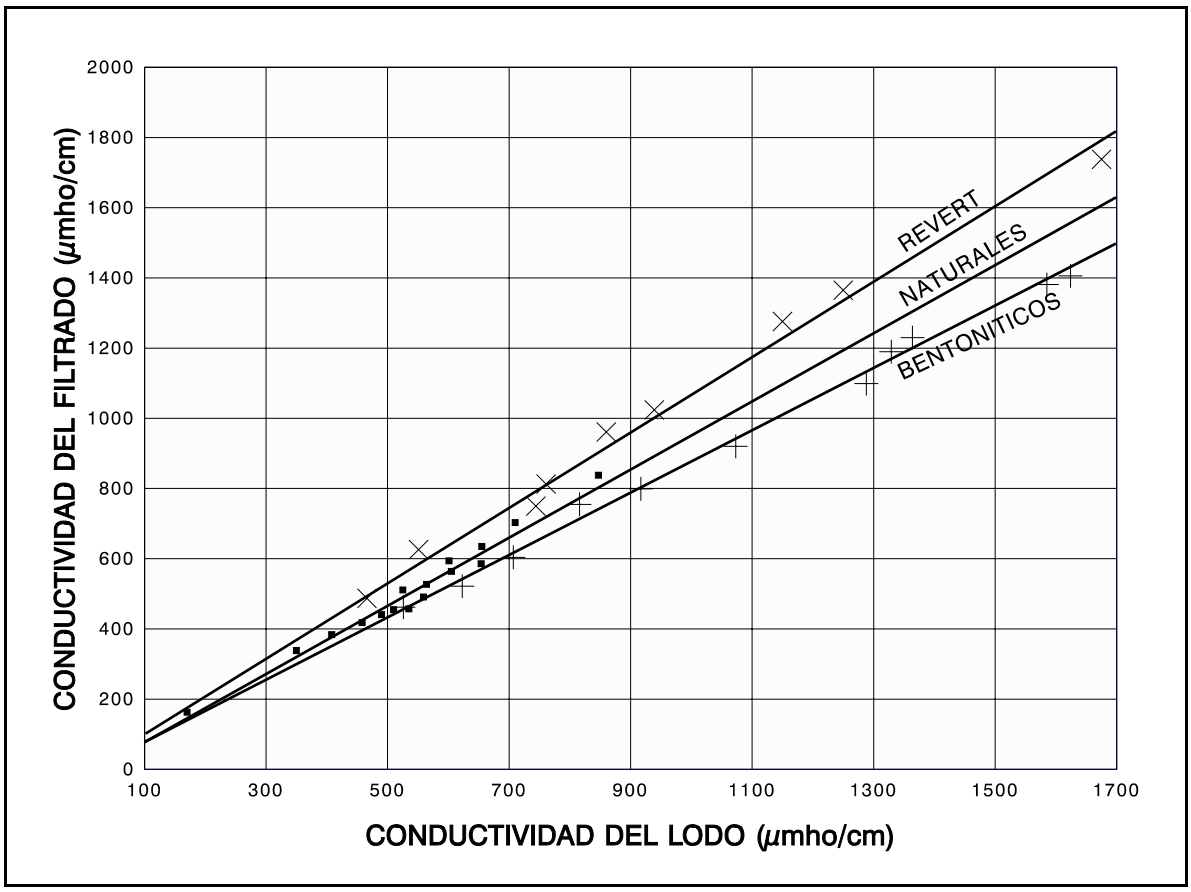


Figura 3.4 - Curvas de Conductividad del lodo / Conductividad del filtrado para los distintos lodos estudiados

Sin embargo, la proporción de detrito en el lodo, dentro de los márgenes estudiados, no afecta significativamente a la relación entre las conductividades del lodo y del filtrado tal y como puede verse en las tablas 3.1 y 3.2.

Tabla 3.1 - Relación de conductividades de lodos bentoníticos con distintas proporciones de detrito en suspensión

Densidad (g/cm^2)	1.014	1.036	1.062	1.088	1.110	1.140
C_{lodo} (: mho/cm)	1073	973	910	865	835	810
$C_{filtrado}$ (: mho/cm)	920	824	770	738	725	694
$C_{fil.}/C_{lodo}$	0,86	0,85	0,85	0,85	0,87	0,86

Tabla 3.2 - Relación de conductividades de lodos Revert con distintas proporciones de detrito en suspensión

Densidad (g/cm^2)	1.026	1.033	1.052	1.075	1.094
C_{lodo} (: mho/cm)	141	551	730	941	1675
$C_{filtrado}$ (: mho/cm)	155	626	788	1008	1738
$C_{fil.}/C_{lodo}$	1,10	1,14	1,08	1,07	1,04

Este mismo efecto ocurre en los lodos naturales, donde la concentración de detrito no influye significativamente en dicha relación. No obstante, se debe recordar que las distintas composiciones del detrito (solubles e insolubles) en los lodos de zonas diferentes con aguas de distinta conductividad, provoca una dispersión mayor en la correlación entre los valores de conductividad del lodo y del filtrado.

3.2 TRATAMIENTO DE LOS REGISTROS

El primer requisito indispensable para el tratamiento de los registros es que éstos estén discretizados a intervalos equidistantes de profundidad. En registros digitales, la medida de los distintos parámetros suele realizarse internamente a intervalos constantes de tiempo, que posteriormente se transforman en intervalos regulares de profundidad, en función de la velocidad registro.

Sin embargo, los equipos analógicos, como el empleado en la Cátedra de Geofísica, proporcionan registros continuos por lo que, para su tratamiento informático, se deben primero digitalizar (siempre con intervalos de profundidad que reflejen cualquier variación en los registros) y posteriormente transformarlos en series de valores equidistantes en profundidad.

Por lo tanto el primer paso a realizar es la conversión de los registros analógicos a registros digitales de ordenador con lo que se consigue, por un lado una normalización de todos los registros realizados en los distintos sondeos, homogeneizando además las diagrafías realizadas con diferentes equipos, se facilita el manejo de éstas y por último, se tiene toda la información agrupada en formato compatible.

Una vez discretizados los registros ya se pueden iniciar los procesos de tratamiento fundamentales para la interpretación y correlación de diagrafías, que son, la eliminación de tendencias de algunos registros y la corrección de los decalajes entre los registros de distintos parámetros.

3.2.1 Corrección de Tendencias

Se denominan como tales, a las variaciones de carácter global que sufren algunos registros geofísicos debidas a cambios de ciertas características del entorno de medida a lo largo de los sondeos.

Para una correcta interpretación de las diagrafías se debe realizar un tratamiento previo de éstas para eliminar ciertos efectos derivados del sistema de medida, espesor de las capas, geometría del pozo, temperatura, densidad o conductividad de lodo..., que apantallan los resultados de los parámetros medidos. Algunas de las características que provocan esas tendencias pueden estimarse indirectamente como se ha indicado en el capítulo 3.1.

Cada registro tiene unas correcciones específicas y su corrección será detallada en el capitulo 3.4 de interpretación cuantitativa ya que deben realizarse tras el proceso de segmentación. Estas correcciones que deberían ser frecuentes en la interpretación de los registros geofísicos no se realizan en la mayoría de los casos, por lo que los resultados obtenidos pueden conducir a errores en la interpretación.

Sin embargo la mayoría de las diagrafías a pesar de estas correcciones específicas presentan un desplazamiento general del registro, denominado desplazamiento de linea base.

Algunos registros, como el de potencial espontáneo o el de gamma natural, al atravesar niveles impermeables define una linea conocida como linea base de las arcillas, que en un principio debería mantener un valor constante, sin embargo ésta suele presentar desplazamiento que es necesario corregir para la correcta interpretación cuantitativa.

3.2.1.1 El Registro de Potencial Espontaneo

Como se ha indicado el registro de P.E. puede sufrir un desplazamiento de línea base, es decir, dicha línea, que teóricamente debería mantener un valor constante, sufre a veces variaciones positivas o negativas a lo largo del sondeo que puede deberse a diversos motivos tales como:

•Cambios de salinidad del lodo con la profundidad.
•Variaciones elevadas en la viscosidad, densidad o concentración del lodo con la profundidad, debidas a fenómenos de decantación.
•Cambios del lodo durante el proceso de perforación.
•Fuertes cambios de temperatura en la balsa de lodos (electrodo de superficie).

Esta línea se toma de referencia para obtener las anomalías de P.E. de forma que dicha anomalía sea la diferencia del valor que toma el P.E. en cada capa y el valor de dicha línea.

Para el cálculo automático de los valores de P.E. en los distintos niveles permeables es necesario determinar matemáticamente esa línea. La determinación y eliminación de los desplazamientos de la línea base mediante métodos automáticos es relativamente viable para este registro

Se van a emplear una serie de algoritmos (Díaz Curiel et al.; 1998c) para calcular la línea base de forma previa a la interpretación. Dado que los desplazamientos de dicha línea pueden ser discontinuos o graduales, bien de forma lineal con la profundidad o siguiendo variaciones de cualquier grado, se deben seguir los siguientes procesos.

En primer lugar, se utiliza un algoritmo de determinación de la línea base, en función del grado de variación que presente dicha línea respecto al propio registro de PE. El proceso comienza con la determinación de valores extremos (mínimos o máximos) a lo largo de una ventana de estudio y posteriormente se puede realizar una interpolación entre dichos valores bien, mediante interpolación lineal o cubica entre dichos valores o bien mediante la obtención de los valores intermedios compensándolos por el grado de variación del registro frente a la linea que se va elaborando.

Una vez elegido el método de cálculo óptimo, debe definirse el signo de las anomalías que se producen en el registro. La hipótesis para determinar dicho signo es considerar que las variaciones de la línea base son siempre menores que las variaciones del registro sobre ella.

Bajo esta hipótesis se determinan las líneas de extremos con una ventana de estudio determinada y se elige como línea base definitiva, la que presenta el menor grado de variación. Cuando las anomalías presentes son tanto positivas como negativas, el método elaborado puede producir resultados erróneos, por lo que se pueden emplear otras dos técnicas de cálculo, bien por aproximación polinómica, bien por registro suavizado.

A pesar de todos los algoritmos empleados, puede ocurrir que el registro sea lo suficientemente complejo como para que ninguno de ellos proporcione resultados satisfactorios. Por esta razón existe la posibilidad de generar la línea base directamente en la pantalla mediante la utilización de cursores.

Una vez determinada la línea base, se deben eliminar sus desplazamientos, puesto que esta línea tiene teóricamente valor nulo. El resultado que se obtiene es el mismo que si directamente calculamos las diferencias, para cada profundidad, entre el valor del registro y el valor de la línea base.

En la figura 3.5 se muestra un ejemplo de una diagrafía de P.E. con el registro sin corregir, la línea base obtenida de forma automática y el registro obtenido tras la eliminación de los desplazamientos que sufre dicha línea.

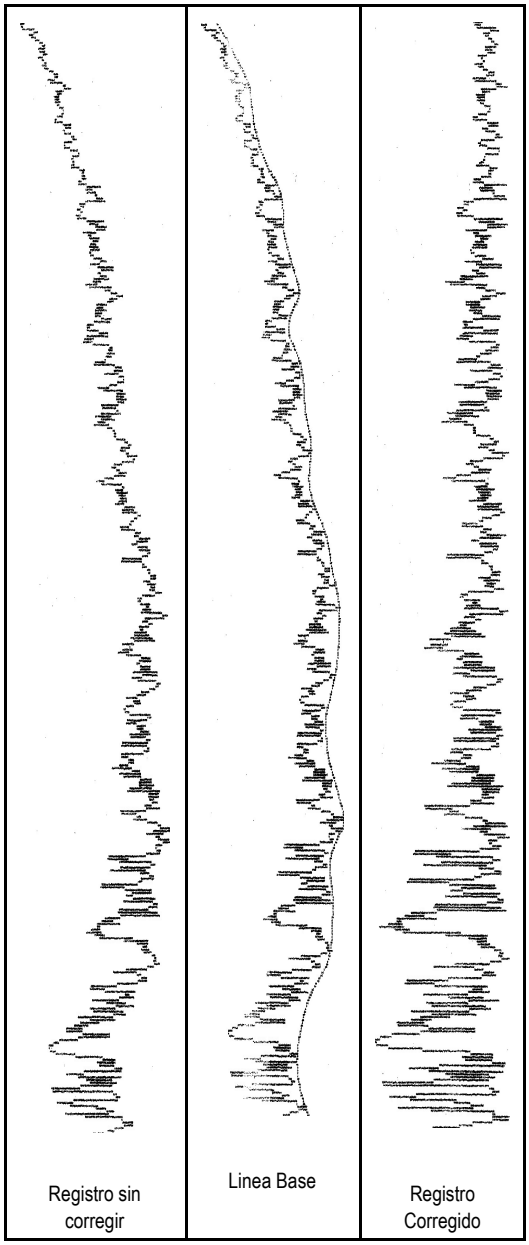


Figura 3.5: Cálculo automático de linea base y eliminación del desplazamiento en un registro de potencial espontáneo en el sondeo Santa María

3.2.1.2 El registro de Gamma Natural

El registro de radiación gamma se ve afectado por la influencia de un fondo de radiación que se suma a la radiación natural de las formaciones, provocado por la emisión de las arcillas agregadas al lodo de perforación y que define su propia linea base de arcillas

Si se quiere eliminar dicho fondo, en el caso de que éste sea constante, la forma más directa es medir su valor en un bidón de lodo con el mismo diámetro que el sondeo y restar dicho valor a todo el registro.

Sin embargo, al igual que para el potencial espontáneo, algunos registros de radiación gamma muestran un desplazamiento en dicha línea base de radiación (para medios no radiactivos) que se debe corregir para obtener una correcta interpretación.

El desplazamiento de linea base de estos registros, se produce por los cambios de concentración del lodo, y con ello de su densidad y del fondo de radiación, debidos a la emisión que provocan las arcillas presentes en el lodo de perforación, que no es constante a lo largo del sondeo sino que aumenta con la profundidad al ir decantándose éstas en el fondo del sondeo. Este hecho se observa significativamente en sondeos registrados tiempo después del proceso de circulación del lodo.

Para corregir la tendencia derivada de la variación de dicho fondo se pueden emplear los mismos métodos matemáticos que los empleados en la corrección de la linea base del registro de potencial espontaneo con anomalías positivas.

Una vez determinada la línea base se pueden eliminar sus desplazamientos. Puesto que esta linea tiene el valor mínimo registrado la corrección se realiza normalizando entre este valor y el máximo. El resultado que se obtiene es el tramo del registro corregido entre el valor mínimo registrado (valor de la linea base) y el valor máximo.

En la figura 3.6 se muestra un ejemplo de una diagrafía de Gamma Natural con el registro sin corregir, la línea base obtenida de forma automática y el registro obtenido tras la eliminación de los desplazamientos que sufre dicha línea.

Por otro lado los efectos derivados de la geometría del pozo, como son la densidad del lodo y las variaciones del diámetro de perforación a lo largo del sondeo, producen además del desplazamiento de esta línea base la atenuación de los valores registrados de emisión de gamma natural.

Para realizar estas correcciones se debe contar con el registro de densidad del lodo o algún otro parámetro del que deducir su densidad, como viscosidad o resistividad y con los distintos diámetros de perforación. Sin embargo las correcciones debidas a los efectos de la geometría del pozo deben realizarse tras la segmentación y previamente a la interpretación cuantitativa, al realizar las correcciones específicas de este registro como se detallará más adelante.

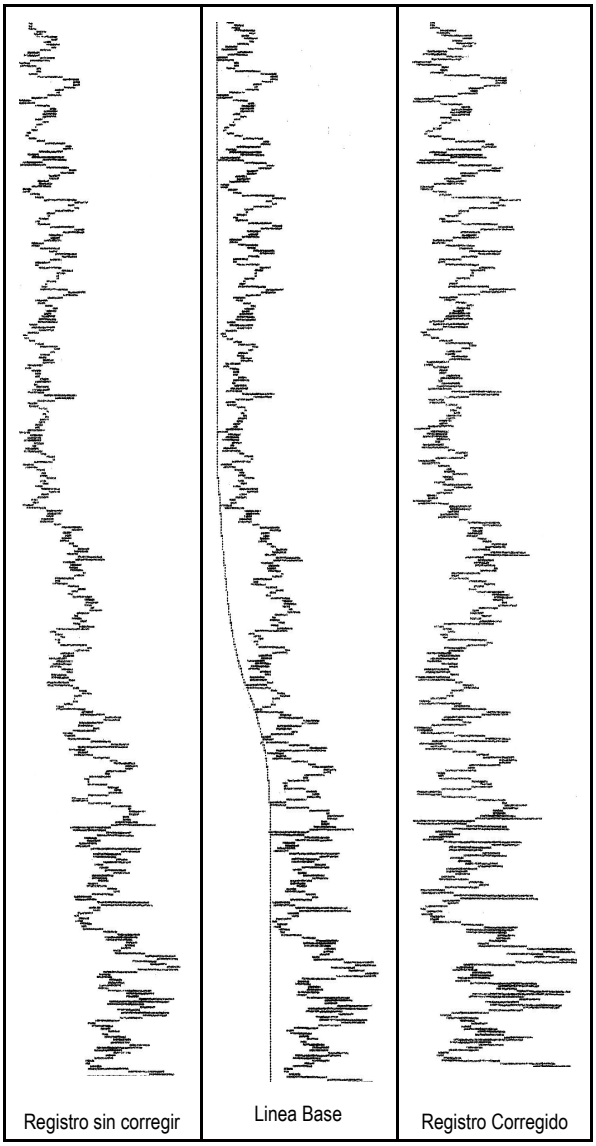


Figura 3.6: Determinación de linea base y eliminación del desplazamiento del registro de Gamma Natural del sondeo CB-11

3.2.3 Corrección de Decalajes

La distancia entre los sensores o dispositivos de medida en una sonda múltiple provoca que la información de cada uno de los parámetros medidos corresponda a profundidades distintas, cuya diferencia es justo la distancia entre los sensores o puntos de atribución. Aunque esta distancia es conocida, y por tanto podríamos restarla, en ocasiones no se realiza el registro simultáneo de todos los parámetros, bien por corresponder a sondas distintas o bien porque ciertos parámetros conviene registrarlos mientras se baja la sonda, y otros durante la subida. Esto provoca que los pequeños descensos puntuales de la velocidad real de la sonda durante la bajada, y las diferentes tensiones del cable durante la subida, produzcan pequeñas diferencias en la profundidad real a lo largo de los registros.

En equipos analógicos, además, la representación simultánea de los registros obliga a que la posición de las plumillas no coincida en profundidad (de lo contrario no podrían cruzarse), provocando una nueva diferencia entre las profundidades reales de cada parámetro.

También se debe contar con los inevitables errores de profundidad producidos durante la digitalización fraccionada de los mismos (dadas las elevadas longitudes de las diagrafías profundas) necesaria para su tratamiento informático.

La diferencia de profundidad entre los distintos registros, resultante de todos estos efectos, se conoce, en el argot de la testificación geofísica, como decalaje.

Mentalmente, la estimación de ese decalaje lleva implícito un proceso simultáneo de interpretación, al igualar las profundidades de las capas que reflejan cada uno de los registros. Para realizar la corrección de decalajes de forma automática, y con anterioridad a la interpretación, se utilizan en este estudio criterios matriciales entre los distintos registros.

Este proceso se realiza entre pares de registros, considerando siempre uno de ellos correspondiente a la profundidad real (tomada al inicio de la realización de la diagrafía).

Dada la génesis de los decalajes, dichas técnicas matriciales no se realizan de una sola vez entre los dos registros completos, sino que se efectúa la comparación de los registros en un número determinado de intervalos de profundidad para, posteriormente, promediar los decalajes obtenidos entre todos ellos y obtener un decalaje medio final.

La función matricial entre registros producirá un máximo o un mínimo cuando la correlación entre las dos diagrafías sea la mayor posible. Entre los distintos registros de resistividad se tendrá un máximo al decalar los registros hasta los puntos de mayor correlación, entre los registros de resistividad y potencial espontáneo, en cambio, se producirán máximos o mínimos en función de la relación entre la conductividad del agua de las capas y la del lodo y entre registros de resistividad y de radiación gamma, como los niveles con aumento de resistividad se corresponden con disminuciones de radiación gamma, se obtiene un mínimo.

En la figura 3.7 se presentan las funciones matriciales resultantes en los distintos intervalos, entre los registros de resistividad lateral y normal corta en el sondeo CB-9.

Como se puede apreciar los decalajes no son iguales en todos los intervalos por lo que se arrastrarán ciertos decalajes locales que se volverán a encontrar cuando se intenten establecer los límites de las capas paramétricas del sondeo

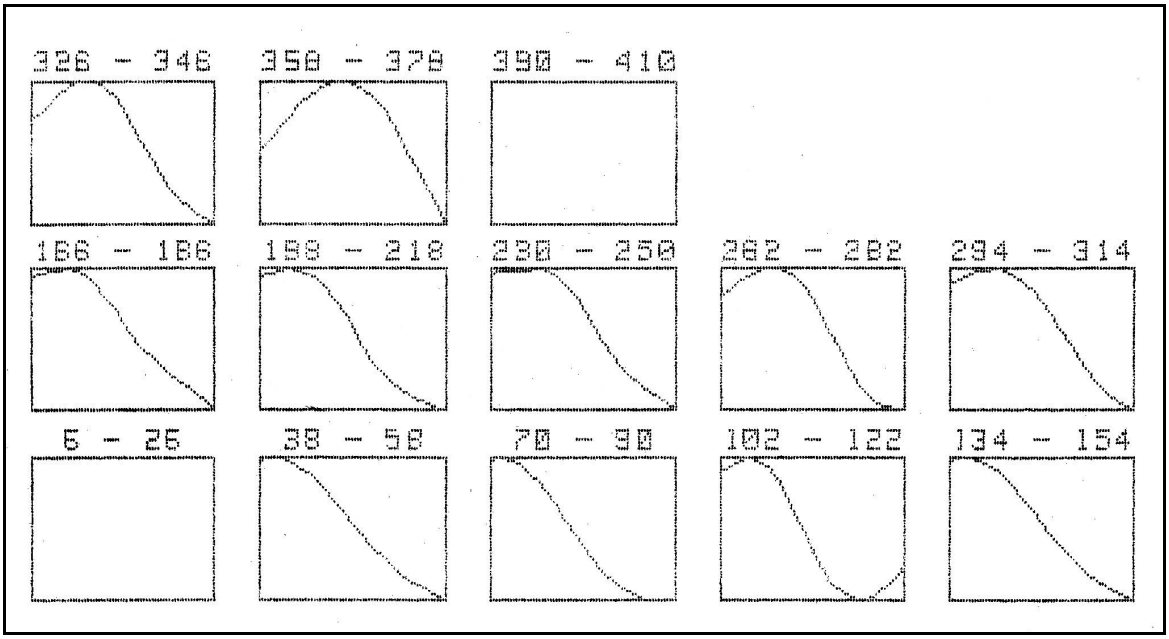


Figura 3.7 - Cálculo de decalajes entre R.N.C. y RLAT.

3.3 SEGMENTACIÓN

Este proceso consiste en transformar el registro continuo de un parámetro en una serie de límites de profundidad entre los que se determina un valor del parámetro medido.

Dentro de las técnicas matemáticas que se empelan para realizar el proceso de segmentación de registros, la elegida es la determinación de los puntos de inflexión (Díaz Curiel et al.; 1998a), tanto por la calidad de los resultados, que dependen básicamente de los filtros de suavizado y de derivación que se definan, como por el reducido tiempo de procesado que requiere.

Este proceso se realiza en tres fases diferenciadas:

- Determinación de límites: Delimitación de la profundidad de techo y de muro correspondientes a los distintos niveles determinados por cada parámetro.

- Valor aparente entre límites: Asignar un valor aparente del parámetro registrado en el intervalo de profundidad definido por dichos límites.

- Determinación de capas parámetricas: Determinación de las capas definitivas del sondeo mediante el estudio de concordancia de los límites y variaciones de amplitud entre los distintos registros.

3.3.1 Determinación de Límites de capa

El método seleccionado para determinar los límites ha sido el cálculo de los puntos de inflexión de los registros, esto es, a través de los puntos de segunda derivada nula. Posteriormente, estos límites se modifican y/o anulan en función de una serie de criterios, tanto dependientes del parámetro que se trate, como de patrones de transición.

Dado que, al tratarse de una curva discretizada a intervalos equidistantes de profundidad, las profundidades de los puntos exactos de inflexión no tienen por qué coincidir con una de esas profundidades, se toman los puntos consecutivos para los cuáles el valor de la segunda derivada cambia de signo.

Posteriormente, mediante interpolación lineal entre esos dos puntos, se calcula la profundidad exacta para la cuál se anula la segunda derivada y se adopta, como profundidad de inflexión, la del punto más próximo a dicha profundidad. Los puntos de inflexión encontrados representan los límites matemáticos iniciales de los distintos niveles para cada uno de los parámetros a lo largo del sondeo.

En la figura 3.8 se han incluido los distintos estadios en el cálculo de las derivadas, para apreciar el correcto funcionamiento del proceso.

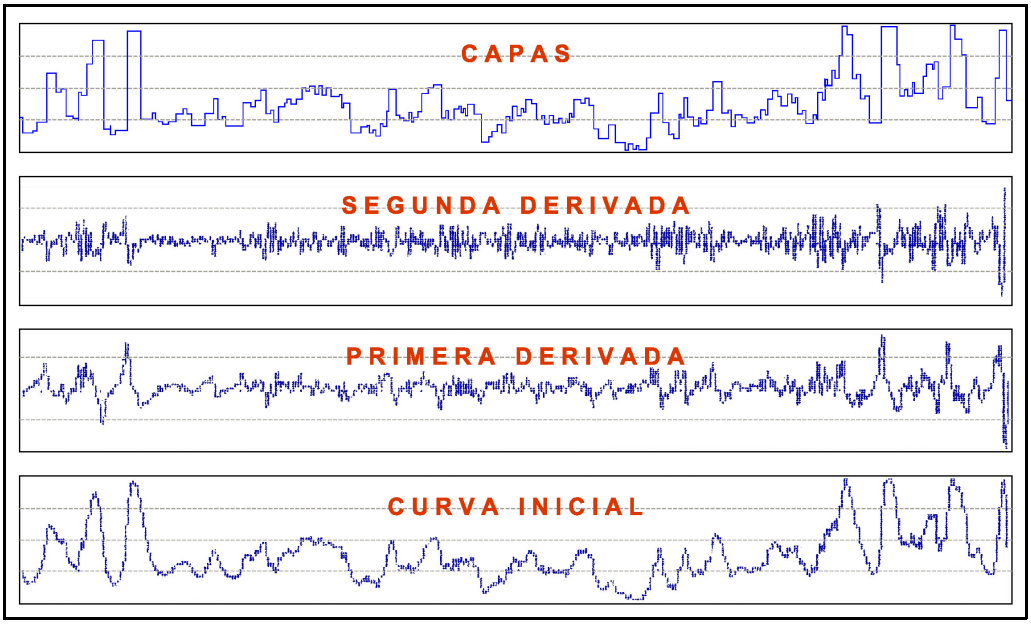


Figura 3.8 - Proceso de segmentación de resistividad normal larga en el sondeo CB-8

3.3.2 Valor Aparente entre Límites

Una vez determinados los límites de cada registro, el valor inicial que suele asignarse a todo el intervalo de profundidad entre éstos, si se trata de límites entre los que aparece un máximo o un mínimo en el registro, es dicho valor extremo. Si se trata de una capa delgada donde no llegue a alcanzarse un extremo local, tomaremos el valor máximo dentro del intervalo en el caso de que el registro presente curvatura positiva, o el mínimo si tiene curvatura negativa.

Para realizar este proceso matemáticamente, si entre los límites fijados la segunda derivada es positiva, se asigna a todo el intervalo el valor mínimo del registro en ese espacio, y viceversa. Para la estimación del signo en todo el intervalo es suficiente tomar el signo en un punto, por lo se ha elegido el punto medio.

En el caso de tratarse de un punto de inflexión que no se encuentre entre extremos locales, lo cuál se identifica por el hecho de que el punto de inflexión es a su vez el punto de valor máximo o mínimo (según corresponda), se multiplica dicho valor por un coeficiente próximo a 1. De esta forma se mantiene, en el registro segmentado, una variación de los valores aparentes entre las dos capas consecutivas, que refleja la variación implícita en el registro inicial.

En la figura 3.9 se muestra un intervalo del registro de resistividad lateral del sondeo CB-4 segmentado que, de forma gráfica, aclara el resultado de la segmentación de registros.

Una vez obtenidos los valores del parámetro en cada uno de los segmentos, debemos corregir dichos valores, aún manteniendo el carácter de valor aparente, mediante unos criterios que dependen del parámetro de que se trate.

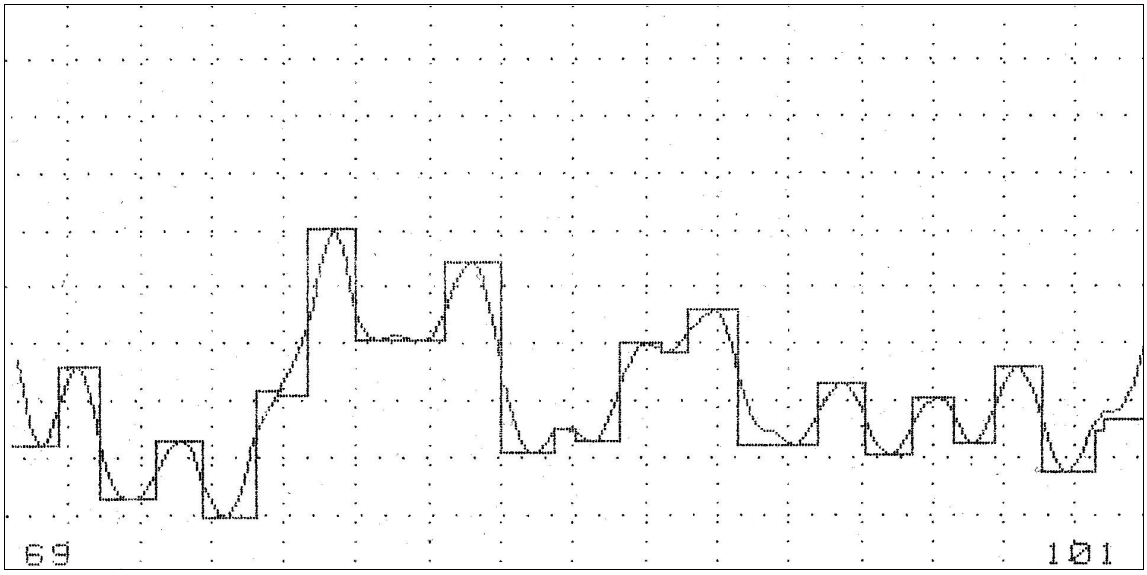


Figura 3.9 - Intervalo de registro segmentado de RLAT en el sondeo CB-4

3.3.3 Determinación de capas paramétricas

Una vez segmentadas cada una de las diagrafías, se tiene realizada la conversión de los registros continuos a una serie discreta de límites y amplitudes entre éstos. Dada la génesis de los distintos registros geofísicos, dichas series muestran secuencias que no coinciden ni en carácter ni en amplitud, y los límites determinados por cada parámetro, no definen por si mismos un nivel que pueda considerarse como capa individualizada.

Por esta razón, a partir de los registros segmentados se realiza la determinación de las capas "geofísicas" definitivas del sondeo, mediante el estudio de concordancia de los límites y variaciones de amplitud entre los distintos registros.

Este proceso se realiza bajo la hipótesis de que todo fenómeno que se refleja en al menos dos parámetros medidos, corresponde a un límite real de capa. El proceso de determinación de las capas paramétricas se efectuará en dos fases:

1) Determinación de límites de niveles de distinta resistividad. En primer lugar se realiza una búsqueda de los límites cuasi-concordantes de los registros ya segmentados de resistividad aparente. En el caso de tener un sólo parámetro de resistividad aparente se toman todos los límites determinados en dicho registro como definitivos para la resistividad. Hay que recordar que para una correcta interpretación de este parámetro, conviene realizar siempre varios registros con dispositivos de resistividad aparente distintos.

2) Determinación de límites del conjunto de parámetros. En segundo lugar se realiza una búsqueda de los límites cuasi-concordantes del conjunto de los registros segmentados, tomando como límites de partida los límites definidos en el paso anterior. En el caso de tener sólo registros de resistividad aparente, lo cuál además de inusual no es recomendable, se toman los límites de las capas resistivas como las capas "geofísicas" definitivas del sondeo.

En la figura 3.10 se presenta un ejemplo de intervalo en el que se han determinado las capas paramétricas en uno de los sondeos estudiados, y donde las columnas entre los registros representan los límites finales. Las líneas con trazo discontinuo representan los registros segmentados por separado, mientras que las líneas en trazo continuo corresponden a los límites y valores definitivos de los parámetros medidos.

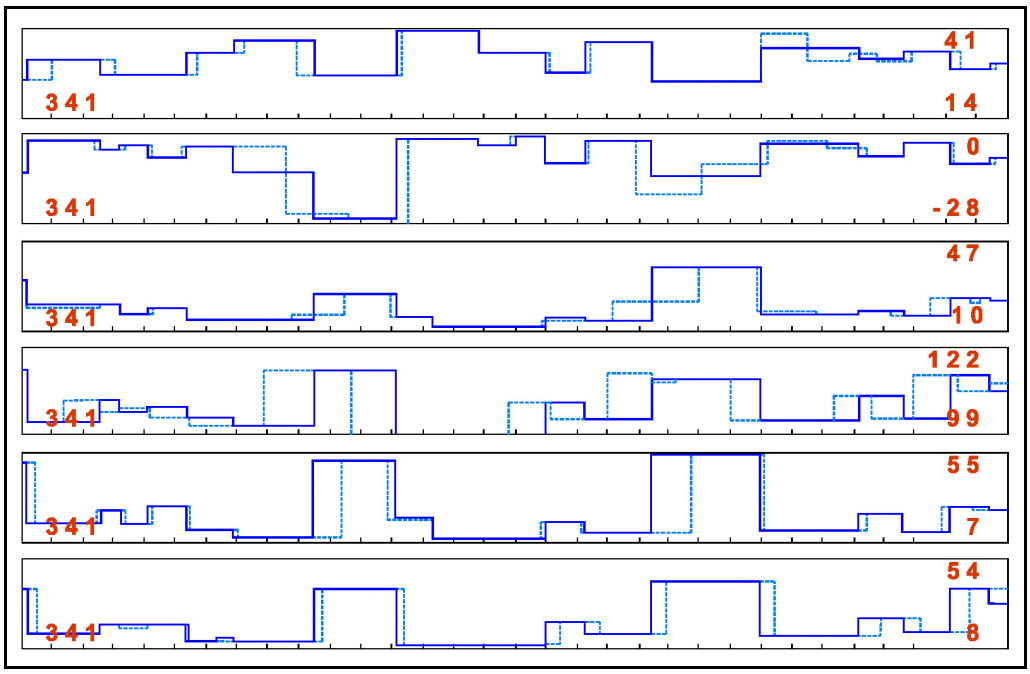


Figura 3.10 - Intervalo de capas definitivas en el sondeo CB-12

Como puede comprobarse en la figura 3.10, no todos los registros tienen la misma resolución a la hora de detectar interfases entre estratos distintos, observando, como se decía al principio, interfases que no presentan diferencias en el valor de algunos parámetros físicos. También se pueden apreciar, en algunos registros, segmentos que no definen capas paramétricas definitivas, quedando entonces como variaciones de carácter aislado.

En cambio, la combinación del conjunto de los registros determina una distribución de capas idónea, al menos en lo que a carácter paramétrico se refiere, que mantiene todas las variaciones significativas de cara a las correspondientes capas litológicas o a capas con propiedades físicas diferenciadoras (como sería el caso de niveles permeables de igual litología pero saturados con agua de distinta salinidad).

3.4 INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA

En este proceso se intenta obtener a partir de los valores aparentes registrados, ciertas características que definan cada uno de los niveles encontrados como son la relación entre porosidad y permeabilidad, la calidad química del agua y el contenido en arcillas.

3.4.1 Calidad química del agua

Hasta el momento se han realizado múltiples estudios sobre caracterización de las aguas en cuencas detríticas continentales utilizando el apoyo de diagrafías, tanto en el ámbito internacional como en España. Como se ha comentado uno de los registros que mejores resultados ofrece para el estudio de la calidad del agua de los niveles permeables es la medida del Potencial Espontáneo (P.E.).

Para el proceso de caracterización de la calidad química del agua de las formaciones permeables, se deben destacar dos consideraciones importantes:

- Aunque la obtención de la resistividad del agua mediante los procedimientos empleados pueda considerarse suficientemente válida, está afectada por la composición química del lodo, por lo que se debe optimizar esa relación en función del tipo de lodo empleado en la perforación y no sólo de su resistividad.

- Por otro lado, y como se verá más adelante, la deducción del total de sólidos disueltos puede obtenerse cuando se conozcan el tipo de iones en disolución, tanto en el lodo como en la propia agua, siempre que se considere la presencia de un ión predominante en disolución.

Debido a estos dos efectos, la dependencia de las anomalías de P.E. con las características del lodo de perforación de los sondeos y con la distinta composición iónica de las aguas de las formaciones permeables hacen necesario optimizar los procesos de interpretación para cada cuenca en concreto.

3.4.1.1 El registro de potencial espontáneo

Por "potencial espontáneo" se entiende la diferencia de potencial entre un electrodo situado en la sonda y un punto de la superficie. Dicha diferencia varía con las condiciones electroquímicas próximas a la sonda y, en ausencia de corrientes eléctricas parásitas o de elementos metálicos, son las distintas distribuciones de iones las responsables de dichas variaciones. Para el estudio del registro de P.E. deberemos seguir los siguientes pasos:

1) El movimiento de iones, causante del fenómeno de P.E., es sólo posible en formaciones con una permeabilidad superior a un valor mínimo que podemos tomar como 0.2 md sin que exista, por encima de este umbral, una relación entre la permeabilidad y el valor de P.E. Por esa razón, los valores obtenidos al atravesar niveles impermeables definen la linea base de las arcillas, que

como se ha comentado debería mantener un valor constante. De esta forma, la anomalía aparente de P.E., sería la diferencia entre el valor de P.E. y el valor de la línea base.

2) La amplitud de dichas anomalías está afectada por los valores del diámetro del sondeo y de los espesores de las capas. Por esta razón, se utiliza el potencial espontáneo estático P.E.E. definido como aquél que presentarían las capas si fueran de espesor suficientemente alto y desconsiderásemos los efectos del sondeo. En la bibliografía técnica existen diversas publicaciones en las que se presentan curvas experimentales para corregir esos efectos.

3) Existe una correspondencia entre la anomalía de P.E.E. y el cociente entre la resistividad del lodo y la del agua de la formación. En presencia de cationes divalentes, esa relación se modifica, debiéndose emplear una nueva relación en función de las actividades de ciertos iones en disolución (Gondouin et al, 1957) o, en su defecto, emplear la relación inicial utilizando el cociente entre la resistividad equivalente del lodo y la del agua de la formación. Es decir, el valor de anomalía de P.E.E. viene dado por:

$$\mathrm{P.E.E.} = -K_{PE}(T)\,\mathrm{Log}\left(\frac{R_{mfe}}{R_{we}}\right)$$

donde R_{mfe}
es la resistividad equivalente del filtrado de lodo, R_{we} la resistividad equivalente del agua de la formación y $K_{PE}(T)$ una factor dependiente sólo de la temperatura (aunque algunos autores consideran su variación con el factor de formación).

Existen varias relaciones para estimar la variación de esta constante con la temperatura entre las que se ha seleccionado la dada por Schlumberger (1979):

$$K_{PE}(T) = 65 + 0.24 \cdot T(°C)$$

3.4.1.2 Concentración equivalente

El término "concentración equivalente" de una disolución compleja de iones se refiere a la concentración de Cloruro Sódico (ClNa) en agua pura necesaria para adquirir una conductividad de fluido igual a la conductividad de la disolución de partida.

La distinta composición química de los iones disueltos en el agua de la formación es un factor decisivo en la conductividad que alcanza ésta. A partir de la concentración de cada uno de los compuestos más típicamente encontrados en las aguas subterráneas, se puede conocer el valor de concentración equivalente de ClNa mediante curvas normalizadas como las obtenidas por Dunlap et al (1951), Moore (1966) o Schlumberger (1979) que se presenta en la figura 3.11.

Este proceso no se puede realizar de forma inversa para una combinación compleja de iones. Por esta razón, la forma más sencilla de alcanzar una estimación del total de sólidos disueltos (T.S.D.) es simplemente considerar el caso de un ión predominante en disolución y partir de una relación entre la concentración de éste y la concentración equivalente de ClNa.

Al igual que para el resto de los iones, existe una relación entre la concentración de ClNa y la conductividad del fluido. Esa relación ha sido tabulada por diversos autores, siendo el ábaco Gen-9 (1979) la relación más utilizada dentro del mundo de las diagrafías.

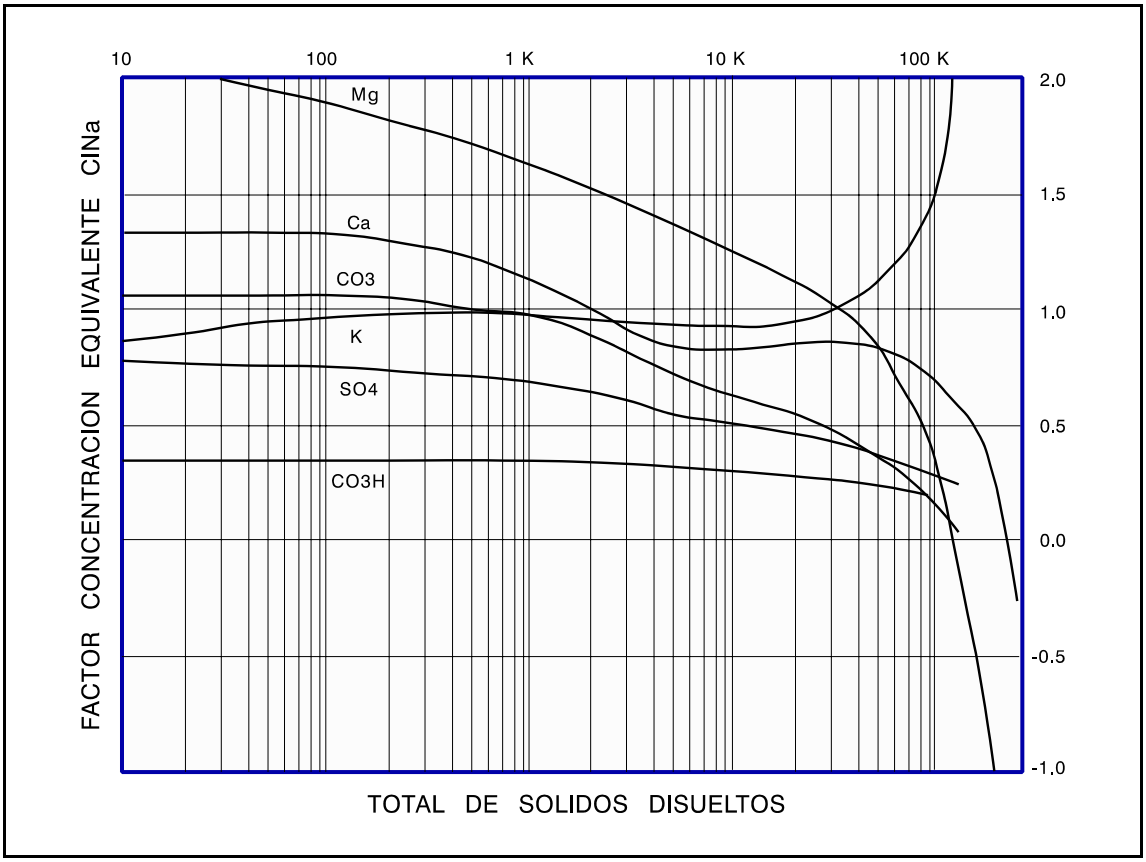


Figura 3.11 – (Ábaco Gen–8 de Schlumberger)

Para la utilización práctica de esta relación se han realizado una serie de medidas de laboratorio con agua desionizada y ClNa puro, las cuáles se han aproximado a una curva matemática sencilla que aparece en la expresión:

$$\mathbb{C}(\mathrm{ClNa}) = \begin{cases} \dfrac{\sigma - 300}{1700} & \text{si } \sigma > 2000\ \mu\mho/\mathrm{cm} \\ \left[\dfrac{\sigma}{2000}\right]^{1.1} & \text{si } \sigma < 2000\ \mu\mho/\mathrm{cm} \end{cases}$$

RELACIÓN CONDUCTIVIDAD / CONCENTRACIÓN (ClNa)

F: conductividad en **:** mho/cm – ÷(ClNa): concentración en gr/l

Esta curva alcanza una precisión elevada (error relativo inferior a 2.4%) respecto al ábaco citado, contando con la imprecisión derivada del carácter gráfico de éste.

3.4.1.3 Determinación del P.E.E.

Una vez corregido el desplazamiento de la línea base como se ha indicado en el capitulo 3.2 de tratamiento de los registros, segmentado el registro y asignados los valores de P.E. a cada una de las capas, las anomalías de P.E. son entonces los valores asignados a cada capa.

Siguiendo los procesos descritos anteriormente en la descripción del registro de potencial espontáneo, se debe realizar la corrección de las anomalías obtenidas por efectos de diámetro y espesor de capa.

Para ello se han tomado los ábacos de Gearhart-Owen (1976) y se han transformado para obtener los factores de corrección en función del cociente entre el espesor de cada capa y el diámetro del sondeo, para distintos valores del cociente entre la resistividad de la capa y la del lodo. Las curvas obtenidas aparecen en la figura 3.12.

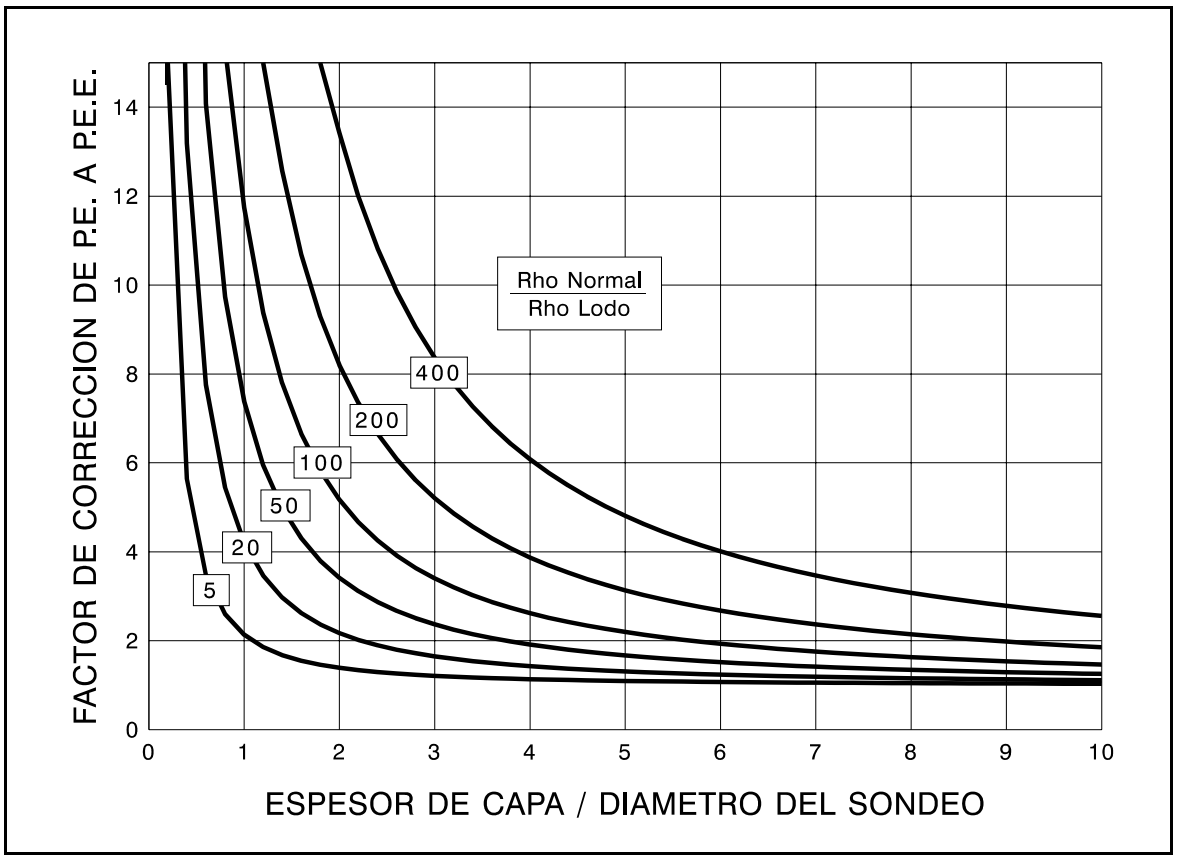


Figura 3.12 – Factor de Corrección de P.E. a P.E.E.

Para la utilización automática de estas curvas se ha buscado una función analítica de aproximación, cuyos coeficientes se han obtenido mediante mínimos cuadrados. La expresión final viene dada por:

$$\text{Factor} = 1 + 0.34\, R_{rel}^{\,0.75} \left(\frac{E_{capa}}{D} \right)^{-1.64\, R_{rel}^{-0.04}}$$

donde R_{rel} es el cociente entre la resistividad de capa y la del lodo, E_{capa} el espesor de la capa y D el diámetro del sondeo.

3.4.1.4 Obtención de la resistividad equivalente del agua

A partir de los valores de P.E.E. y de los valores de temperatura a cada profundidad, se calcula la resistividad equivalente del agua de la formación, R_{we}, utilizando las ecuaciones anteriores y empleando para calcular la resistividad del filtrado de lodo las relaciones descritas, para cada tipo de lodo, en el apartado 3.1.

Ya se ha comentado que existen diversas curvas empíricas que reflejan la relación Rw/Rwe para distintos acuíferos, pero la dependencia con las características del lodo y del agua de formación hace que dichas curvas representen una aproximación demasiado somera, si no son específicas para cada zona.

Para obtener los valores de resistividad del agua de la formación, R_w, se ha partido de los valores de Rw/Rwe obtenidos por Domínguez et al (1986b) en algunos de los sondeos estudiados, para distintos lodos de perforación. Se trata de lodos bentoníticos, orgánicos y naturales, entendiendo por lodos naturales aquéllos que se forman empleando agua como fluido de perforación a la que se le van agregando arcillas y limos procedentes de los materiales atravesados durante la realización del sondeo.

Una vez modificados dichos valores según las correcciones de potencial espontáneo estático, se han obtenido las curvas correspondientes que se presentan en la figura 3.13.

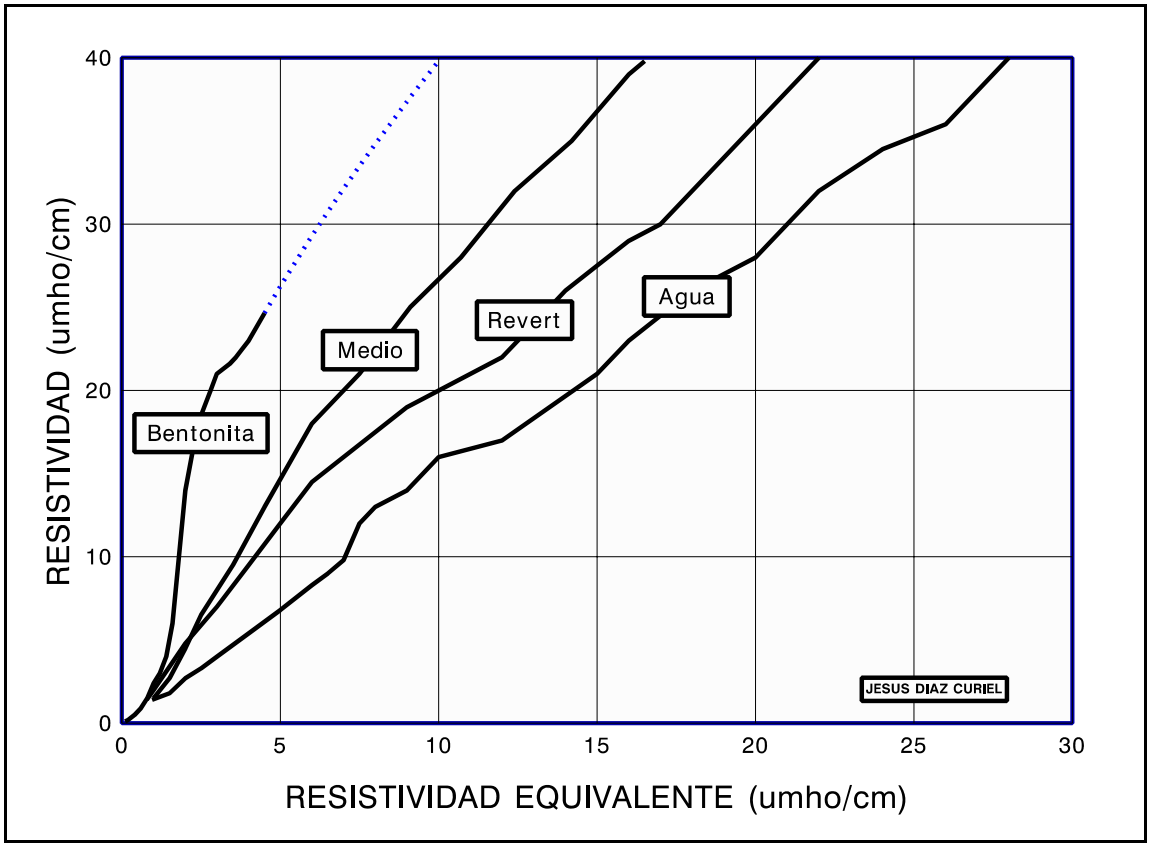


Figura 3.13 – Curvas de Rw/Rwe

La separación entre los tipos de lodos que se presentan en la figura es un tanto relativa, puesto que en todos ellos se agregan las arcillas y limos procedentes del detrito de perforación. Esta adición cambia sustancialmente la respuesta en los lodos que no se utilizan convenientemente decantados (por esta razón se presenta una curva media).

Además, tanto para este lodo "medio", como para los bentoníticos, la respuesta cambia entre los casos de elevada conductividad y los de resistividad moderada, de forma que para conductividades bajas, la menor presencia de aniones fuerza un comportamiento más similar a los lodos sin aditivos. Dado que se trata de casos discretos, podemos utilizar dichas curvas mediante interpolación lineal para valores comprendidos entre sus límites, es decir utilizar los valores originales representados en la figura 3.13 de forma gráfica. No obstante, tanto para facilitar el cálculo automático como para obtener valores fuera del rango de los datos experimentales, éstos se han aproximado a funciones analíticas.

Una primera posibilidad consiste en obtener rectas de regresión para cada uno de los lodos definidos, pero dichas regresiones a pesar de tener un buen coeficiente de regresión, no reflejan el comportamiento variable con la conductividad comentado anteriormente. Por esta razón se ha buscado una nueva expresión simple, cuyos coeficientes se han determinado para cada tipo de lodo mediante criterios de minimización de error.

La expresión final adoptada viene dada por:

$$R_w = \frac{\zeta_1 \cdot R_{we}^{\zeta_2}}{R_{we}^2 + \zeta_3}$$

donde las constantes ζ_1, ζ_2 y ζ_3 toman distintos valores en función del tipo de lodo. En la tabla 3.3 se presentan los valores de estos coeficientes así como los obtenidos para las rectas de regresión.

TABLA 3.3 – Coeficientes de las Expresiones de Aproximación R_w/R_{we}

LODO	$R_w = \theta R_{we}$	$R_w = \zeta_1 \cdot R_{we}^{\zeta_2} / (R_{we}^2 + \zeta_3)$		
Bentoníticos	θ = 6.3	ζ_1 = 13	ζ_2 = 2.5	ζ_3 = 3.4
Medios	θ = 2.6	ζ_1 = 4.3	ζ_2 = 2.8	ζ_3 = 2.2
Revert	θ = 1.9	ζ_1 = 2.8	ζ_2 = 2.85	ζ_3 = 0.4
Naturales	θ = 1.4	ζ_1 = 1.4	ζ_2 = 3.0	ζ_3 = 0.1

3.4.1.5 Cálculo del total de sólidos disueltos

Por último, y bajo la hipótesis de existencia de un ión predominante en la disolución, se ha intentado establecer la concentración del mismo a partir de una serie de curvas experimentales (Domínguez et al, 1986b) para los cuatro tipos de disoluciones más usuales encontrados en la Cuenca del Tajo. Dichos valores se representan en la figura 3.14.

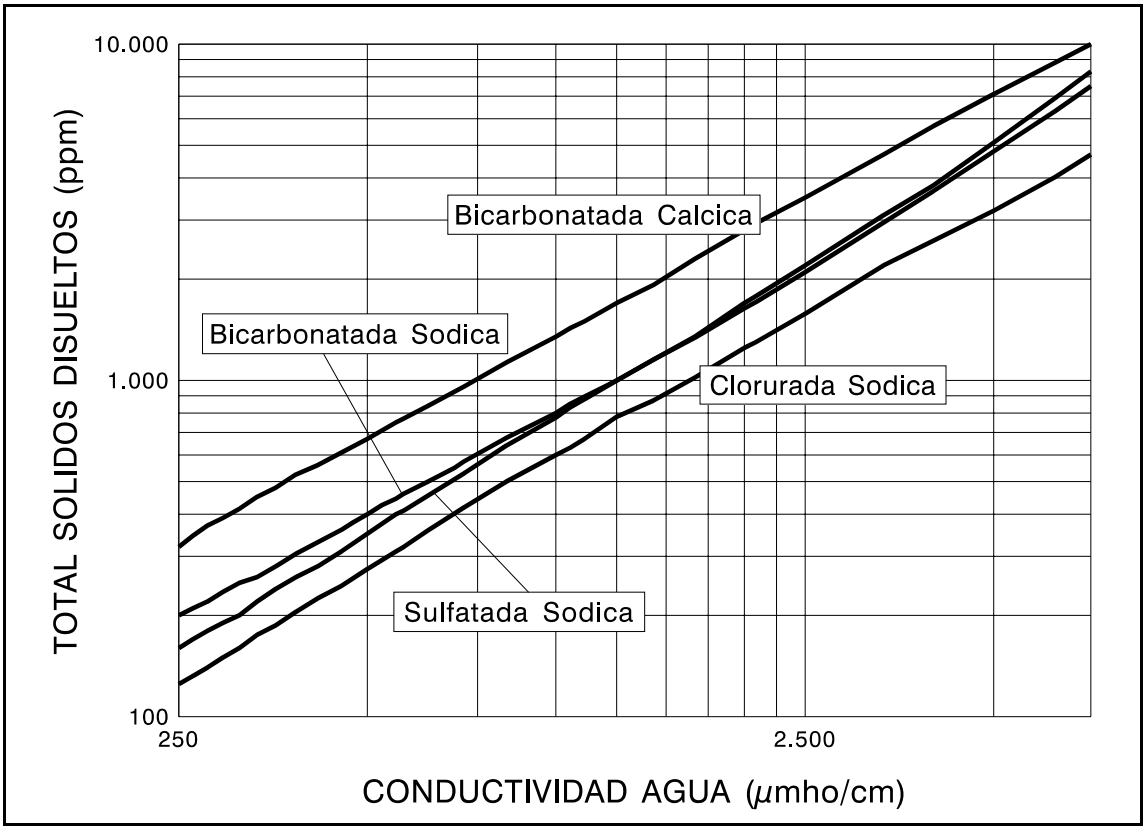


Figura 3.14 – Curvas de T.S.D./Cw

Al igual que para el cálculo de la resistividad, y dado que en este caso la relación que presentan dichas curvas es lineal en escala logarítmica, se han aproximación a funciones potenciales, mediante la obtención de rectas de regresión en escala logarítmica, los coeficientes de aproximación para cada tipo de agua se presentan en la tabla 3.4:

$$\text{T.S.D. (mgr/L)} = \mathbf{6}\text{Å}C_w \cdot (\mathbf{:}\ \text{mho/cm})$$

TABLA 3.4 – Coeficiente de Aproximación T.S.D./Cw		
Tipo de Ión Predominante	**T.S.D. (mgr/L) = 6ÅCw. (: mho/cm)**	
CLORURADA SÓDICA	**6** = 0.36	**.** = 1.07
SULFATADA SÓDICA	**6** = 0.23	**.** = 1.18
BICARBONATADA SÓDICA	**6** = 0.52	**.** = 1.07
BICARBONATADA CÁLCICA	**6** = 1.19	**.** = 1.02

Estas curvas no tienen por qué coincidir con los resultados que se pueden obtener a partir del ábaco Gen–8 de Schlumberger (figura 3.11), pues en este ábaco no se consideran más iones en disolución, mientras que en las curvas que aquí se presentan, aunque la variable sea el mismo ión predominante, existen en disolución una cantidad indeterminada, pero netamente menor, de iones de otros tipos.

Por esta razón, las curvas anteriores pueden utilizarse con reservas en otras cuencas detríticas continentales pero no puede generalizarse su empleo para cualquier tipo de aguas complejas, donde la proporción del resto de iones sea muy distinta.

3.4.2 Relación Porosidad-Permeabilidad

El cálculo de la porosidad derivado de la resistividad, se viene realizando mediante el empleo del factor de formación. Estos valores de porosidad suelen producir un cierto desánimo en los responsables de las explotaciones subterráneas, dada la escasa relación de este parámetro con la productividad de los sondeos, centrando su interés en los valores de permeabilidad.

Por esta razón, se ha intentado establecer una relación empírica entre los valores de permeabilidad, estimados a partir de análisis granulométricos sobre una serie de muestras obtenidas en varios sondeos, y los valores de porosidad deducidos a partir de los datos de las diagrafías realizadas en esos mismos sondeos.

La relación obtenida de esta forma no pretende ser más que una aproximación somera de los valores reales que, por otro lado, van a quedar muy apantallados en los resultados finales, dada la fuerte influencia de las características constructivas del sondeo en el comportamiento de los niveles productivos.

Sobre la dependencia de la permeabilidad con la temperatura y en lo que sigue, se entenderá que los valores de permeabilidad están referidos a 25°C, utilizando, para la corrección por variación de temperatura, el factor dado por la relación de viscosidades $\mu(25)/\mu(T)$ descrita en el apartado 3.1.

3.4.2.1 Cálculo de la porosidad

En una primera aproximación, la resistividad R_0 de una roca porosa completamente saturada en agua, cuya fase sólida es muy resistiva, como es el caso que nos ocupa, puede considerarse proporcional a la resistividad del fluido que rellena sus poros, mediante el Factor de Resistividad (Sundberg, 1932) o Factor de Formación F (Archie, 1942). Este factor depende básicamente de la porosidad ϕ de la roca y de la geometría de dichos poros, de forma que si el espacio intersticial se encuentra saturado de un fluido de resistividad R_w, la relación que rige esta dependencia puede describirse mediante la expresión (Archie 1942):

$$R_0 = F \cdot R_w = \frac{1}{\phi^2} \cdot R_W$$

La relación de este factor con la porosidad viene dada, en su forma más general, por la expresión (Winsauer 1952):

$$F = a \cdot \phi^{-m}$$

donde el factor de ajuste "a" y el factor de cementación "m" (también llamado factor de empaquetamiento o de tortuosidad) están condicionados por el tamaño, forma, selección, empaquetamiento, compactación y cementación de los granos.

Uniendo la expresión de Archie y la de Winsauer, la porosidad vendrá dada por:

$$\phi = \left(\frac{a}{(R_0/R_W)} \right)^{1/m}$$

Aunque
el hecho de que el factor de formación deba ser 1 para una porosidad del 100% obliga a que el factor de ajuste sea a su vez igual a 1, en la práctica se han dado muchos valores para estos coeficientes según el tipo de formación de que se trate (Carothers (1968), Gómez-Rivero (1977), Raiga (1977), Jackson (1978), Adisoemarta (2000), Lowe (2001), Ragland (2002)...), pudiendo tomar para rocas sedimentarias no cementadas, los siguientes rangos para estos coeficientes:

$$a \in (0.6 , 1) \quad y \quad m \in (1.3 , 2.15)$$

Siguiendo los resultados de González (1991), se han tomado como valores óptimos para los niveles no arcillosos:

$$m = 1.6 \quad y \quad a = 0.9$$

Para la obtención de los valores de R_W se parte de las medida de P.E. utilizando los resultados obtenidos en el apartado anterior.

La fórmula de Winsauer es suficientemente válida cuando la resistividad del fluido intersticial es mucho menor que la de los minerales de los granos. Cuando no se cumple este requisito, o cuando existe alguna fracción de materiales más conductores en los poros, se debe considerar además, la conducción superficial en arenas y la ionización de los minerales de la arcilla en arenas arcillosas.

En estos últimos supuestos la forma más simple de tener en cuenta estos efectos es considerar un factor de Formación aparente (F_a). Dado que el mayor interés de cara a la extracción de agua se centra en las capas con bajo o muy bajo contenido en arcillas, se van a buscar expresiones para niveles con estas características en los que $F_a \cdot F$, eludiendo la interpretación cuantitativa en el resto de los niveles.

3.4.2.2 Calculo de la resistividad real

La hipótesis bajo la que se desarrolla este cálculo, es que una vez corregidos separadamente los efectos de diámetro del sondeo/conductividad del lodo y espesor de capa, obtendremos para cada nivel una serie de puntos que deben tender asintóticamente, por la derecha a la resistividad real de la formación y por la izquierda, a la de la zona invadida.

La mejor manera de corregir estos registros por efectos de sondeo y espesor de capa de los dispositivos normales y lateral es utilizar ábacos experimentales como los ábacos de Guyod, Schlumberger y Gearhart-Owen modificados por Díaz Curiel (1996) en su Tesis Doctoral con las correspondientes correcciones para los diámetros y lodos de perforación empleados comúnmente en sondeos para captación de aguas subterráneas.

Para la corrección de resistividades del dispositivo normal y lateral se utilizan los ábacos de Gearhart-Owen para AM=0.4 m. y AM=1.6 m y el ábaco A0=5.7 m respectivamente modificados para considerar un diámetro relativo a la longitud del dispositivo.

Para la corrección por espesor de capa para dispositivo normal para capas más resistivas que sus adyacentes, se han tomado los ábacos de Guyod (1952), y para capas de resistividad menor que sus adyacentes, se utiliza una expresión obtenida a partir de los valores aparentes para las capas de arcilla.

Para la corrección por espesor de capa para dispositivo lateral se han tomado los ábacos de Guyod (1952) para espesores entre 0.4 (distancia MN) y 1.8 (distancia AO) metros. Los factores de corrección para capas de resistividad menor que sus adyacentes se obtienen utilizando la misma relación, mediante un cambio de variable

En la figura 3. 15 se observan los ábacos de corrección de espesor de capa diámetro/ conductividad de lodo para los registros de resistividad normal y lateral

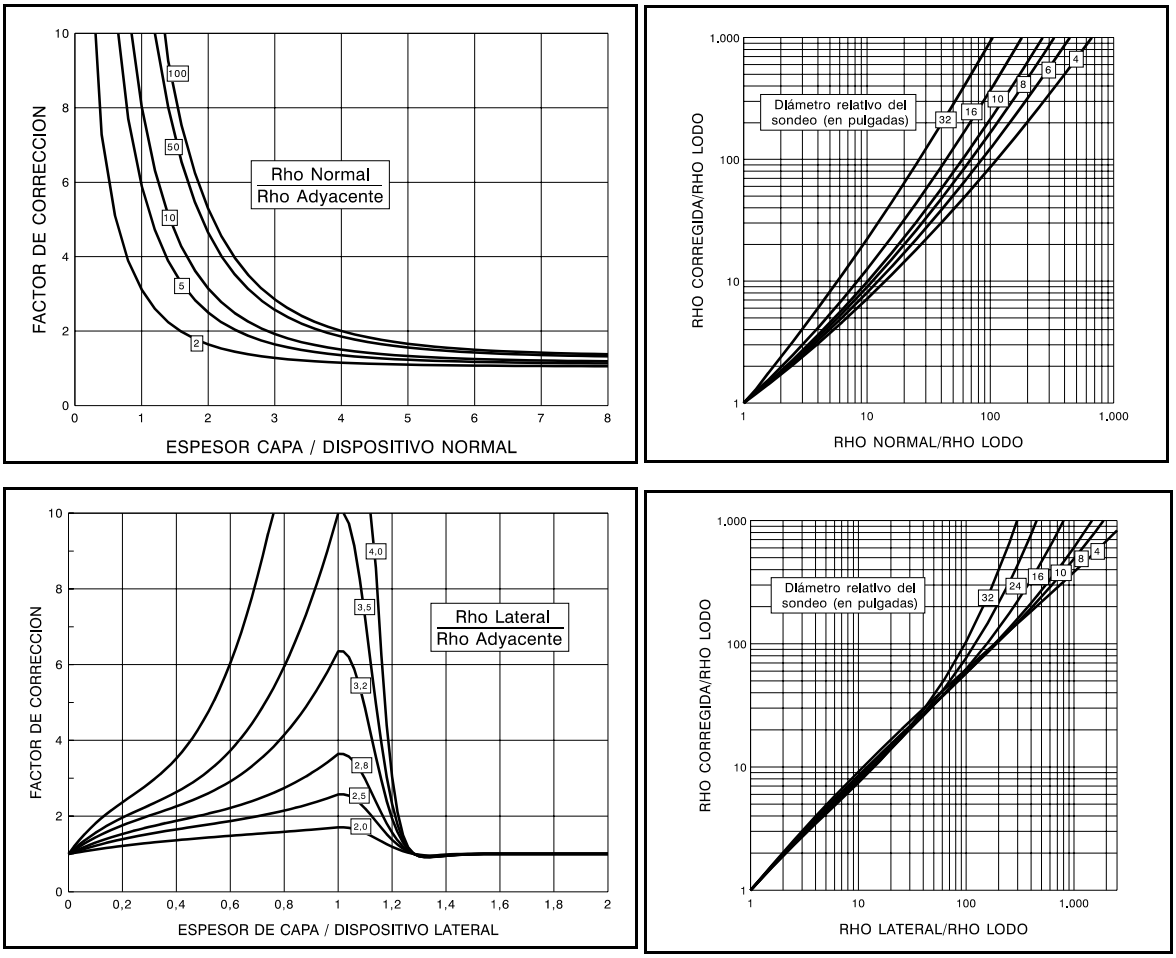


Figura 3.15: Ábacos de corrección de espesor de capa diámetro/ conductividad de lodo

Con los valores obtenidos de las correcciones por lodo-diámetro-espesor de capa sólo nos falta realizar el paso a resistividad pseudoreal, eliminando los efectos de los diámetros de costra y de invasión de lodo mediante la expresión:

$$(D_p) = \frac{R_0 - R_i}{2} + \frac{R_0 + R_i}{2} \cdot \tanh(C_R \cdot D_p - e)$$

donde D_p es el diámetro de penetración del dispositivo empleado y C_R es una constante relacionada con la función de invasión de lodo en la formación.

3.4.2.3 Relaciones permeabilidad/porosidad

Para medios no cementados, esta relación depende básicamente de dos aspectos diferenciados, por un lado del contenido en arcillas que, además de menor tamaño de grano, conlleva cadenas de enlaces químico con agua y, por otro lado, del resto de las características geométricas ya mencionadas.

El primero de estos factores se considera implícitamente en la utilización del factor de formación aparente, pero como se ha comentado, en este trabajo estudiaremos sólo el caso de litologías no arcillosas. Los factores geométricos, en cambio, van a quedar indeterminados desde el punto de medida geofísico.

Algunos autores (Bear, 1972; Terzaghi, 1985) han simplificado la relación permeabilidad/porosidad para medios no arcillosos en función del diámetro eficaz D_{90}, mediante coeficientes variables según la clasificación del medio:

$$K\,(cm^2) = \frac{1}{A} D_{90}^2 \frac{\phi^3}{(1-\phi)^2}$$

siendo A un coeficiente variable con valor promedio . 200 y D_{90} expresado en cm.

$$K\,(cm/s) = \lambda\, D_{90}^2 \left(\frac{\phi - 0{,}13}{\sqrt[3]{1-\phi}} \right)^2$$

donde **8** varía desde 800 para granos redondeados a 460 para angulosos, con un valor aproximado para granos subangulosos de 600 y D_{90} expresado en cm.

3.4.2.4 Cálculo de permeabilidad a partir de la granulometría

En primer lugar, para estimar la permeabilidad a partir de las granulometrías se debe analizar en detalle las características de las muestras sobre las que se han realizado dichos ensayos.

Aunque los límites de permeabilidad van de 10^{-7} cm/s para materiales prácticamente impermeables a 10^2 cm/seg para los más permeables (Benítez, 1972), las muestras escogidas de los seis sondeos, son las de mayor tamaño de grano (los valores de tamaño efectivo oscilan entre 0.3 y 2.6 mm), lo cuál implica que la relación permeabilidad/porosidad que se obtenga a partir de estos datos, será fiable básicamente para valores altos de permeabilidad (desde 2 a 10^{-3} cm/s).

Por otro lado, los coeficientes de uniformidad (D_{40}/D_{90}) varían de 1.5 a 10.5 lo que representa una fuerte heterogeneidad y obliga a utilizar una expresión para la estimación de la permeabilidad que involucre dicho coeficiente.

Se puede considerar que todas las muestras presentan un grado de compactación y empaquetamiento similares ya que corresponden a niveles situados por debajo de una profundidad elevada y en sondeos situados a distancias similares del área fuente, por lo que, aún siendo un factor decisivo a la hora de determinar la permeabilidad, no se va a considerar su influencia.

Por último, la morfología media que muestran los granos extraídos de esos sondeos se puede caracterizar, según la plantilla de clasificación de Krumbein y Sloss (1955), como subredondeados.

Para realizar un estudio más detallado, se han utilizado los resultados obtenidos en la Tesis de Licenciatura de Míguez Marín (1980), en la cuál se analizan una serie de muestras detríticas, midiendo la permeabilidad con permeámetro y obteniendo posteriormente, a partir de la curva granulométrica, la permeabilidad mediante la fórmula de Hazen. De todas las muestras que han sido analizadas en dicho trabajo se han escogido las que presentan características más similares a los sedimentos detríticos de la Cuenca del Tajo.

En dicho trabajo se observa, como era de esperar, una fuerte dispersión entre las dos permeabilidades, siendo los valores de permeabilidad obtenidos a partir de la fórmula de Hazen bastante más elevados que los medidos con permeámetro. En promedio las permeabilidades obtenidas mediante la expresión de Hazen son 20 veces mayores que las medidas.

Para intentar reducir esta diferencia, se ha introducido una modificación en la expresión de la permeabilidad de Hazen que considere la clasificación de los granos. La modificación introducida es dividir por el coeficiente de uniformidad, quedando:

$$K = \frac{100 \cdot D_{90}^{2}}{C_u}$$

siendo K la permeabilidad (cm/seg), 100 un valor constante, D_{90} el diámetro eficaz (cm) y C_u el coeficiente de uniformidad D_{40}/D_{90}.

Esta modificación mejora la aproximación a los valores de permeabilidad reales, reduciendo la dispersión y dando permeabilidades alrededor de los valores reales (dos veces mayores o menores que las medidas). Se debe reiterar que esta ecuación sólo será válida para muestras con estas mismas características y con condiciones de confinamiento similares.

Además en esta expresión no se ha tenido en cuenta la forma de los granos que, como se ha comentado, son de tipo subredondeado. Dado que este factor está directamente relacionado con la permeabilidad, habría que añadir otro coeficiente a la expresión que involucre dicho factor, cuando se quiera hallar la permeabilidad de muestras con distinta morfología.

Para incluir ese factor, pueden utilizarse los coeficientes de forma C_f, dados por Jiménez Salas (1975), superiores en una unidad a los dados por Pettijohn (1975), y cuyos valores son:

C_f = 1.1 para granos casi esféricos.
C_f = 1.25 para granos semiangulosos.
C_f = 1.4 para granos angulosos.

Tampoco se han considerado los efectos de reducción de la permeabilidad provocados por la presión de confinamiento. Éstos quedan obviados implícitamente al comparar los valores de porosidad con las permeabilidades a presión atmosférica (como caracterización intrínseca de un medio), sobrentendiendo que la permeabilidad que presenten dichos niveles a la profundidad que se encuentren estará modificada por los efectos de la presión.

En este sentido, para limitar el alcance de la expresión definida y no siendo el objeto de este estudio, se presentan en la tabla 3.5 los valores obtenidos sobre muestras de detritos analizadas en los laboratorios del CEDEX. En dicha tabla se observa que la permeabilidad medida es aproximadamente 10 veces menor que la teórica, cuando la muestra está sometida a una presión de confinamiento de 7 kp/cm^2.

Como comprobación complementaria de esta expresión se ha utilizado un ejemplo sobre cálculo indirecto de la permeabilidad presentado por Custodio (1976, pag. 471), y se ha confirmando que con dicha expresión se obtienen valores de permeabilidad más próximos a los esperados (dos veces superior en este caso).

Tabla 3.5 - EFECTO DE LA PRESIÓN EN LA PERMEABILIDAD

MUESTRAS	PERMEABILIDAD (cm/seg)	
	EXPRESIÓN TEÓRICA (1 Atm.)	PRESIÓN CONFINAMIENTO (7 Kp/cm_2)
1	$1.4 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$
2	$2 \cdot 10^{-1}$	$1.9 \cdot 10^{-2}$
3	$4 \cdot 10^{-1}$	$2.1 \cdot 10^{-2}$
4	$6.3 \cdot 10^{-3}$	$4.8 \cdot 10^{-4}$
5	$1 \cdot 10^{-2}$	$3.5 \cdot 10^{-4}$
6	$2.4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$

3.4.2.5 Relación permeabilidad/porosidad

En la figura 3.16 se presentan los datos de permeabilidad obtenidos empleando la ecuación descrita anteriormente sobre los niveles óptimos de los sondeos estudiados, junto con los valores de porosidad resultantes de la interpretación geofísica siguiendo el proceso descrito en el apartado de cálculo de la porosidad.

Con los datos de la figura 3.16 y considerando como condiciones límite que para medios de porosidad inferior al 5% o superior al 50%, la permeabilidad debe ser próxima a 10^{-7} presentando tendencias asintóticas a ambos lados, se ha buscado una relación matemática sencilla de la permeabilidad en función de la porosidad, cuya expresión y forma se presentan en la figura 3.17.

Dicha función se ha representado para valores inferiores a los datos de partida (entre 4 y 0.004 cm/seg), tanto para comprobar que los valores que se obtienen para rangos inferiores se ajusta a las condiciones límite descritas anteriormente, como por el interés que puede suscitar la forma completa de la curva en el rango de porosidades entre 0 y 0.5.

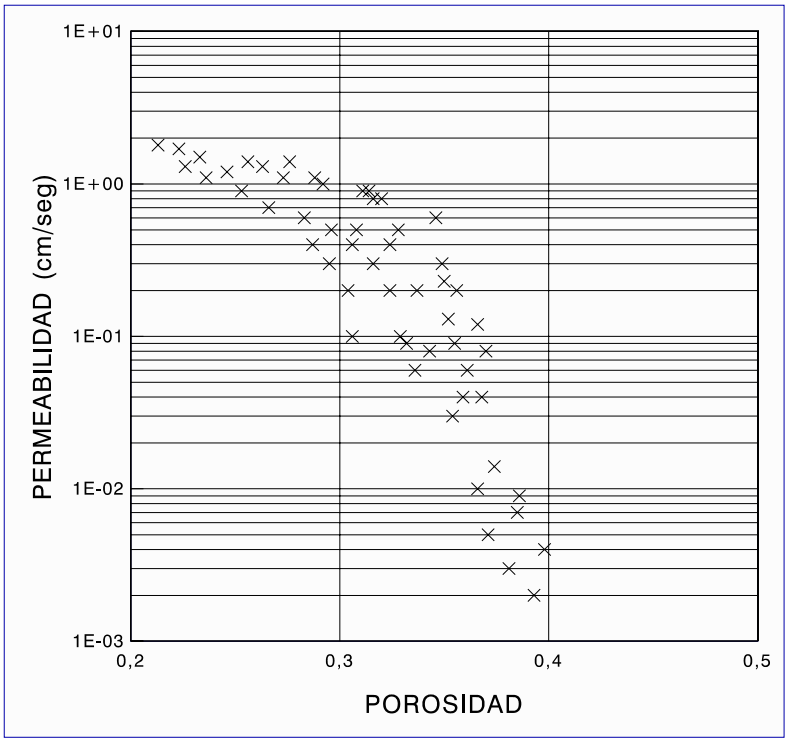


Figura 3.16 - Valores de Permeabilidad frente a Porosidad

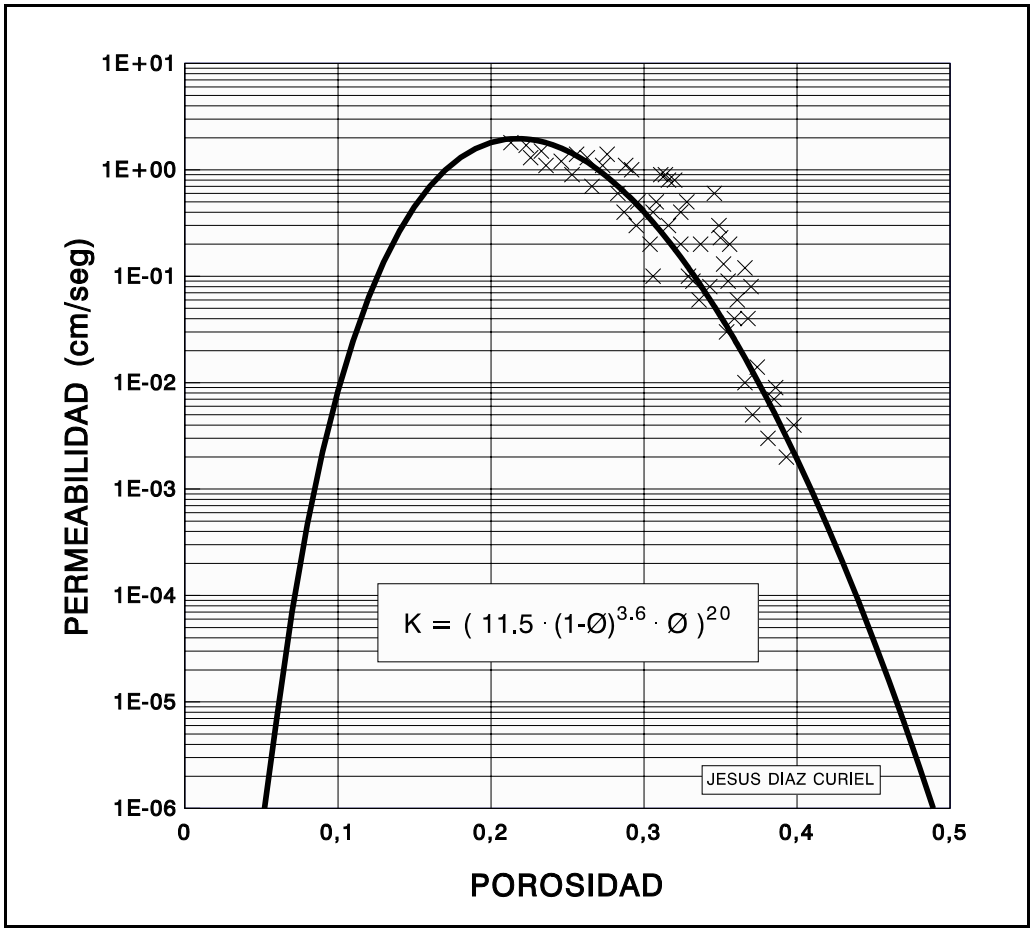


Figura 3.17 - Relación Permeabilidad/Porosidad

No debe extrañar la diferencia aparente de la variación de la permeabilidad con la porosidad que muestra la ecuación de la figura 3.17, respecto a las relaciones de Bear o Terzaghi si se mantienen, en éstas, el diámetro eficaz constante. Dicha ecuación tiene implícita la variación del diámetro eficaz que conlleva generalmente el aumento de la porosidad, y esa variación influye más en el valor de la permeabilidad que la variación de la porosidad.

Para evaluar la bondad de ajuste de esta expresión, y dado el fuerte rango de variación de los valores de permeabilidad, que sólo para medios detríticos permeables oscila en más de cinco órdenes de magnitud, se considera preferible utilizar errores geométricos, o lo que es lo mismo, emplear errores logarítmicos.

Si se tienen una serie de niveles de porosidad $\mathbf{N}_n$ con permeabilidades k_n deducidas de su granulometría, el error geométrico medio de la expresión $k(\mathbf{N}_n)$ se puede obtener mediante la expresión:

$$\log \bar{\varepsilon}_G = \frac{\sum |\log(k_n) - \log k(\phi_n)|}{N}$$

Para los datos representados en la figura 3.17, el error geométrico medio de la curva definida es 2.042 . 2, es decir:

$$K = [\, 11.5 \quad (1 - \mathbf{N})^{3.6} \quad \mathbf{N} \,]^{20} \quad \div \; 2$$

La expresión obtenida representa una buena aproximación de la serie de pares de valores obtenidos de porosidad/permeabilidad en los niveles óptimos seleccionados de los sondeos.

La mayor limitación de esta expresión radica en el hecho de que los detritos obtenidos de dichos niveles muestran unas granulometrías probablemente muy distintas de las originales de dichos niveles, debido a la eliminación de los componentes más finos (lavado) durante el proceso de captura del detrito. Esta afirmación se apoya en los reducidos coeficientes de uniformidad y los diámetros eficaces tan elevados frente a los que suelen obtenerse para arenas de clasificación similar.

No obstante, la importancia de dicha expresión consiste en que define la morfología más apropiada para la relación permeabilidad/porosidad. Es decir, partiendo de muestras inalteradas obtenidas mediante corona (testigo continuo) y modificando ligeramente los coeficientes de dicha expresión obtendríamos una fórmula que no tendría la limitación citada anteriormente.

3.4.3 Contenido en arcillas

El término "arcillas", elegido por su uso generalizado, requiere, desde un punto de vista geofísico, una especificación detallada, dadas las posibles distinciones que se establecen desde un punto de vista geológico. En este trabajo, arcillas es un término litológico que equivaldría petrológicamente al de pelita y cuya composición mineralógica son principalmente filosilicatos.

Así, los factores más determinantes para la respuesta que una arcilla ofrece en testificación geofísica son su tamaño de grano y su composición química. Su granulometría provoca una porosidad elevada, su composición química una emisividad gamma relativamente alta debida al contenido en Potasio y ambos, una permeabilidad prácticamente nula y una baja resistividad.

La determinación del porcentaje de arcillas, a partir de diagrafías geofísicas, es un proceso que depende de las características del conjunto de litologías presentes en una zona de estudio. Así, en función del resto de las litologías presentes en una zona, los parámetros que caracterizan a las arcillas resultarán o no diferenciadores del resto de las litologías.

Los elementos radiactivos más abundantes en las rocas sedimentarias son el isótopo U^{238} del Uranio y el Th^{232} del Torio, ambos presentes con una concentración media (en porcentaje de masa) de $5 \cdot 10^{-4}$% y el isótopo K^{40} del Potasio (en una proporción de $1.19 \cdot 10^{-2}$% respecto al total de Potasio) con una concentración media de $5 \cdot 10^{-1}$%.

Salvo en medios típicamente radiactivos, en la mayoría de rocas sedimentarias las concentraciones de Uranio y Torio son muy similares, mientras que la concentración de Potasio, divide éstas en dos grupos, los minerales de la arcilla, con una concentración relativamente elevada, y el resto con una proporción despreciable (exceptuando casos muy específicos).

En este tipo de cuencas sedimentarias, la caracterización efectuada del término arcillas hace que su presencia pueda determinarse mediante testificación geofísica por la emisión natural de radiación gamma.

3.4.3.1 El registro de radiación gamma

Una diagrafía de gamma natural (G.N. o G.R. en inglés) es el registro continuo de radiación gamma a lo largo de un sondeo. Los sensores convencionales de radiación gamma en sondeos miden el flujo de fotones que llegan al detector cada cierto intervalo de tiempo, aunque el resultado se presenta generalmente en fotones por segundo (c.p.s.).

Los factores que tenemos que considerar para la corrección del registro de radiación gamma pueden agruparse en dos tipos:

- Los efectos derivados del sistema de medida, tales como la eficiencia del detector, la constante de integración y la velocidad de registro.

- Los efectos derivados de la geometría del pozo. Los valores registrados de emisión gamma están apantallados por la presencia del lodo de perforación entre las formaciones y la sonda (la atenuación de dicha emisión es función del diámetro del sondeo y de la densidad del lodo). Existen algunas curvas experimentales entre las que se destaca las de Gearhart-Owen Ind. (1979) y que se utilizará para contrastación de los resultados obtenidos.

3.4.3.2 Corrección del sistema de medida

En primer lugar, se debe considerar la eficiencia de los equipos de medida de radiación gamma (función implícita del tamaño del detector), sobre todo, si se quieren obtener valores con distintas sondas. Mediante las curvas de calibración de cada uno de los sensores, se podrá pasar los valores obtenidos, a sus correspondientes valores para una eficiencia del 100% en la medida de radiación gamma. En lo que sigue se considerarán los registros corregidos mediante sus curvas de calibración.

En este sentido, se debe recordar el carácter estadístico de la medida del flujo de fotones. Por este motivo, aunque se tuvieran una eficiencia del detector del 100% y la sonda parada frente a un material con una determinada emisión gamma, la lectura no sería constante en el tiempo. Este efecto adquiere tanta más importancia cuanto menor es el valor medido y, en equipos analógicos, cuanto menor sea el tiempo de integración. Para períodos de integración de 2 segundos, el error absoluto se sitúa en torno a 2 c.p.s., lo que para unos valores típicos de arcillas entre 20 y 50 c.p.s., representa un error relativo del 6%.

Dentro de la forma que adopta el registro, debemos considerar la distancia en vertical entre el detector y la capa emisiva, junto con la absorción de las capas no radiantes, que aumentan la complejidad del sistema. Estos efectos influyen decisivamente en la forma de variación del registro con la profundidad, pero si se consideran los registros segmentados y se atiende sólo a los valores en el centro de las capas, se pueden obviar en la interpretación de capas con más de 40 cm de espesor.

Se debe resaltar esta consideración del estudio de capas con espesores mayores de 40 cm, en relación a la longitud de los detectores empleados (15 cm), pues para capas de espesor similar o inferior a la longitud del detector, la deconvolución de los registros es indispensable (Bristow et al, 1984; Sheng et al, 1987). Igualmente hay que señalar que este estudio considera capas sub-horizontales, dado que, en caso contrario, es necesario realizar otro tipo de correcciones (Conaway, 1981).

Por último, hay que evaluar la influencia de la velocidad de registro en la curva obtenida. Si se desconsideran los efectos citados en el párrafo anterior, el resultado de la integración del medidor de radiación sobre un registro realizado a una velocidad dada puede contemplarse desde dos puntos de vista equivalentes: desplazamiento del punto de inflexión, ❱z, del registro de G.N. frente al límite de capa y ensanchamiento, ❱e, ligeramente asimétrico, de la zona de la curva frente al espesor de capa para posteriormente mediante filtros inversos o deconvoluciones realizar una corrección cuantitativa de este registro.

No obstante, si se efectúa el registro de radiación gamma a velocidad inferior a 4 m/min, no es indispensable la realización de tales correcciones. Por esta razón, dicha velocidad es con la que, normalmente, se vienen realizando todas las diagrafías de G.N. por parte del equipo de investigación de la Cátedra de Geofísica de la E.T.S.I. Minas de Madrid.

3.4.3.3 Corrección por efectos de pozo

Los valores registrados de emisión gamma están apantallados por la presencia del lodo de perforación entre las formaciones y la sonda, siendo la atenuación de dicha emisión función del diámetro del sondeo y de la densidad del lodo. Para contar con valores de emisividad de radiación gamma independientes se debe corregir el registro para eliminar estos efectos.

Como se comentó en el apartado 3.2 el registro de gamma natural puede presentar un desplazamiento de la linea base de las arcillas producido por los distintos diámetros de perforación a lo largo del sondeo que modifica los valores de emisión de gamma natural. Este desplazamiento además suele ser muy usual en los primeros metros de los registros debido tanto a los grandes diámetros de perforación como a las tuberías utilizadas para emboquillar los sondeos.

En la figura 3.18 se observa el desplazamiento de línea base producido por la variación de diámetro de perforación en dos de los sondeos estudiados. En la 3.18a se observa el desplazamiento y atenuación de los valores de radiación gamma debido a un cambio en el diámetro de perforación en el sondeo CB-12. En la 3.18b además del desplazamiento debido al cambio de diámetro se observa la influencia del emboquille en el sondeo Santa Rita.

Algunos autores (Wahl, 1983; Peplow et al, 1994; Guo et al, 1995) han utilizado métodos estadísticos, sobre todo, el análisis de componentes principales (P.C.A.) y la simulación Monte Carlo, para incluir en las correcciones debidas al diámetro del sondeo, la posición de la sonda.

Estas correcciones se realizan diferenciando entre sondas centradas (con dispositivos que mantienen la sonda en el eje del sondeo) y sondas no centradas o libres. Sin embargo, mediante consideraciones geométricas es posible obtener dichas correcciones para el caso de sondas no centradas, que son las empleadas en este estudio.

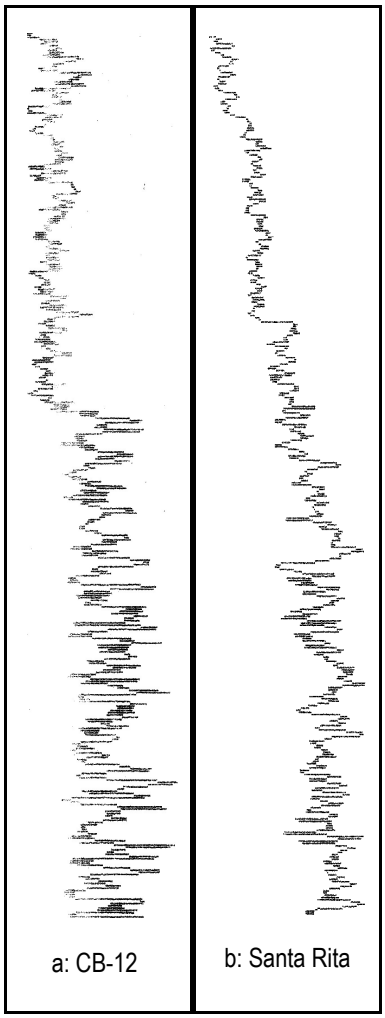


Figura 3.18: Desplazamiento de la línea base debido a variaciones del diámetro a lo largo del sondeo

Para corregir el apantallamiento producido por la presencia de lodo, se utiliza como expresión de partida, la fórmula de atenuación de la intensidad de radiación I_0, a través de un medio de caras planas paralelas de espesor x, dada por:

$$I_{medido} = I_0 \, e^{-\lambda x}$$

En este caso, la radiación pasa a través de una corona cilíndrica de diámetro interior igual al diámetro de la sonda, y diámetro exterior igual al diámetro del sondeo. Por otra parte, la expresión anterior, considera solamente fenómenos de absorción, si se quiere tener en cuenta también la radiación dispersada, se debe considerar un factor de acumulación B(**8**x,E).

Teniendo en cuenta estos factores la expresión de la corrección total tiene la forma (Díaz Curiel et al; 1997):

$$I_{medido} = I_0 \cdot \exp(-\eta\delta \, \frac{D^2 - d^2}{4 \cdot D}) \cdot (1 + 0.97 \ (\eta\delta \sqrt{D/d})^{1.26})$$

siendo **0** el coeficiente de absorción másico del agua del agua (para la energía considerada de 1.460 MeV es 0.057 cm^2/gr), ***** la densidad del lodo (gr/cm^3), D el diámetro del sondeo (cm) y d el diámetro de la sonda (3.5 cm).

En la figura 3.19, se ha representado la forma que adopta el factor I_0/I_{medido} en función del diámetro para distintas densidades de lodo, con el fin de comparar los resultados con los ábacos de Gearhart-Owen y para facilitar su uso como ábaco de corrección.

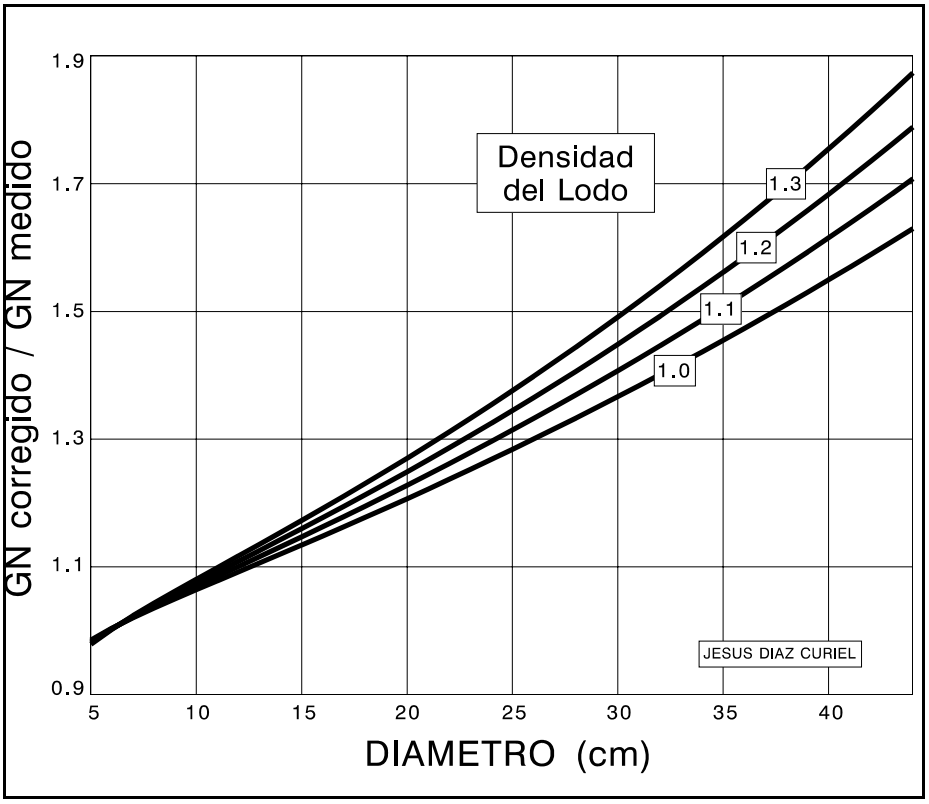


Figura 3.19 - Corrección de la medida de radiación por efectos del sondeo

El error medio respecto a los ábacos experimentales de Gearhart-Owen correspondientes a estas densidades (los originales aparecen en medidas inglesas) es menor del 2%, con la diferencia que dichos ábacos muestran una variación lineal con el diámetro, mientras que estas curvas teóricas presentan una variación de la pendiente al aumentar el diámetro.

3.4.3.4 Determinación del % arcilla

Una vez realizadas las correcciones del registro de radiación gamma, para determinar el contenido en arcillas se considerará que, dentro de la cuenca que aquí se estudia, se cumplen las tres condiciones siguientes:

1ª La concentración de Potasio en las arcillas existentes en una cuenca determinada, y con ello, la proporción del isótopo 40, de carácter radiactivo, puede considerarse constante.

Si se cumple esta condición, lo cuál se verifica a grandes rasgos en las cuencas detríticas, la medida de la radiación gamma de la formación será proporcional al contenido en arcillas, salvo por la presencia de otros materiales con una elevada emisividad gamma (litologías radiactivas) o cuya radiación sea de un orden de magnitud próximo al de las arcillas.

Las litologías radiactivas (como las uraníferas) alcanzan valores de G.N. muy superiores a los de las arcillas, por lo que pueden excluirse con facilidad. Por otro lado, las formaciones de emisividad media, como arenas con un alto contenido en feldespatos, generalmente próximas a una área fuente de tipo granítico, o niveles de granito alterado, pueden diferenciarse de la arcilla, puesto que los valores que presentan los parámetros eléctricos son muy superiores a los de las arcillas.

En el caso de encontrarse otros materiales como materia orgánica, niveles en fase de hidrocarbonación, ...etc., que no pudieran discriminarse de la arcilla, y que éstos se presenten de forma abundante, la medida de radiación gamma no nos serviría para estimar directamente el contenido en arcillas.

2ª Considerar que a lo largo del sondeo aparecen un número gradual de niveles con distinto contenido en arcillas (arenas arcillosas, arcillas arenosas,...) hasta niveles completamente arcillosos.

Bajo este supuesto, podremos deducir el valor de emisividad de las arcillas, $GN_{arcillas}$, mediante el estudio de la curva de contingencia del rango de valores de radiación gamma, esto es, determinando un límite estadístico de la curva de frecuencias acumuladas. Los contenidos de arcilla en los distintos niveles de un sondeo profundo en la zona de estudio muestran una distribución de tipo Beta.

Una forma estadística para obtener el valor de discriminación y que proporciona buenos resultados es considerar un nivel de discriminación del 98%, pero en los casos donde nos encontramos con distinto número de niveles de emisividad anómala (arenas feldespáticas, capas de granito situadas generalmente en el fondo del sondeo, ...etc.), el valor de radiación al que corresponde ese nivel presenta variaciones muy elevadas.

Este criterio se ha diseñado bajo hipótesis estadísticas de que la distribución que presentan los valores de radiación gamma en las distintas capas se ajusta a una distribución estadística con coeficientes similares, lo cuál no tiene por que ser cierto en todos los casos, dado que el punto de discriminación se encuentra situado en la parte más asintótica de la curva de contingencia, pequeñas variaciones pueden producir resultados muy dispares.

Por lo tanto se ha establecido un algoritmo para truncar la curva de frecuencias acumuladas, que no es de carácter estadístico, sino que implica una variación brusca del valor de radiación gamma. Para ello, se analizan los valores de emisión gamma junto con la litología de cada capa, determinando el valor que corresponde a litologías no arcillosas de radiación gamma elevada, el cuál, por las razones aludidas anteriormente, varía de un sondeo a otro.

Tras dicho análisis, se ha comprobado que un criterio que produce resultados aceptables consiste en tomar $GN_{arcillas}$ en el punto donde el incremento de dicha curva muestre un gradiente menor que el dado por la expresión:

$$N_{acum}(f) - N_{acum}(f-1) < \frac{N_c - N_{acum}(f)}{N_f - f}$$

siendo $N_{acum}(f)$
el valor acumulado para el intervalo f considerado, N_c el número de capas y N_f el número de intervalos tomados sobre el rango total de radiación gamma medido.

Tras un estudio de la curva de distribución de radiación gamma, se define de forma automática el valor correspondiente al máximo de arcillas, que suele estar en torno al 95%. En la figura 3.20 se presenta un ejemplo del nivel de discriminación encontrado (radiación gamma natural máxima para las arcillas) en uno de los sondeos estudiados.

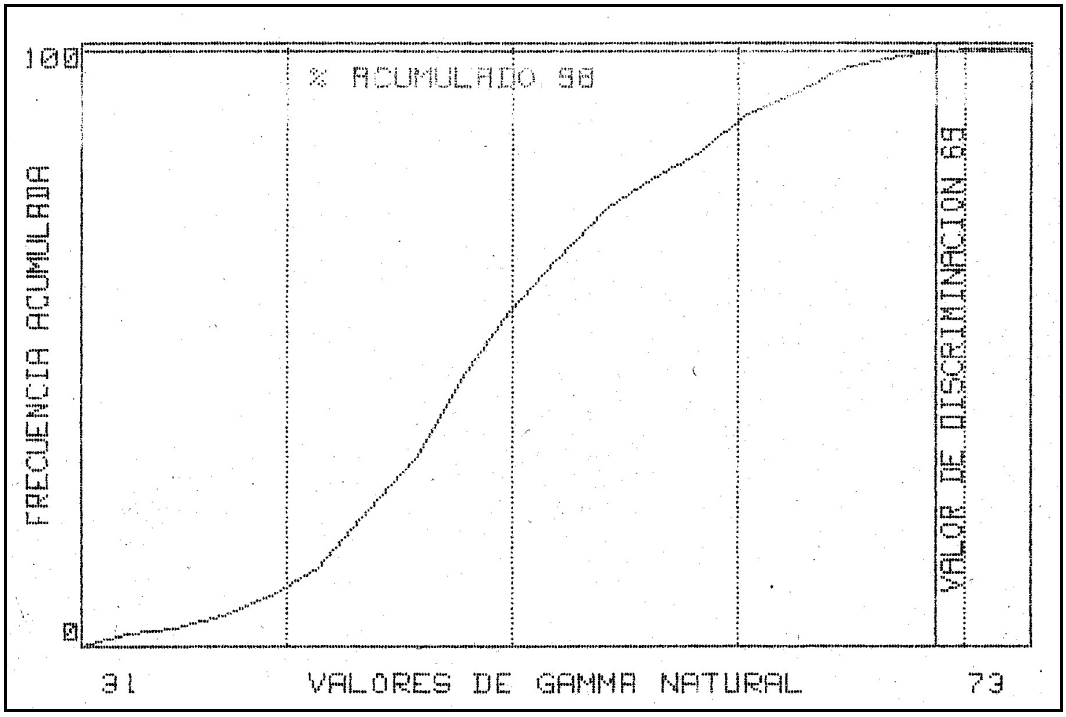


Figura 3.20 - Curva de frecuencias acumuladas de Radiación Gamma

3ª Suponer que a lo largo del sondeo aparecen algunos niveles con contenido de arcillas despreciable. Estos niveles presentarán un valor de radiación gamma $GN_{mínimo}$ que se pueden tomar como correspondiente a un contenido nulo de arcillas.

Si se admiten estas tres hipótesis, que de hecho se presentan en sondeos suficientemente profundos dentro de los acuíferos multicapa, la forma de evaluar la proporción de arcilla se realizará empleando el llamado Índice de arcilla I_a, definido simplemente mediante la relación (Poupon et al, 1970):

$$Ia = \frac{GN_{corregido} - GN_{mínimo}}{GN_{arcillas} - GN_{mínimo}}$$

Aunque esta relación puede
modificarse para considerar la porosidad del medio y el fluido que rellena sus poros (Katahara, 1995), dicha corrección no afecta al tratamiento que se realiza en este estudio, dado que aquí se considera que tanto la matriz no arcillosa como el fluido que rellena los poros (aire o agua) son igualmente no radiactivas.

3.5 ASIGNACIÓN LITOLÓGICA

La equivalencia que se produce entre distintas litologías dentro del proceso de asignación litológica a partir de un número finito de parámetros (sobre todo si éste es pequeño) requiere, tanto si se realiza mentalmente como de forma automática, un conocimiento de las posibles litologías existentes y del estado físico en el que se encuentren (presión, temperatura,...). Así, para los parámetros que llamamos convencionales, una Anhidrita puede presentar la misma respuesta que una Caliza o que una Arenisca muy cementada.

Las capas paramétricas determinadas a lo largo del sondeo suponen generalmente un número muy elevado de capas, algunas de las cuáles presenta una diferencia en el valor de los parámetros medidos que no implica necesariamente una distinción de la litología a la que corresponden.

De esta forma, una serie continua de capas paramétricas con unas emisividades muy bajas de radiación gamma y con oscilaciones de resistividad incluidas en un rango elevado (>100 OhmÅm) puede representar una alternancia de niveles de gravas con pequeñas variaciones granulométricas. Dado que no puede exigirse de los datos obtenidos mediante registros geofísicos una mayor resolución, tras el proceso de asignación litológica todos estos niveles aparecerán como un único nivel de gravas.

Este proceso no debe realizarse antes de la interpretación cuantitativa, pues de lo contrario, los nuevos espesores de capas definidos influirían negativamente en dichos procesos cuantitativos.

3.5.1 Asignación directa

Este proceso se realiza mediante la utilización de unos archivos internos en los que se hallan definidos los límites de los N_p parámetros distintos utilizados para las litologías comúnmente encontradas en cuencas detríticas continentales. Estos límites definen unos espacios que representan los distintos grupos paramétricos de las litologías, y la asignación se realiza buscando en cuál de los grupos definidos se encuentra cada una de las capas del sondeo.

De todos los parámetros medidos se han seleccionado la resistividad y la radiación gamma como los más resolutivos a la hora de discriminar litologías, puesto que la conductividad del agua de la formación no es representativa de las distintas litologías.

En la figura 3.21 se representa una representación bi-dimensional (2-D) donde esos grupos son rectángulos y, dada la definición de los límites de cada parámetro, éstos pueden presentar espacios de intersección entre ellos (que también son rectángulos). En 2-D las capas vendrán representadas por puntos y en todo el proceso de interpretación litológica se hablará indistintamente de capas o puntos.

De esa forma, el proceso de asignación se resuelve para cada punto mediante una serie de condicionales directas, salvo en los espacios de intersección de dichos grupos, en los que la asignación se realiza definiendo la diagonal del espacio intersectado y determinando a que lado de la diagonal se encuentra dicho punto.

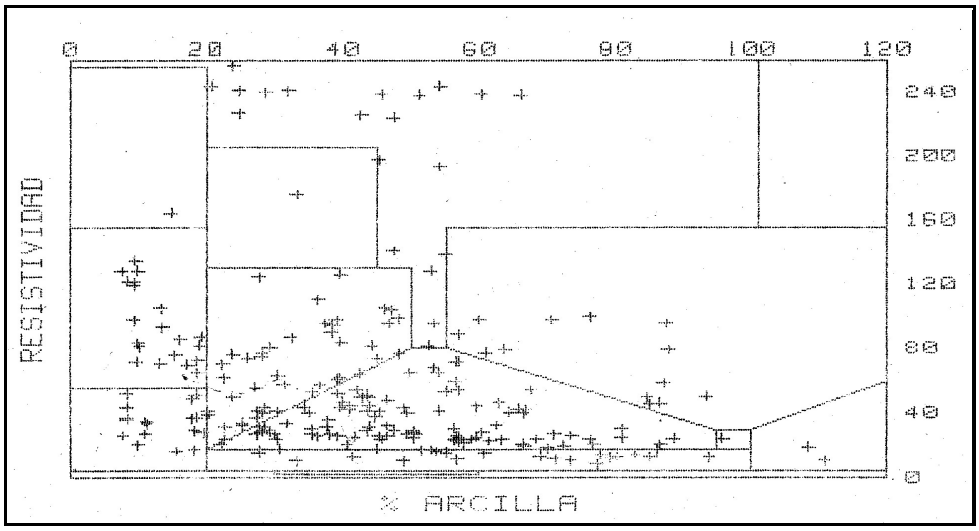


Figura 3.21: Representación 2D de los grupos paramétricos de las litologías

Sin embargo dado que los valores de resistividad siguen una escala logarítmica se han modificado los límites de este parámetro. En la figura 3.22 se observan los rangos de los valores de resistividad para las litologías existentes.

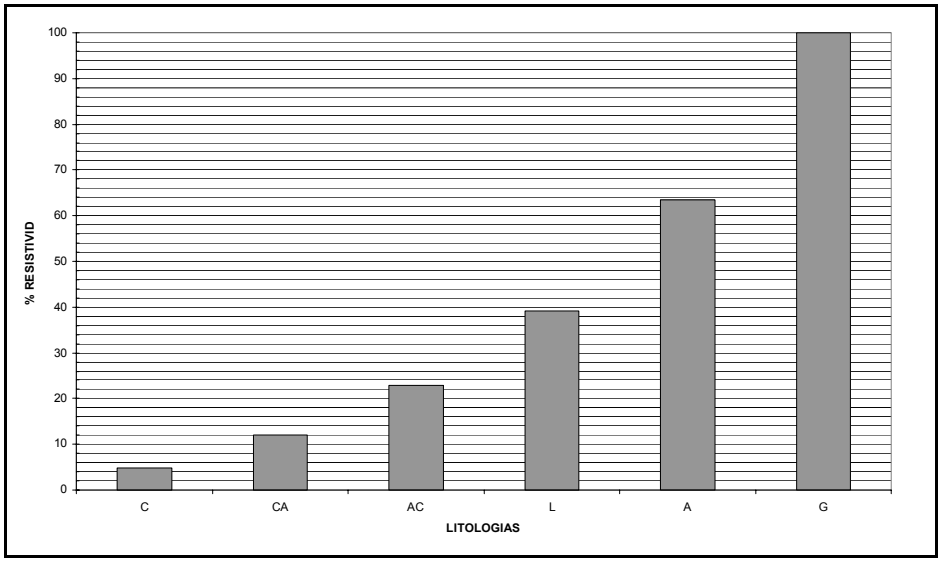


Figura 3.22: Límites de resistividad para las litologías existentes

3.5.2 Códigos litológicos

El código asignado a cada litología debe alcanzar un cierto sentido matemático para poder evaluar y clasificar las distintas litologías. Por otro lado, dichos códigos deben considerar la litología predominante y presentar un cierto orden numérico. Siguiendo estos criterios los códigos iniciales de distinción litológica utilizados han sido:

1 -	Gravas	5 -	Calizas
2 -	Arenas	6 -	Yesos
3 -	Limos	7 -	Materia Orgánica
4 -	Arcillas	8 -	Granito

Utilizando códigos de dos cifras podremos reflejar la presencia de litologías puras y mixtas, entendiendo que el primer dígito señala la litología predominante y el segundo el término minoritario, así por ejemplo:

11 - Gravas
42 - Arcillas arenosas

En este sentido, se ha empleado un código mixto para las margas a la que se le ha asignado el código 45 (arcillas-calizas) y para el granito alterado el 84 (granito-arcillas).

En la figura 3.23 se observa la asignación litológica realizada en un tramo del sondeo La Merced a partir de los valores de los distintos parámetros obtenidos tras la interpretación cuantitativa.

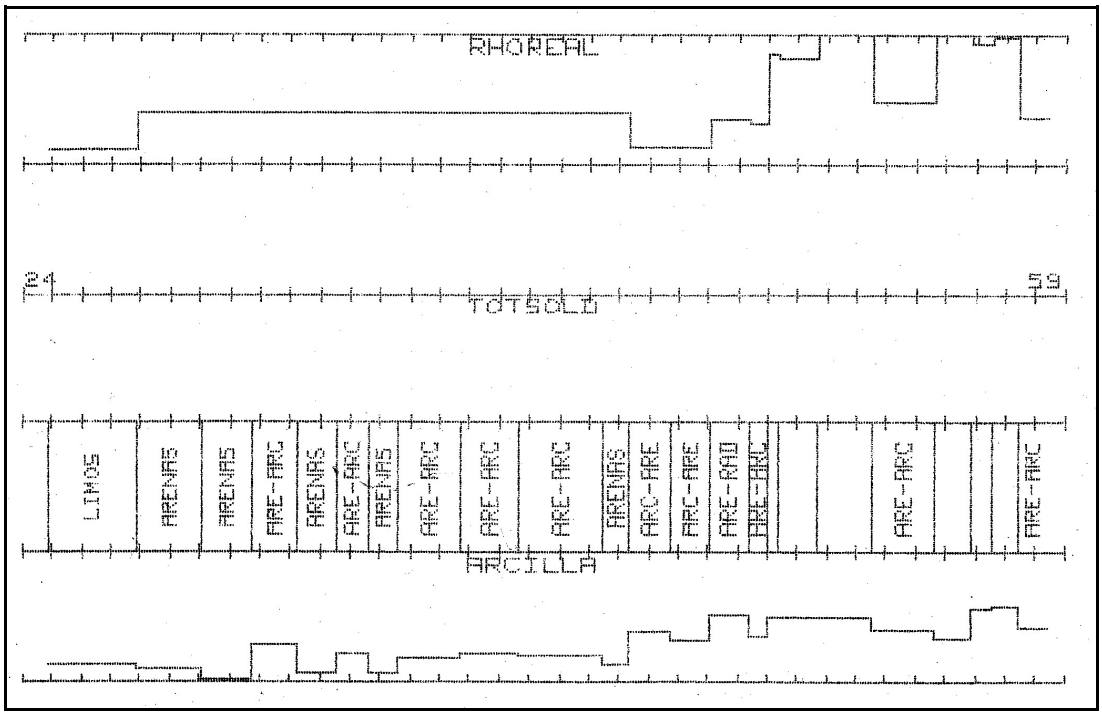


Figura 3.23 Proceso de asignación litológica en el sondeo La Merced

3.6 ZONACIÓN

El proceso de zonación (término derivado de la bibliografía inglesa) o tramificación (que sería un vocablo más aclaratorio dada la acepción espacial que tiene el término zonación en español) consiste en la determinación y clasificación de los distintos tramos o unidades geofísicas existentes en una diagrafía. Para ello, definiremos tramos o unidades geofísicas como un conjunto de niveles o capas, caracterizado por mantener dentro de cada uno de ellos, una o varias de las siguientes propiedades:

- Valor de uno o varios parámetros físicos (relacionado con la litología dominante)
- Grado de variación (relacionado con la alternancia de litologías)
- Espesor y secuencia de las capas (relacionado con el proceso de sedimentación).

Estos tramos, como conjunto de niveles o capas con esas características más o menos uniformes y diferenciadoras del resto, pueden mantener o no correspondencia con unidades o facies geológicas en función de las características del área que se trate.

Para determinar los tramos de las diagrafías, se ha efectuado un análisis estadístico del registro inicial y de la curva segmentada de resistividad. Una vez elegido el tipo de ventana de estudio, se realiza un estudio de varianza del registro segmentado. A continuación se lleva a cabo un análisis de frecuencia de la curva, mediante el cálculo del espesor medio de las capas (equivalente a la longitud de onda, e inverso al número de ceros) a lo largo del registro segmentado. Por último se efectúa un estudio de la variable valor medio del registro inicial, para lo cuál se realiza primero un fuerte suavizado del registro y posteriormente se segmenta siguiendo pasos análogos a los descritos en segmentación.

Dado que las variables estudiadas son de índole muy diversa no tiene sentido realizar una búsqueda de límites comunes para todas ellas, sino que se toman de partida los límites encontrados para la variable valor medio y se añaden los límites que determinan las variables varianza y frecuencia, en aquellas profundidades donde se aprecien variaciones significativas de esas dos variables. Una vez determinados los límites definitivos de los tramos, se recalculan los valores de varianza, frecuencia y valor medio para cada uno de ellos, esta vez con ventanas de anchura iguales al espesor de cada tramo.

La caracterización de tramos se efectúa mediante la asignación de la media de cada una de las variables estudiadas. La variable valor medio se normaliza de 0 a 100% respecto al rango total del registro inicial, para minimizar la influencia de las características del sondeo (diámetro, lodo de perforación, ...). La variable varianza se normaliza entre 0 y 1, y los espesores medios de las capas en cada tramo quedan sin normalizar.

En la Figura 3.24 se muestra un ejemplo de los tramos definidos de forma automática en uno de los sondeos estudiados. En ese gráfico vemos cómo de las variables analizadas, es el estudio de amplitudes el que mejor define los tramos de la diagrafía.

No obstante, las variables de espesores y varianza deben emplearse como apoyo a la hora de caracterizar los tramos determinados en el sondeo. También se debe señalar que, aunque el estudio de espesores (equivalente al de frecuencias) no determina tramos con sentido físico, sin embargo, puede producir una subdivisión con un determinado carácter sedimentológico.

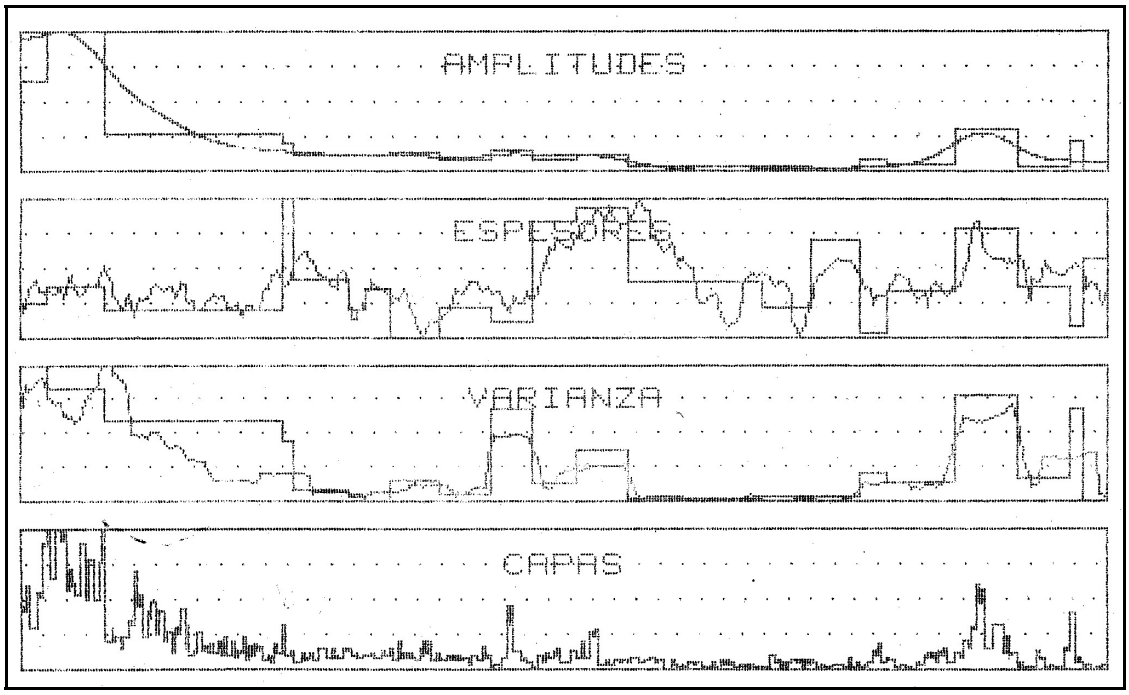


Figura 3.24 - Tramos determinados en el sondeo La Concepción

3.7 CORRELACIÓN GEOFÍSICA

Correlacionar en Testificación Geofísica es mostrar una correspondencia en carácter, secuencia y posición entre los distintos fragmentos de dos diagrafías. Dicha correlación tiene, desde el momento que pueda implicar una continuidad lateral de ciertas propiedades físicas, connotaciones eminentemente prácticas.

A nivel físico-matemático, el carácter que se utiliza en las correlaciones geofísicas puede ser su valor paramétrico (igualdad de resistividad, de emisión gamma,...etc), la forma de los distintos registros (procesos matriciales, reconocimiento de patrones, ...etc) o los códigos establecidos en las asignaciones litológicas resultantes de la interpretación de las diagrafías (columna geofísica).

Hasta la fecha, y como práctica más común, es posible y tiene sentido realizar correlaciones "capa a capa" para sondeos próximos o entre capas "guía" para sondeos distantes. Sin embargo, en cuencas detríticas multicapa (uno de los medios sedimentarios más frecuentes en el Neógeno y Cuaternario peninsular) y de cara a realizar macro-correlaciones entre sondeos lejanos que permitan dar un enfoque geológico e hidrogeológico regional, este tipo de correlaciones adolecen de extensión espacial.

Los métodos seleccionados para la obtención automática de la citada correlación, son la técnica matricial entre las columnas litológicas (resultantes de la interpretación de las diagrafías) de sondeos próximos, y entre los tramos geofísicos de sondeos lejanos. Ambos métodos se han modificado para obtener resultados óptimos en su utilización sobre diagrafías (Díaz Curiel et al., 1998b).

La correlación de capas se realiza entre pares de sondeos teniendo en cuenta el conjunto de resultados obtenidos a través de la correlación de las columnas litológicas (capas) deducidas a partir de las diagrafías, y los derivados de la correlación de los tramos definidos en cada sondeo.

Otro factor que se ha incluido en el sistema de correlación son las denominadas capas guía, cuya relevancia en este proceso se considera similar a los resultados de la correlación de tramos en lo que se refiere a la distancia entre sondeos. Dentro de los registros geofísicos, dichas capas se distinguen por alcanzar valores de algún parámetro (en especial G.N.) o espesores muy diferenciados del resto de las capas.

Este proceso se realiza mediante procesos matriciales entre las columnas litológicas deducidas de la interpretación de las diagrafías y que vienen dadas por la serie de códigos que reflejan tanto las litologías "puras" como, en el caso de litologías mixtas, la litología predominante y la secundaria.

Para la búsqueda de estas capas conviene tener presente, además, el gráfico obtenido en el proceso de clasificación automática de las litologías determinadas a partir de las diagrafías (figura 3.21**),** pues en dicho gráfico se pueden observar los puntos para los que el conjunto de los parámetros elegidos está muy diferenciado del resto.

Para la correlación entre capas se excluye la comparación entre los espesores de las capas, entendiendo que en acuíferos detríticos multicapa dichos espesores no mantienen una continuidad horizontal apropiada. No obstante, podrían incluirse como un factor más dentro de las consideraciones de las capas guía, en los casos de espesores muy elevados, o dentro de los criterios de similitud que se definen en los siguientes apartados.

A este método se le añaden una serie de modificaciones (Díaz Curiel et al., 1998b) para alcanzar resultados fiables en series muy repetitivas (como es nuestro caso) y un conjunto de pautas que caractericen esta técnica para el caso de correlación de columnas litológicas, imprimiendo carácter geológico a los pares de correlación que se definan.

Para la correlación de tramos y dado que el número de tramos determinados en los sondeos estudiados no es muy elevado este mismo proceso se realiza de forma individualizada a partir de la caracterización de dichos tramos y de los resultados del proceso de comparación matricial de los tramos definidos para los registros de R.N.C, y P.E. La elección de estos parámetros se debe a que se han mostrado como los más representativos para la realización de este proceso.

CAPÍTULO 4:

LA CUENCA DE MADRID

Para alcanzar un conocimiento general del estado actual de la Cuenca de Madrid se ha realizado primeramente una recopilación y revisión de los principales trabajos publicados referentes a la Cuenca de Madrid y que han sido básicos para el conocimiento de dicha Cuenca.

Se hace una descripción detallada de los materiales que existen en la Cuenca incluyendo tanto los materiales aflorantes como los existentes en profundidad y que han sido descritos gracias a la información derivada de los sondeos mecánicos y las técnicas geofísicas empleadas en los distintos estudios realizados en la Cuenca, ya sea para investigación de hidrocarburos, estudios de aguas subterráneas, exploración de uranio..., etc.

La descripción de estos materiales no es sólo litológica, sino hidrogeológica y sedimentológica incluyendo un análisis de facies para alcanzar un conocimiento de la cuenca que incluya la interpretación de los distintos medios de sedimentación para llegar al conocimiento de la evolución sedimentaria que ha sufrido la Cuenca. Así mismo se hace una revisión de la tectónica antigua y nueva que ha afectado a la cuenca, así como su estado actual.

4.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

La Cuenca occidental del Tajo, también llamada Cuenca de Madrid, está situada en las Comunidades Autónomas de Madrid y Castilla la Mancha, en las provincias de Madrid, Guadalajara, Toledo y Ávila (ésta última forma parte del borde NO y pertenece a Castilla-León).

Los sondeos a estudiar se encuentran situados en las estribaciones meridionales de la Sierra de Guadarrama, más concretamente, a ambos margenes del río Manzanares, a la izquierda el sector Oeste y a la derecha el sector Noroeste de la zona de estudio.

La superficie estudiada está repartida entre las hojas nº 558 de Majadahonda y la nº 559 de Madrid en el sector Oeste y en la Hoja nº 534 de Alcobendas para el sector Noroeste del Mapa geológico de España a escala 1:50.000 del I.G.M.E (figura 4.1)

El rasgo morfológico más singular existente en el sector noroeste viene definido por la denominada Superficie de Madrid, que aparece desarrollada entre las cotas 680 m y 800 m, arrancando desde los alrededores de Colmenar Viejo. Esta superficie aparece seccionada por los cursos de dirección N-S del Manzanares y del Jarama, ambos tributarios del Tajo. El encajonamiento de estos ríos da lugar a una variada gama de formas (glacis, terrazas, escarpes, etc.), ocupando niveles aluvionares de la zona de estudio áreas bastante amplias al Este, en el río Jarama y al Este en el río Manzanares.

Los ríos que drenan el sector oeste son principalmente el manzanares y sus afluentes de la margen derecha, que de Norte a Sur son: arroyo de la Trofa, arroyo de la Zarzuela, arroyo de Pozuelo de Alarcón, arroyo de Antequia, arroyo de los Meaques y arroyo Butarque. Muy localmente, esta zona se ve drenada por algunos afluentes de la margen izquierda del río Guadarrama.

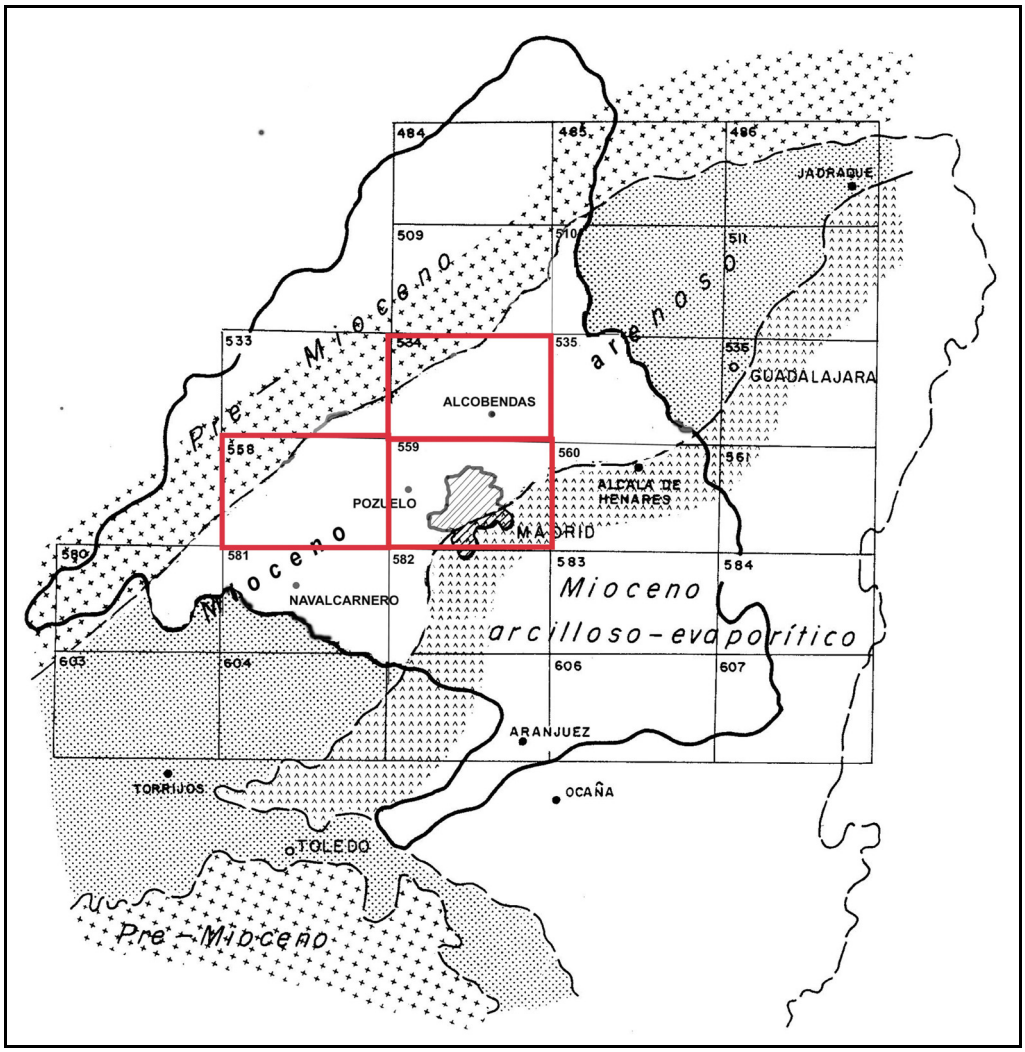


Figura 4.1: Hojas del I.G.M.E. Escala 1:50:000

4.2 ENCUADRE GEOLÓGICO

La Cuenca de Madrid constituye un amplio graben de aproximadamente de 16.000 Km^2 , tiene forma triangular y sus límites son los siguientes sistemas montañosos:

Al Norte, el Sistema Central, compuesto por rocas ígneo-metamórficas y sedimentos Mesozoicos, con una dirección NE-SO, de aspecto rectilíneo en general pero que en detalle presenta gran número de irregularidades. El sector NO está formado por rocas ígneo-metamórficas, y ha contribuido de forma importante como área fuente de la Cuenca. El sector NE está constituido por materiales metamórficos y Mesozoicos, este sector ha tenido un funcionamiento tectónico peculiar, hecho que se refleja en los depósitos Terciarios del área NE.

Al Sur limita con los Montes de Toledo que forman un complejo granítico-metamórfico. Presenta un contacto aparentemente rectilíneo con los materiales Terciarios, actuando como área fuente de los mismos durante este periodo.

Al Este con la Sierra de Altomira, formada por materiales Mesozoicos de naturaleza fundamentalmente calcáreo-dolomítica, que presenta en conjunto una estructura de anticlinorio de eje N-S compuesta por materiales Mesozoicos.

La estructura del zócalo corresponde a la de un graben complejo. Tanto la subsidencia diferencial de los bloques como el basculamiento de los bloques, han condicionado el estado actual de los sedimentos. Observándose, en general, una fuerte asimetría, en particular NO-SE, del basamento de la cuenca con una distribución diferenciada de espesores en el relleno Terciario. Estos espesores varían desde casi 4000 metros en el sector próximo al Sistema Central hasta una media de unos 1500-2000 metros en la parte central y oriental de la Cuenca. En la figura 4.2 se presenta un corte geológico esquemático de la Cuenca de Madrid.

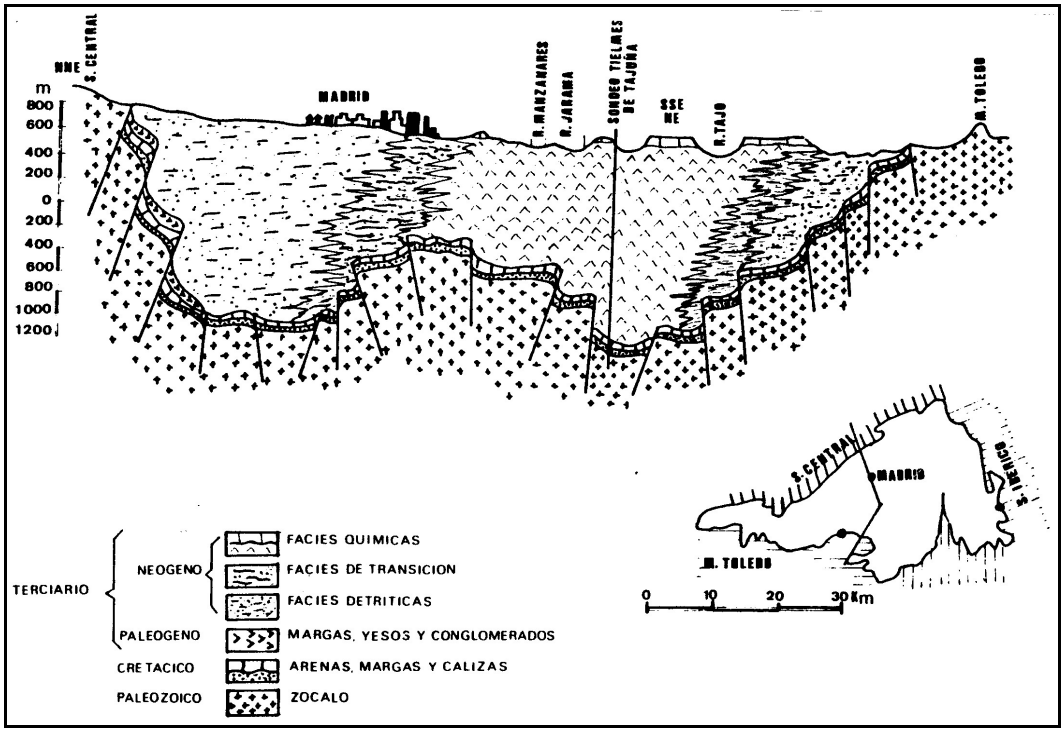


Figura 4.2: Corte Geológico Esquemático de la Cuenca de Madrid

Los materiales que rellenan la Cuenca son Mesozoicos, Terciarios y Cuaternarios. La sucesión litoestratigráfica de los materiales que constituyen el relleno de la Cuenca de Madrid comprende desde sedimentos Cretácicos que afloran adosados a las series metamórficas y granitoides del Sistema Central, hasta los niveles Pliocenos que se disponen en la parte superior de los relieves más altos dentro de la Cuenca y que constituyen la terminación del ciclo de deposición del Terciario.

El Terciario se apoya sobre sedimentos de edad Cretácica al NO, N y E de la Cuenca, mientras que reposa directamente sobre el zócalo granítico-metamórfico en la parte Sur y Oeste (Montes de Toledo). El relleno sedimentario, durante el Mioceno, se produjo a partir de la erosión de los relieves circundantes, Sistema Central, Montes de Toledo y Sistema Ibérico, según el modelo clásico de sedimentación en cuencas continentales endorreicas áridas y desarrollándose las facies de borde o detríticas, intermedias o de transición y centrales o químicas, características de este medio de depósito.

Sobre estos materiales se instalan depósitos Cuaternarios, producto en la mayoría de los casos de la actividad de la red de drenaje actual.

Los sondeos a estudiar se sitúan en la parte central de la citada fosa sobre los sedimentos detríticos da las facies de borde, procedentes de la erosión del sistema central. Los materiales que constituyen estas facies son principalmente arenas, limos y arcillas, depositados según el mecanismo de deposito de abanicos aluviales en ambiente arido caracterizado por la gran complejidad de estructuras sedimentarias que presentan.

A continuación se hace una descripción de las litologías que aparecen en la zona de estudio, comentando más ampliamente las unidades en las que se ubican los sondeos a estudiar.

4.2.1 Zócalo

El sustrato sobre el que se apoyan los sedimentos terciarios de la Fosa del Tajo lo constituye el sistema central. Los materiales que integran este macizo cristalino son de carácter ígneo y metamórfico. Dentro de las rocas ígneas podemos distinguir los granitos, rocas afines y las formaciones filonianas.

Las formaciones graníticas están representadas por granitos y granodioritas de gran variedad, siendo la más frecuente la de tonos grises y grano medio relativamente rico en biotita y feldespatos, con inclusiones básicas en las cercanías de los contactos con las formaciones metamórficas.

Los conjuntos filonianos, cuyas composición es de cuarzo, aplitas, pegmatitas, pórfidos y lamprófidos, atraviesan indiscriminadamente las formaciones metamórfica y granítica, con relaciones de contacto a veces netamente discordantes, y otras no tan definidas. Las orientaciones más frecuentes que presentan estos diques son NNE-SSO, N-S y E-O (San Miguel, 1956).

Los materiales metamórficos presentes son neises granulares o nodulares, neises migmatíticos y en ocasiones esquistos, siendo el conjunto de edad Ordovícica.

La profundidad del zócalo en la cuenca es variable, presentando fosas y umbrales. Las fosas más importantes son las denominadas Cubeta de la Alcarria, Cubeta de Aranjuez y Cubeta de Alcobendas, esta última con más de 3.000 metros de espesor de sedimentos detríticos

4.2.2 Cretácico

Representan los primeros depósitos sedimentarios sobre el macizo cristalino, si bien, hacia el Este se tienen registrados otros depósitos de edad inferior.

Está constituido por conglomerados y arenas en la base (Formación Patones, en facies Utrillas), y sobre ellos, gruesos niveles margosos y calcáreos, si bien en sondeos también se observan anhidritas hacia techo. Todos son depósitos marinos, observándose una progresiva somerización hacia el tránsito con el Terciario.

Aunque depósitos sedimentarios, no se les debe considerar como propios de la cuenca estudiada, ya que existían antes de la formación de dicha cuenca.

4.2.3 Paleógeno

Sus afloramientos se sitúan bien adosados a los materiales del cretáceo o bien cabalgados por los granitos y gneises del Sistema Central ocupando una estrecha banda discontinua en el borde N-O de la cubeta del Tajo. De acuerdo con la disposición paleogeográfica y los eventos tectónicos que han sufrido los materiales paleógenos se pueden separar dos unidades informales:

La unidad inferior, T1: Preorogénica, contiene dos subunidades y marca el fin del Cretácico y los inicios del Cenozoico. Portero y Y Olive (1984) la describen como la "Unidad siliceo-arcillosa de Quijorna" a la que atribuyen un medio de depósito francamente continental (abanicos aluviales húmedos), atribuyéndoles una edad Paleocena-Eocena s.l., pero sin llegar a desechar la posibilidad de que también sean Cretácicas.

Litológicamente, está compuesta por una alternancia de paleocanales de arenas y gravas, principalmente cuarzosas, con niveles de lutitas abigarradas con arena dispersa. Sobre esta base existe un nivel continuo de 3 a 8 m de espesor formado por areniscas y conglomerados finos con cemento silíceo (calcedonia fina) y a techo un potente paquete arcilloso.

La unidad superior T2, viene a definir en la cuenca la respuesta deposicional a la primera fase compresiva de la Orogenia Alpina, Fase Castellana de Aguirre et al. (1976), tiene pues un carácter general de unidad sinorogénica o tectofacies. La forman arcosas distribuidas según extensos paleocanales en cuyas bases suelen contener gravas angulosas de cuarzo, o de aplitas y gneises. Estos niveles tienen espesores de hasta 10 m y entre ellos se intercalan niveles decimétricos de arenas fangosas y arcillas, que llegan a ser mucho más potentes en la zona de Quijorna.

Estos materiales paleógenos están recubiertos por materiales neógenos, por lo que su observación resulta de todo punto de vista imposible. Pese a ello, sus características generales se conocen bastante bien por los datos aportados por Racero (1986). En el sondeo de El Pradillo posee, según el autor, una edad comprendida entre el Oligoceno Superior y Mioceno Inferior, habiéndose obtenido esta edad mediante algún diente de micromamífero y fundamentalmente pólenes.

El autor separa una potente unidad inferior de carácter detrítico relacionada con sistemas de abanicos aluviales áridos de escaso desarrollo, que dan sedimentos de colores reducidos muy mal clasificados. A techo se sitúa otra potente unidad evaporítica, dolomías-calizas-anhidritas, que marcan el final de la unidad. En Torres et al. (1984), se sitúa el límite de las unidades Paleógenas-Neógenas dentro del Ageniense, no habiéndose encontrado diferencias cronoestratigráficas en este límite.

4.2.4 Neógeno

La Cuenca de Madrid, ha sido objeto de numerosos trabajos que han ido dando forma al conocimiento que hoy tenemos sobre la Cuenca. A nivel de síntesis estratigráfica, el primer trabajo corresponde a Royo Gómez (1922 y 1926) que distingue tres conjuntos Neógenos (Tortoniense, Sarmatiense y Pontiense), separados del Paleógeno por una gran laguna estratigráfica y en discordancia angular sobre éste en las zonas marginales de la Cuenca.

Posteriormente Riba (1957) y Benayas (1960) establecen un modelo deposicional basado en cinco grandes facies con cambios laterales entre ellas, condicionadas por las diferencias composicionales de las áreas fuente. Alia (1960) atribuye las facies arcósicas al Plioceno y establecen la relación entre los diferentes rellenos y la tectónica profunda del zócalo, que a su vez condiciona los cambios laterales de facies. En este trabajo y posteriormente (Alia et al., 1973) distinguen una serie de discontinuidades dentro del Mioceno y Plioceno.

Martín Escorza y Fernández Henrile (1972) y Martín Escorza (1974) hacen nuevas aportaciones para el conocimiento del Neógeno y Paleógeno arcósicos aflorantes al Oeste y Suroeste de Madrid y en el Norte de la provincia de Toledo. Aguirre et al. (1976) definen la posición cronoestratigráfica de las discontinuidades y propone denominar a las fases tectónicas que las originaron como Fase Castellana (Pérez González et al., 1971) en el oligoceno superior, Neocastellana en el limite del Mioceno inferior-medio e Intravallesiense o Iberomanchegas 1 y 2 en el Plioceno superior.

Martín Escorza (1976) distingue la presencia de tres Unidades y dos Formaciones litoestratigráficas dentro del Mioceno y dos unidades menores en el Plioceno (M1 a M5) y la existencia de seis discordancias erosivas de origen tectónico. Martín Escorza y Bustillo (1979) presentan una síntesis basada en sus trabajos anteriores siguiendo el modelo sedimentario de Riba (1957).

Mejías et al. (1980a y b) y Mejías et al. (1983) basándose en el modelo ya expuesto por ellos mismos, dividen el relleno Neógeno de la Cuenca de Madrid en cinco unidades tectosedimentarias de rango cuencal, denominadas en el sector central: Unidad salina, Unidad detrítico-yesífera y Unidades fluviolacustres inferior, media y superior, ésta última de edad Pliocena.

Alberdi et al. (1983) realizan un estudio del Neógeno del área de Madrid dividiéndolo en tres unidades litoestratigráficas (Unidad inferior, intermedia y superior) de edad comprendida entre el Oligoceno y el Plioceno, separadas entre sí por dos discontinuidades de distinta índole y bajo facies distintas en función de los cambios laterales existentes. Hoyos et al. (1983), también dentro de este esquema de funcionamiento sedimentario, analizan en profundidad, mediante el estudio de sondeos y cartografía geológica, las tres unidades litoestratigráficas aportando nuevos y valiosos datos para el estudio de esta Cuenca.

4.2.4.1 Mioceno

Los sedimentos Miocenos que rellenan la Cuenca del Tajo, corresponden a depósitos continentales de carácter endorréico, alimentados por abanicos aluviales procedentes de los bordes de la cuenca, que mediante facies de transición complejas, facies intermedias, pasa a sedimentos químicos lacustres (evaporitas y carbonatos) hacia el centro de la Cuenca.

En la figura 4.3 se observa el esquema del modelo sedimentario tipo de estos abanicos aluviales, según el modelo clásico de sedimentación en cuencas continentales endorreicas áridas, desarrollándose las facies de borde o detríticas, intermedias o de transición y centrales o químicas, características de este medio de depósito.

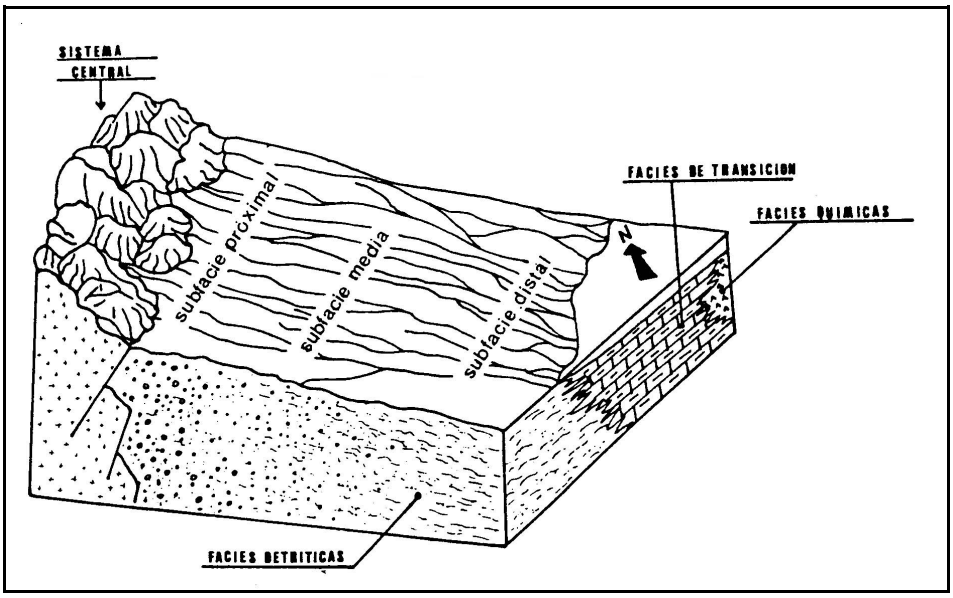


Figura 4.3: modelo clásico de sedimentación en abanicos aluviales

Es decir se distinguen tres litofacies. En primer lugar se distingue una facies marginal o detrítica relacionada con los grandes abanicos aluviales formados durante el Terciario, los cuales presentan una clastometría mayor que otros abanicos existentes en la actualidad, debido a un diferente régimen de aportes, condicionado por una mayor aridez en este período.

En segundo lugar se distingue una facies central o química, debida a los depósitos evaporíticos relacionados con lagos salobres, situados en zonas adyacentes a la parte más distal de los abanicos, cuya recarga dependía principalmente de estos abanicos.

En tercer lugar se distingue una facies intermedia o de transición situada entre las anteriores y que participa de las características de ambas.

Además en el Mioceno de la Cuenca de Madrid se pueden distinguir tres unidades litoestratigráficas, en función de las características litológicas y deposicionales: Unidad Inferior, Intermedia y Superior. Estas tres unidades coinciden con tres megasecuencias sedimentarias cada una de ellas con polaridad positiva, presentando en conjunto una tendencia progradante hacia el centro de la Cuenca:

Unidad Inferior

Los sedimentos que componen esta unidad corresponden a los primeros depósitos miocenos. Su límite inferior se presenta en forma de discordancia angular y erosiva (discordancia Neocastellana) en las zonas marginales de la Cuenca, bien visible en la zona Norte y Este. Estos depósitos basales consisten en niveles conglomeráticos y areniscosos gruesos que se abastecen de los mismos materiales Paleógenos sobre los que reposan.

En zonas centrales este límite no es observable en superficie y mediante sondeos no se han encontrado criterios para diferenciarle, a excepción del sondeo de Pradillo I donde este límite ha sido establecido mediante fauna Oligo-miocena por encima de los 600 m (Alberdi et al., 1983).

El límite superior queda definido por una disconformidad con la unidad suprayacente, la cual presenta diferentes características en distintas áreas de la cuenca, estando mejor definido en zonas centrales.

El esquema general de distribución de facies en esta unidad se caracteriza por un ambiente de sedimentación de grandes abanicos aluviales y lagos salobres en las zonas más externas de estos. En función de su posición se distinguen tres facies: una detrítica, correspondiente a zonas proximales y medias de los abanicos aluviales, otra denominada de transición, que representa las áreas distales de los abanicos aluviales con influencia de los lagos salinos y una química, correspondiente a depósitos evaporíticos en los lagos salobres.

Estos tres tipos de litofacies: facies detríticas, facies intermedias y facies químicas, se han denominado formación detrítica, arcillas basales y yesos basales respectivamente, o bien Formación Tosco, Formación Anchuelo y Formación Vallecas (López Vera, 1975):

Facies Detríticas: Los materiales que pertenecen a esta formación, se corresponden con varios sistemas de abanicos aluviales, los cuales presentan diferentes características litológicas y sedimentológicas, en función de la naturaleza del área de aporte.

Este hecho permite diferenciar en la formación detrítica tres grupos, según el área fuente de la que proceden, llamando formación detrítica del N, Fd1, a la procedente del sistema central de naturaleza ígneo-metamórfica. Formación detrítica Sur, Fd2, a la procedente del complejo granítico metamórfico de los Montes de Toledo y la formación detrítica Fd3 a la procedente de la Cordillera Ibérica y del Sistema Central de naturaleza metamórfica y detrítico-carbonatada.

La formación detrítica está constituida por abanicos aluviales (árido-semiáridos) con depósitos en masa (debris flow, mud flow), mantos de arroyada y sedimentos canalizados, con predominio de cualquiera de ellos, según la posición espacial que ocupen dentro de cada abanico, aunque en general presentan mayor abundancia los depósitos en masa.

Estos materiales son muy inmaduros y heterométricos, presentan frecuentes fenómenos de hidromorfismo y en zonas distales, abundantes procesos edáficos (encostramientos). Suelen presentar estructura tabular, en la que encajan los canales que tienen en general bases erosivas. Estos canales suelen rellenarse con los mismos depósitos existentes en los abanicos, hecho frecuente en este tipo de sedimentos donde se produce un importante retrabajamiento de los materiales durante su formación.

Esta facies detrítica, también llamada "Formación Tosco", está formada por arenas arcósicas de grano medio a fino con limos y arcillas; arcosas gruesas con cantos, con lechos de cantos, fangos y arenas arcósicas; y niveles de sepiolitas carbonatos y silex. Datos de sondeos existentes permiten reconocer un espesor de esta unidad por encima de los 250 m en la parte norte de Madrid (Mapa Geológico de España, escala 1:50 000, hoja nº 558. ITGE).

Litológicamente esta unidad está constituida por una alternancia monótona de arcosas, generalmente muy arcillosas, y arcillas arenosas, de tonos pardo-amarillentos y rojizos que se estructuran en secuencias granodecrecientes arcosa-arcillas arenosas, con espesores comprendidos entre varios decímetros hasta 3 m ó 4 m.

Esta unidad hacia la parte N y NO, presenta un aumento del tamaño medio de los depósitos arcósicos estando la mayor parte de los niveles constituidos por arena gruesa microconglomerática, con lechos discontinuos de cantos de granito, sienita y otros materiales plutónicos. La sucesión arcósica en este área septentrional aparece constituida por secuencias granodecrecientes de orden métrico, cuyos términos basales presentan frecuentemente niveles más o menos canalizados de arcosas gruesas con cantos y bloques. La proporción de fangos arcillosos aumenta netamente en las arcosas más meridionales.

Las arcosas de esta unidad presentan porcentajes variables de feldespatos (20 % - 50 %), con plagioclasas subordinadas respecto a los feldespatos potásicos. Como tendencia general, la proporción de feldespatos disminuye con el aumento del contenido en arcillas.

En cuanto a los minerales pesados, las arcosas presentan apatito como especie más frecuente, junto con turmalina y circón. Con distribución más heterogénea aparecen epidota y granate, siendo las micas abundantes o frecuentes en la práctica totalidad de los niveles.

Las arcillas, que constituyen la fracción fina de las arcosas y los lechos lutíticos a techo de las secuencias, presentan proporciones similares de esmectitas e illitas. La proporción de caolinita suele ser baja (Mapa Geológico de España, escala 1:50 000, hoja nº 558, ITGE). La edad atribuida a la "Formación Tosco" es Aragoniense Medio.

Facies intermedias: estas facies, también denominadas “Formación Anchuelo” o “Arcillas basales”, relacionan las facies detríticas (abanicos aluviales) de los bordes con las facies químicas del centro de la Cuenca.Se supone edad Aragoniense Medio, y constituye el cambio lateral de facies hacia el sur de la "Formación Tosco”

El medio de depósito es de llanura fangosa (mud flat) depositada bajo lamina de agua y fundamentalmente por decantación, muy desarrollada en potencia y extensión y presenta las siguientes características: naturaleza arcillosa, estratificación en bancos de potencia métrica en general de aspecto masivo, con gran continuidad lateral de los litosomas (varios kilómetros), bioturbación muy abundante (predominio de raíces), frecuencia de fenómenos edáficos (encostramientos) y elevado contenido en materia orgánica finamente dispersa.

Esta unidad está compuesta por arcillas marrones y verdosas y arenas micáceas con niveles de carbonatos y silex. Hacia el sur la composición de las arcillas son illitas, con porcentajes bajos de esmectita y caolinita. Presentan indicios de clorita y montmorillonita interestratificadas. Al norte, presentan un carácter más masivo y de tonalidad más verdosa. Poseen intercalaciones de carbonatos blancuzcos y arenas finas, ricas en micas negras de espesor decimétrico. Su composición respecto a las meridionales difiere sensiblemente. Aquí el porcentaje de esmectitas es muy elevado, mientras que el de illita es bajo y no aparece caolinita.

Facies químicas: Están representadas por un conjunto de sedimentos evaporíticos que forman los últimos depósitos del sistema de facies con funcionamiento centrípeto anteriormente expuesto. Son los denominados yesos basales o “Formación Vallecas”, aunque suele haber confusión en este término (López Vera 1975).

Las características sedimentológicas y petrográficas varían en función de su situación espacial en el ámbito de la Cuenca, y han sido escritos por varios autores (Orti Cabo, 1979 y 1982; Orti Cabo y Pueyo Mur, 1980 y Ordoñez et al., 1982).

Las paragénesis mineralógica es bastante compleja (García Del Cura, 1979), predominando el yeso y anhidrita, con abundantes intercalaciones arcillosas ricas en materia orgánica. En zonas centrales existen niveles de sales solubles, halita, thenardita y glaubertita de varios metros de potencia. Algunos de estos niveles salinos son explotados en la actualidad (Villarubia de Santiago).

En cuanto a la interpretación de estos depósitos hay dos teorías, Orti Cabo (1979) establece un modelo de deposición en lago somero evaporítico (playa-lake) y Ordoñez et al.; (1982) establece un modelo alternativo de depósito de evaporitas en lago permanente. Según este trabajo este modelo (lago permanente) con algunas modificaciones, está de acuerdo con las características de estos depósitos ya que las evaporitas coexisten con arcillas ricas en materia orgánica, la cual en las condiciones físico-químicas existentes en un lago efímero, con desecaciones periódicas y con un medio oxidante, no se habría preservado.

Unidad Intermedia

En líneas generales, esta unidad presenta unas características de funcionamiento similares a las de la anterior. El limite inferior queda definido por una discordancia o ruptura sedimentaria que se pone de manifiesto según los hechos siguientes:

- Penetración profunda, progresiva y generalizada de materiales detríticos (formación detrítica) hacia el centro de la cuenca, en ocasiones con clara discordancia erosiva (Alberdi et al., 1983).

- Desarrollo de superficies de paleokarstificación, con características exokársticas, que afectan localmente a los yesos de la unidad inferior (Calvo Sorando et al., 1983).

- Cambio litológico y geoquímico de los depósitos que se caracteriza por un amplio desarrollo de sedimentos carbonáticos casi inexistente en la unidad inferior.

- Cambio brusco en el régimen de sedimentación de sulfatos, reduciéndose de forma importante los depósitos químicos de sulfatos, restringiéndose a una pequeña zona central con características peculiares y produciéndose la sedimentación de yesos detríticos (Ordoñez et al., 1983;). Otro cambio químico es la desaparición de las sales solubles.

- Cambio en el régimen de sedimentación de las facies intermedias, producido por la progradación de la formación detrítica invadiendo zonas de encharcamiento, hecho que produce la formación de depósitos mediante un complejo deltaico coalescente y alternando con depósitos de llanura fangosa.

El límite superior de esta unidad viene definido por una discordancia erosiva a la base del conjunto terrígeno conocido bajo el nombre Red Fluvial Intramiocena (Capote y Carro, 1968; Asensio y González Martín, 1977) que aparece asociado a la formación de Calizas de los Páramos. En zonas no marginales de la Cuenca de Madrid es sin embargo, observable un conjunto litológicamente homogéneo de

carbonatos y margas, separado de sucesiones de yesos detríticos por una superficie de omisión y/o karstificación, que ha sido propuesto como una unidad tectosedimentaria diferenciada (unidad fluviolacustre inferior) por Megías et al. (1983).

En la Unidad Intermedia, igual que en la Unidad Inferior, se diferencias tres tipos de litofacies y en líneas generales presentan las mismas características, manteniéndose, también las peculiaridades que se producían en función del área fuente. Las tres litofacies diferenciadas (facies detríticas, facies intermedias y químicas) en la cartografía se representan como “Formación Madrid o Detrítica”, “Formación Peñuela” y “Formación Blanca o Villarejo” según la zona.

Facies Detríticas: En general presenta las mismas características que en la Unidad Inferior, aunque existen algunas diferencias como son una menor proporción de matriz lutítica, un aumento de procesos edáficos que hacia el techo de esta unidad adquieren un gran desarrollo.

Las facies detríticas se han denominado "Formación Madrid", que se compone de arenas arcósicas de grano grueso, gravas y arcillas. Corresponde al último episodio sedimentario arcósico observado dentro del Mioceno (Aragoniense Superior en los sedimentos de techo). La "Formación Madrid", más arenosa, se superpone a la "Formación Tosco", más arcillosa.

Según Rebollo (1977), en la Formación Madrid se pueden distinguir dos dominios: A y B.

El "dominio B" consta de elementos detríticos muy gruesos; son bloques de tamaño a veces superior a un metro cúbico de granito, aplita, sienita y cuarzo casi exclusivamente, empastados en una matriz arenosa, limosa o arcillosa de color amarillento-grisáceo. Los bloques, especialmente los de granito, suelen estar muy alterados por descomposición química "in situ" y bastante redondeados. Conforme nos alejamos del contacto con el macizo cristalino de la sierra, el tamaño y la frecuencia de estos bloques va disminuyendo hasta pasar gradualmente al dominio A de la misma formación.

Los materiales que integran esta "dominio A" son arcosas feldespáticas de tonos amarillentos provenientes de la descomposición y acarreo de los granitos y gneis de la sierra. Hay en estos sedimentos una amplia variabilidad de los tamaños de los clastos, oscilando entre cantos de varios centímetros o decenas de centímetros hasta partículas arcillosas. Mineralógicamente, estos sedimentos están compuestos por feldespatos principalmente, seguido por el cuarzo y en menor proporción, biotita y algo de moscovita. En cuanto a minerales pesados, la formación se caracteriza por la asociación turmalina, circón y andalucita (Benayas et al, 1958).

Contrastan con las arcosas infrayacentes, además de por un aumento notable en el tamaño de grano, por la baja proporción de fracción fina en la mayor parte de los niveles. Las arcillas que constituyen la fracción fina presentan proporciones similares de esmectita e illita y un contenido bajo de caolinita.

Su extensión de afloramientos y disposición espacial coinciden a grandes rasgos con la "Formación Tosco", sobre la que aparece dispuesta. El techo de este conjunto viene definido por la denominada "Superficie de Madrid".

Facies de transición: se suele denominar "Formación Peñuela". En esta formación podemos encontrar las siguientes litofacies: arcillas verdes y rosadas, arenas micáceas y margas, arcillas con intercalaciones de bancos de carbonatos y niveles de carbonatos y silex. Es una formación compleja, tanto por su variedad de litofacies como por la discontinuidad lateral y frecuentes cambios entre ellas.

Las arenas micáceas se han diferenciado en la cartografía en función de su dimensiones y peculiar comportamiento sedimentológico. En relación con la unidad inferior, las facies intermedias en esta unidad modifican de forma importante su estructura y características, debido a la constante progradación de los abanicos aluviales sobre zonas de centro de la cuenca, invadiendo el ámbito lacustre se genera un complejo deltaico de gran extensión lateral en el que se producen el depósito de las arenas micáceas.

El medio de depósito puede atribuirse a un sistema de fan deltas (complejo deltaico) con características muy peculiares. Los materiales que forman estos depósitos son las arenas micáceas que han dando nombre a esta formación. Son cuarzo arenitas homométricas, de grano fino-medio, con abundantes estructuras de ordenamiento interno (estratificación cruzada, rippel-marks, climbing-ripels, laminación paralela etc), en general muy micáceas con predominio de biotita y frecuentes minerales pesados, suele tener un color gris-verdoso y presentan aspecto reducido.

Su estructura corresponde a cuerpos lentejonares de dimensiones variables, aunque en general, presentan gran continuidad lateral en relación con su potencia, suelen tener base plana, en ocasiones erosiva, englobando frecuentes cantos blandos, en general multiepisódicos y alcanzan potencias superiores a los 10 metros.

Las arcillas verdes tienen gran complejidad, en cuanto a su mineralogía y variedad litológica. El medio de depósito es de llanura fangosa (mud flats). Los materiales más abundantes son las arcillas que, en general se presentan en bancos masivos de potencia métrica (0.5 a 2 m) y gran continuidad lateral con colores verdosos, frecuente bioturbación, con intercalaciones de niveles carbonatados de dimensiones variables que en muchos casos corresponden a costras calcáreas de origen edáfico, asociados a éstas se observa la presencia de niveles de silex y sepiolita, de potencia métrica y gran extensión.

La mayoría de las arcillas de esta formación pertenecen al grupo de las esmectitas, siendo en general arcillas de neoformación, hecho que dificulta, en gran medida, la observación de la estructura de las mismas. La edad atribuida a esta formación es Aragoniense Medio.

Facies químicas: Corresponde a las facies palustre-lacustre de la Unidad Intermedia. Es de naturaleza fundamentalmente carbonatada, con abundantes intercalaciones arcillosas de potencia variable, condicionadas por los diferentes submedios existentes en esta formación que tiene gran complejidad, estando representada en la zona central de la cuenca.

En las facies químicas se observan menores concentraciones salinas en los lagos que daban origen a estos depósitos, de hecho, pasamos de tener sulfatos a tener carbonatos. Aún se observan yesos en zonas basales, pero son yesorruditas, es decir, detríticos y no evaporíticos.

A continuación se depositan sedimentos carbonáticos con silex con carácter expansivo. A estos depósitos carbonáticos, algunos autores los denominan "Formación Blanca" (Junco y Calvo, 1982), y otros "Formación Villarejo" (López Vera, 1975), dependiendo del área de estudio.

Unidad Superior

Esta Unidad es fundamentalmente carbonatada, aunque su base sea predominantemente detrítica y está representada en gran parte de la Cuenca: zonas centro, este y noreste.

El limite inferior está marcado por una discordancia erosiva producida sobre la Unidad Intermedia, durante el depósito detrítico de la base del Páramo “Red fluvial intramiocena” (Capote y Carro, 1968). El límite superior los constituye una discordancia angular y erosiva, relacionada con el depósito de los materiales Pliocenos.

Los depósitos basales de esta Unidad se han representado como detríticos del Páramo. Estos depósitos detríticos son de naturaleza muy diversa en función de su disposición dentro del sistema fluvial y procedencia de los aportes: conglomerados cuarcíticos y areniscas arcósicas en facies canalizadas muy erosivas, fangos arenosos de llanura de inundación, arcillas y margas. Su potencia oscila entre 0 y 15 metros, aunque en algunas zonas puede ser considerablemente mayor.

El tramo superior de esta Unidad ha sido cartografiado como Calizas del Páramo. El medio de depósito es fundamentalmente lacustre. Está formado por carbonatos lacustres y palustres, ampliamente descritos en la bibliografía (Riba et al., 1969; Bustillo, 1980) presentando gran variedad de tipos litológicos desde micritas y biomicritas hasta calizas tobáceas. Se presentan en bancos masivos de potencia métrica, con estructura subhorizontal, colores blanco-cremosos o grisáceos.

Estas calizas suelen estar muy karstificadas lo que les confiere localmente un aspecto brechoide con tinciones rojizas debido a los rellenos kársticos. La potencia de estas calizas oscila entre 5 y 45 metros. Los valores de potencia más bajos se encuentran lógicamente en las zonas marginales.

La coincidencia en algunas áreas de la Cuenca de esta unidad carbonatada, con otras facies calcáreas correspondientes a unidades infra o suprayacentes (formación blanca y depósitos pliocenos), unido a procesos de basculamiento más karstificación y posterior desarrollo de superficies de erosión sobre materiales Pliocenos, ha motivado que en ocasiones, términos litoestratigráficos tan diferentes, hayan sido englobados bajo el término común de “Calizas del Páramo”.

4.2.4.2 Plioceno

Los materiales Pliocenos son de carácter fundamentalmente detrítico y en general corresponden con lo que se ha denominado “Rañas”.

El límite inferior esta definido por una importante discordancia erosiva sobre la unidad infrayacente. Este límite queda infradatado cronoestratigráficamente por el yacimiento del Karst de Algora, aunque en mucha zonas el Plioceno descansa directamente sobre la Unidad Intermedia. El límite superior Plioceno/Pleistoceno correspondería en líneas generales y de forma no sincrónica con el encajamiento de la red fluvial actual.

Estos depósitos son de carácter muy detrítico y multiepisódico y se encuentran bien representados en los sectores NE, Centro y SO de la cuenca, con facies de arcillas limosas rojizas o anaranjadas, con desarrollo de costras carbonáticas y niveles generalmente discontinuos de areniscas y conglomerados.

En la zona NO también se encuentran en mayor o menor proporción, pero existen grandes dificultades para diferenciarlos de los materiales pertenecientes a la Fd1, ya que tienen la misma litología, área fuente y las mismas características generales de sedimentación.

En las zonas centro y sureste de la Cuenca, estos depósitos se apoyan sobre materiales en general perteneciente a la unidad superior - Caliza del Páramo- y el las zonas próximas al borde, estos depósitos están formadas por depósitos de abanicos aluviales (mantos de arroyada, depósitos en masa, canales, etc..), cuyos materiales corresponden a abundantes cantos de cuarcita, y en menor proporción, cantos de rocas ígneo-metamórficas y carbonatadas, conteniendo gran cantidad de matriz lutítica.

A medida que se alejan del mismo, comienza a disminuir el tamaño de los cantos, con predominio de areniscas y microconglomerados de cuarcita, produciéndose abundantes costras carbonatadas, oncolitos y desarrollo de charcas con abundantes bioturbación, y en zonas más al centro de la Cuenca presencia de calizas ligeramente arenosas que, en general, se encuentran a techo de la serie Pliocena, donde llegan a alcanzar 40 metros de potencia.

En esta zona existen áreas donde se produce un desmantelamiento de las Calizas del Páramo, pasando estos materiales con escaso transporte de los mismos a formar parte de los depósitos Pliocenos, lo que les confiere una litología predominantemente carbonatada, con importante desarrollo de suelos calcimorfos. Este hecho, unido a que posteriormente a la sedimentación se produce una importante superficie de erosión que enrasa casi todos estos niveles con las Calizas del Páramo, motiva que estos sedimentos hayan sido cartografiados generalmente como las calizas de la Unidad Superior.

4.2.5 Cuaternario

En la cartografía se diferencian dos tipos de materiales cuaternarios:

Cuaternario indiferenciado: Se incluye aquí todos los materiales considerados cuaternarios que no corresponden directamente a la actual red fluvial como conos de deyección, terrazas antiguas, glacis, derrubios de ladera, etc. Estos materiales son fundamentalmente gravas polimícticas (con predominio de cuarcitas, arenas etc) es decir, son de carácter detrítico, aunque su naturaleza varía según el origen de los mismos.

Estos materiales llegan a tener un desarrollo considerable, alcanzando los 80 metros en algunas áreas como en Redueña donde se ha encontrado un importante yacimiento de fauna cuaternaria.

Cuaternario aluvial: Bajo esta denominación se han cartografiado todos los materiales relacionados con la actual red fluvial. Son materiales de carácter detrítico, fundamentalmente arenas y gravas, de naturaleza polimíctica, aunque en general predomina la cuarcita, existiendo según su origen, zonas con litologías características. Estos materiales alcanzan importantes desarrollos formando graveras de gran potencia, gran número de ellas en explotación.

Existen diversos trabajos sobre las terrazas de los ríos de la Cuenca del Tajo, relacionándolos con las distintas glaciaciones, en algunos casos como en el río Manzanares, con abundante fauna. También existen depósitos de calizas travertínicas con abundantes restos de tallos de plantas en diversos sitios de la Cuenca (Dulce, Tajuña)

4.3 HISTORIA GEOLÓGICA

Varios trabajos se han realizado sobre evolución del Sistema Central y de la Cordillera Ibérica (Alia, 1976; Capote et al., 1982; Escorza,1976; Portero y Aznar, 1984) en general coincidentes en sus conclusiones finales sobre la génesis de la cuenca como una dinámica de Horst-Graben. Estos últimos, basándose en los trabajos anteriores, elaboran una hipótesis sobre la evolución morfotectónica de la misma que comienza con la regresión finicretácica, produciéndose un abombamiento cortical (bóveda Castellano-Extremeña, Alia, 1976).

Los límites actuales de la Cuenca aun no están definidos, siendo a partir del Headoniense cuando se producen las fallas inversas del plano subvertical con hundimiento de los flancos de la bóveda, mediante la reactivación de accidentes tardihercínicos NE-SO.

En esta zona han debido ejercer una gran influencia las fases alpinas más destacadas, sin embargo su número, edad, carácter, etc, están todavía imperfectamente delimitadas. Con los primeros impulsos alpinos se inicia una regresión marina hacia el Este-Sureste, comenzando a depositarse sedimentos de transición que evolucionan a depósitos de carácter continental, los cuales comenzaron a rellenar una cuenca muy subsidente producida por el levantamiento del Sistema Central y la formación del graben que constituye la Cuenca del Tajo. Progresivamente la tectónica alpina va modificando la morfología del mismo hasta el estado actual.

Durante el Paleógeno se desarrolla una sedimentación de carácter continental, la Unidad Inferior es fundamentalmente evaporítica y se depositó en parte con materiales procedentes de la Cordillera Ibérica y posiblemente con menor importancia, del Sistema Central.

Posteriormente se deposita la Unidad Superior (Oligoceno) cuyo límite inferior viene marcado por una discordancia angular y erosiva (Fase castellana) y cuyos depósitos se producen posiblemente desde los bordes muy similares a los actuales, y estableciéndose unas características desposicionales relativamente parecidas durante todo el resto del Terciario mediante un modelo de distribución de facies centrípeto y endorreico.

Las unidades Neógenas representan ciclos sedimentarios continuos separados por discontinuidades de orden mayor, relacionadas con eventos tectónicos y/o climáticos (Figura 4.4). Durante la sedimentación de estas secuencias neógenas parece inferirse una dinámica del par hort-graben en la que se hayan enmarcadas, sobre todo en los bordes, numerosas cicatrices y discordancias erosivas de las que sólo se puede admitir un número limitado con carácter trascendente para amplias áreas de la cuenca.

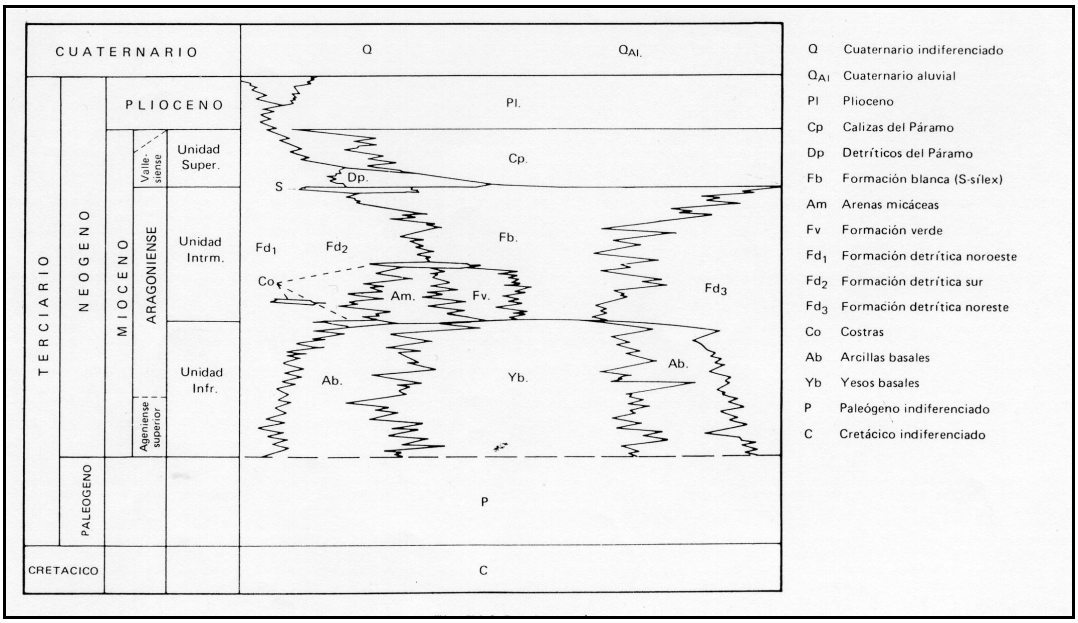


Figura 4.4: Discontinuidades de orden mayor en los sedimentos Neógenos

El Neógeno comienza con la sedimentación de los depósitos pertenecientes a la Unidad Inferior, discordante sobre materiales Oligocenos, discordancia Intraageniense (base de la MN2),que según Torres et al. (o.c.) se corresponde con la Fase Neocastellana definida en la Depresión Intermedia (Aguirre et al., 1976) y que en esta Cuenca se situó en otro intervalo de la serie Neógena con este mismo nombre.

La discordancia Intraaragoniense (MN3) es la siguiente que se produce ascendente en la serie Neógena, ésta marca el límite entre las Unidades Inferior e Intermedia.

La tercera discordancia que se produce, se sitúa entre el Aragoniense y el Vallesiense inferior y corresponde con la establecida por Carro y Capote (1968) la cual separa la Unidad Intermedia de la Unidad Superior (Base de la MN9).

La última de las discordancias producida durante el Neógeno se sitúa entre el Mioceno superior y el Plioceno, corresponde a la última fase que es de carácter compresivo, Postvalliense, y que ha sido citada como fase Iberomanchega.

Cada una de las unidades corresponde a una megasecuencia de carácter positivo, con un modelo de distribución de facies centrípeto y endorreico (facies de borde, transición y centrales) generalizable, a grandes rasgos y con ciertas diferencias entre ellas, para las Unidades Inferior e Intermedia.

Entre estas diferencias hay que señalar las variaciones observables dentro de cada unidad en cuanto a subsidencia relativa en distintas zonas, variaciones debidas al comportamiento diferencial de los bordes de la cuenca. Así, durante casi todo el Aragoniense superior, el borde N y EN dejan de actuar como área positiva, provocando una expansión de sedimentos palustres (Formación Blanca) hacia los bordes de este ámbito, siendo ya en la unidad superior cuando los sedimentos lacustres (Calizas de los Páramos) se depositan directamente sobre ellos.

Asimismo, la tectónica profunda del basamento (Alia, 1960; Martín Escorza, 1976) ha condicionado de forma directa la distribución de espesores de sedimentos y facies en los sucesivos episodios de evolución de la Cuenca.

La unidad superior representa una modificación sustancial respecto al modelo antes aludido, con direcciones de aporte aproximadamente N-S (Capote y Carro, 1968) y desarrollo de un amplio episodio lacustre-palustre de agua dulce expansivo sobre los bordes N y E. Durante el Plioceno el régimen sedimentario se ajustaría a estos parámetros, al menos en cuanto a tipo de depósitos, con una tendencia a la colmatación definitiva del relleno Terciario.

Tanto durante el depósito de la Unidad Superior, como del Plioceno y posteriormente a éste, tienen lugar en la Cuenca procesos tectónicos de relativa importancia que conducen a la generación de fracturas y pliegues de amplio radio (Capote y Fernández Casals, 1978) más notables en el área centro-oriental. Durante el Plioceno se desarrolla una amplia superficie de erosión y un posterior basculamiento generalizado hacia el sur, cuya magnitud puede cifrarse en unos 500 metros de desnivel entre la parte N y S de la Cuenca.

Las características generales en la evolución sedimentaria del Neógeno son que las facies detríticas son, en general, progradantes al inicio y durante gran parte del desarrollo de cada megasecuencia; que las facies químicas son expansivas hacia el techo de cada megasecuencia y por último que el quimismo varía en la vertical de claro predominio de sulfatos (con sales solubles) en la primera megasecuencia a exclusivamente carbonatos lacustres en la tercera.

Estas fases tectónicas han tenido distintas incidencias sobre materiales terciarios, en general los pliegues existentes presentan una dirección paralela al borde norte y los efectos producidos en los materiales por los esfuerzos comprensivos han afectado fundamentalmente a las zonas del borde de la Cuenca, donde se aprecian suaves buzamientos en las zonas centrales junto con la presencia de discontinuidades verticales.

En resumen, el modelo actual propone que la dinámica de ciertas estructuras lineales definidas en el basamento traspasan la cobertera paleógena dejando sentir su efecto e influencia durante la sedimentación miocena, actuando de motivadores (además de otros factores, como son el clima, alteraciones del zócalo, etc) principales que regularon la distribución general de las principales facies y por tanto en la de sus cambios laterales. La cartografía y distribución de facies testimonian la fuerte dependencia entre los procesos sedimentarios y las estructuras del basamento de esta cuenca**.**

4.4 HIDROGEOLOGÍA

El objetivo perseguido al abordar este tema es el de conocer la localización de las distintas unidades hidrogeológicas, sus características así como la calidad química del agua subterránea almacenada y circulante en estos sedimentos.

Los materiales de edad terciaria que rellenan la depresión tectónica del Tajo en que se sitúa la zona de estudio, constituyen un acuífero de unos 6.000 Km^2 de extensión superficial y cuya potencia, se puede estimar entre los 200 m en las proximidades de Talavera de la Reina, y unos 3.000 m en el área de El Pardo.

El mecanismo de depósito de la cobertera sedimentaria durante el terciario, en clima semiárido y ambiente continental, que parece adaptarse al modelo conceptual de abanicos aluviales, ha dado al acuífero unas características peculiares en cuanto a su litología se refiere, pudiéndose distinguir a grandes rasgos: una facies detrítica, más próxima a los macizos montañosos y otra evaporítica de centro de cuenca; entre ambas se sitúa una facies de transición de naturaleza mixta.

4.4.1 Unidades Hidrogeológicas

La diferenciación de unidades hidrogeológicas dentro del término municipal de Madrid se ajusta a las ideas que se acaban de exponer, en la figura 4.5 puede verse una distribución de las principales unidades hidrogeológicas.

Unidad Detrítica (D):

Litológicamente forman la unidad arcosas que pertenecen a distintas unidades litoestratigráficas. Corresponden a distintas facies de desarrollo de abanicos aluviales. Su característica fundamental es la presencia de variaciones granulométricas y por tanto hidrogeológicas de una área a otra y en la vertical debido al proceso de deposición de los materiales.

Tiene una extensión de 405 km^2 en la región de Madrid y su potencia varia en función de la profundidad de la fosa tectónica que rellena. Dado su espesor y la cantidad y calidad del agua que contiene, lo hacen ser el mejor acuífero de Madrid.

Se le denomina Unidad D en el área metropolitana de Madrid, sin embargo debido al enriquecimiento en material arcilloso conforme avanzan los depósitos hacia el centro de la cuenca, estos materiales arcósicos se subdividen D_1 y D_2 dependiendo del contenido en arcillas siendo la primera definición para los sedimentos con características menos permeables, mientras que por D_2 se deben entender aquellas arcosas de mayor permeabilidad. Estas subdivisiones coinciden con las Formaciones Geológicas “Tosco” Y “Madrid” respectivamente definidas por López Vera (1975).

La subunidad D_2 agrupa distintas unidades litoestratigráficas: arcosas masivas con niveles de limos y cantos, arcosas de grano fino y arcillas pardas, arcosas gruesas con niveles de cantos y presencia de paleosuelos. La potencia total de esta subunidad oscila desde 100-150 m en el pardo hasta los 10-15 m en el acuñamiento que sufre hacia el sur sobre la subunidad D_1.Su extensión superficial alcanza los 339 Km^2 siendo los materiales con más presencia superficial en el término.

La subunidad D_1 está constituida por arcosas que alternan con arcillas y limos. Supone el transito lateral de la unidad hacia la siguiente unidad hidrogeológica siendo parcialmente extensiva sobre ésta, consiste en una alternancia monótona de arcosas y arcillas pardas o limos y representa facies proximales y medias de abanicos aluviales, su granulometría disminuye, lógicamente, hacia el sur.

Su espesor en afloramiento no suele superar los 30 m en el casco urbano aumentando considerablemente su potencia hacia el norte. La extensión de afloramientos es de unos 63 Km^2 aunque la superficie total se puede aproximar a los 400 Km^2 al situarse por debajo de las unidades arcósicas más recientes.

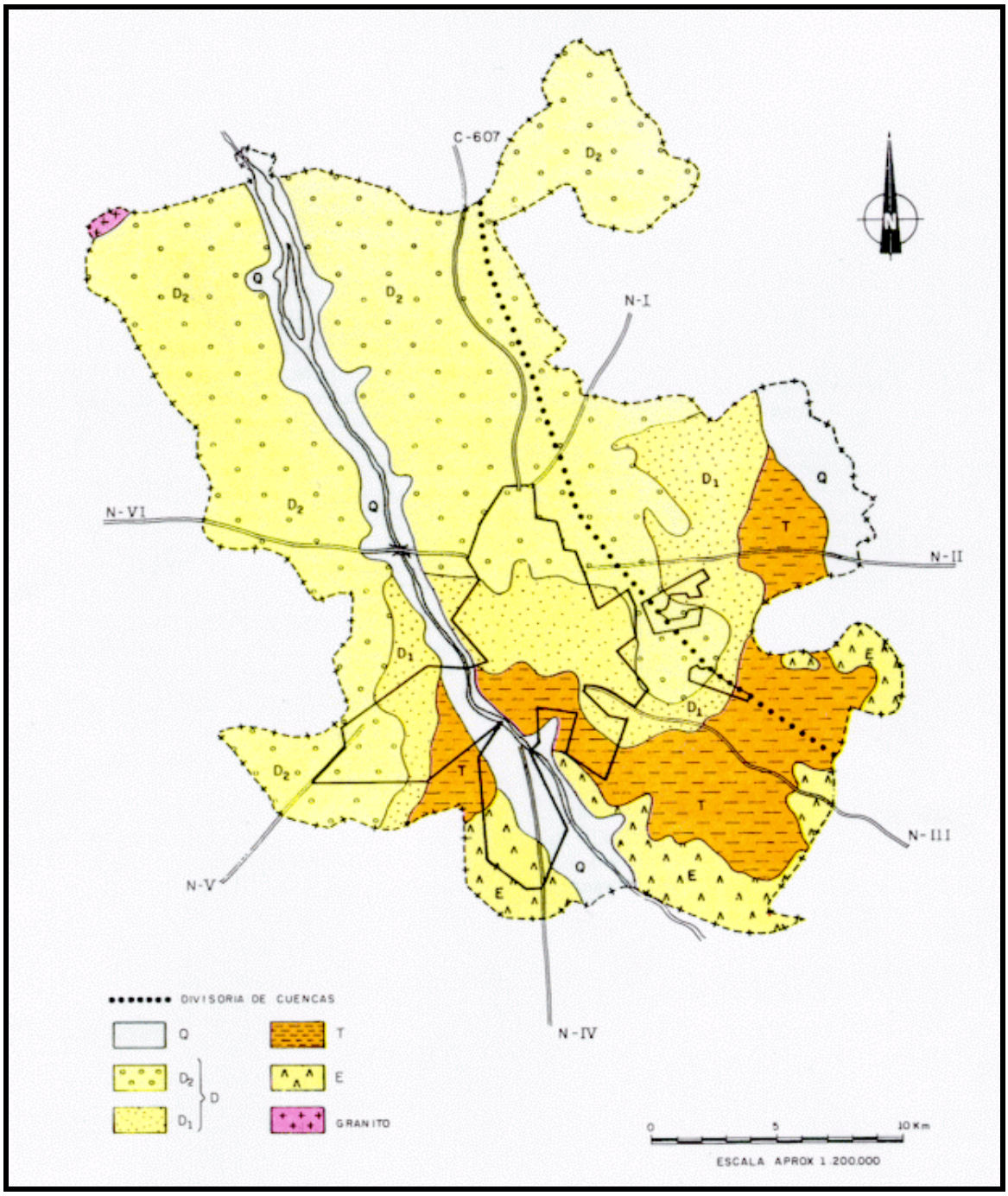


Figura 4.5: Unidades Hidrogeológicas

Aunque la unidad D_1 es mucho más arcillosa que la D_2 no constituyen acuíferos diferentes, sino un conjunto acuífero libre, heterogéneo y anisótropo, en el que los niveles más permeables están separados por niveles arcillosos de permeabilidad inferior por lo que se puede considerar multicapa (López-Vera 1985), debido a su estratificación. Estos niveles arcillosos alcanzan en la unidad D_1 mayores potencias hasta hacerse mayoritarios y presentan mayor continuidad lateral.

Unidad de Transición (T):

Está formada fundamentalmente por materiales arcillosos y carbonatados; agrupa dos unidades litoestratigráficas en equivalencia lateral: carbonatos tableados y arcillas con silex, y arcillas verdes con carbonatos (Formación Peñuela).

La unidad en su conjunto aflora ampliamente en el sur y sureste del término. La superficie de afloramiento es de unos 85 Km^2 y su potencia es variable entre 20 y 50 m.

Corresponde a los acuíferos presentes en las denominadas facies de transición geológicas, con litología compleja y cambios laterales frecuentes. Por sus características litológicas no constituye un acuífero de interés aunque, presenta niveles permeables cuyas aguas son aprovechadas por pequeñas explotaciones familiares.

Unidad Evaporítica (E):

Las facies evaporíticas que constituyen esta unidad hidrogeológica están representadas en la parte más meridional del término por yesos masivos (Formación Vallecas), con un grado muy alto de recristalización. Suprayacente se dispone otra unidad litoestratigráfica que consiste en una alternancia de arcillas y bancos de yesos tableados (Formación Villarejo). En transito lateral hacia el norte, aumenta el material arcilloso y va disminuyendo el contenido en yesos hasta las proximidades del casco urbano.

Su afloramiento presente una superficie de 47 Km^2 y está cubierta por materiales cuaternarios otros 20 Km^2, por lo que la extensión superficial de esta unidad dentro del término municipal es de unos 70 Km^2. Los espesores en afloramiento son variables para cada facies, pero pueden alcanzar los 50 m. La potencia media calculada para estos depósitos es de unos 1000 m.

Los primeros metros de los materiales evaporíticos presentan grados de alteración altos y fenómenos de carstificación por lo que es transmisiva. Existen pozos de escasa profundidad con buenos rendimientos. En profundidad pierde permeabilidad al desaparecer los fenómenos de disolución y debido al grado de recristalización. Se carece de datos de sondeos profundos perforados pero en la bibliografía clásica de la zona se citan algunos sondeos efectuados con resultados negativos.

Acuíferos Cuaternarios.

Los depósitos cuaternarios se han considerado como una unidad hidrogeológica independiente, en los casos que tengan varios metros de potencia, conexión directa con la red fluvial y que presenten relación con las unidades terciarias. En definitiva los depósitos cuaternarios con mayor importancia hidrogeológica van a ser los correspondientes al aluvial de fondo de valle y las terrazas.

Los primeros están formados por arenas, gravas, arcillas y limos con una potencia que no sobrepasa los 5 a 8 metros. Las terrazas ligadas al río Jarama, se limitan a una extensión de 15 Km^2 con una potencia de unos 5 metros. Las originadas por el río manzanares tienen escaso desarrollo con una potencia entre 1 y 5 metros.

Los depósitos cuaternarios cubren una superficie total de 72 Km^2 lo que supone un 12 % del área municipal de Madrid, presentan las mayores permeabilidades, pero su reducido espesor y la poca extensión hacen que no tengan recursos significativos, si bien presentan caudales muy altos, entre 10l/s y 18 l/s.

4.4.2 Calidad del agua subterránea.

El tiempo de permanencia del agua en el terreno contribuye al aumento de su salinidad. Esta concentración en sales va depender de los iones solubles existentes en las rocas y de las distintas solubilidades de los mismos, produciéndose así una evolución química de las aguas en su circulación por el terreno, que se rige tanto por procesos de disolución como por intercambios iónicos, fenómenos de oxidación-reducción, etc.

La tendencia general, en el área de Madrid, es la existencia de aguas subterráneas débilmente mineralizadas en el Norte y Noroeste (Unidades detríticas). Hacia el Sur y Sudeste la salinidad va aumentando al pasar a las unidades de transición y química-evaporítica.

En cuanto a los distintos iones presentes en las aguas subterráneas, puede decirse de forma general que hacia el Noroeste predomina el anión bicarbonato, seguido con menor importancia por los sulfatos y cloruros, estos con contenidos bastante similares.

En cuanto a cationes predomina el calcio seguido del sodio y el magnesio. Hacia el Sudeste, cuando entramos en las unidades evaporíticas, aparece claramente dominante el sulfato entre los aniones, y en orden decreciente bicarbonatos y cloruros; entre los cationes predominan el calcio y el magnesio. El sodio, si bien se incrementa en valor absoluto, al presentar los otros cationes un aumento proporcional, suele ser casi siempre minoritario.

De los datos y análisis efectuados en pozos en el término municipal de Madrid (Rebollo, 1977; González Pérez,) se concluye que se pueden establecer dos familias de aguas, una en materiales de facies detrítica, y la otra, en materiales de facies de transición. Además cabe separar un tercer grupo o familia de aguas subterráneas mezcla de las dos anteriores, con características intermedias entre ambas.

La salinidad de estas aguas es menor en las de las facies detríticas que en las de las facies de transición. Esta circunstancia concuerda con el esquema litológico de la zona, por el cual en los sectores meridionales y orientales era de esperar aguas más salinizadas que en el resto.

Por lo tanto, en la unidad detrítica, las aguas pueden clasificarse como bicarbonatadas cálcicas, que van evolucionando a bicarbonatadas-sulfatadas cálcicas a medida que nos aproximamos a la unidad de transición. En ésta, el tipo predominante es el de sulfatadas- bicarbonatadas cálcico-magnésicas. En la unidad evaporítica las aguas son sulfatadas cálcico-magnésicas.

En síntesis se pueden establecer las siguientes composiciones iónicas:

Unidades detríticas:	Aniones, $CO_3H^- > SO_4^{=} > Cl^-$
	Cationes, $Ca^{++} > Na^+ > Mg^{++}$
Unidades evaporíticas:	Aniones, $SO_4^{=} > CO_3H^- > Cl^-$
	Cationes, $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$
Unidades de transición:	Variable e intermedia entre las anteriores, con bastantes excepciones de la tendencia general señalada, imputables a variaciones litológicas puntuales.

La calidad química de las aguas subterráneas de la zona aparece representada en la figura 4.6. En ésta se han trazado las isolineas del total de sólidos disueltos en las aguas (TSD), expresadas en partes por millón. Este parámetro indica el grado de mineralización del agua, y por tanto, la calidad química de forma global.

Se han diferenciado cinco zonas en función del TSD, indicándose en cada una de ellas el contenido en sulfato (como anión más significativo), y la dureza expresada en grados franceses (ºF), como expresión del contenido en sales de calcio y magnesio conjuntamente. Estos valores pueden sufrir sensibles variaciones en función de diversas circunstancias, tales como la profundidad de las captaciones, existencia de anomalías de carácter local, etc (López-Vera, 2003).

A la vista de este mapa se aprecia un empeoramiento progresivo en la calidad de las aguas de Noroeste a Sureste, es decir, de las unidades detríticas a las evaporíticas.

En términos generales puede afirmarse que las aguas contenidas en las unidades detríticas son aptas para cualquier uso, con un total de sólidos disueltos inferior a medio gramo por litro, un contenido en sulfatos entre 5 ppm y 300 ppm y una dureza menor de 80 grados franceses. Es decir, se trata de aguas de excelente calidad química.

Hacia el Sudeste se presenta un área correspondiente en su mayoría a materiales detríticos y en menor medida a la unidad de transición; dentro de esta área se encuentra la mayor parte del casco urbano de Madrid. Aquí, las aguas subterráneas no llegan a alcanzar el gramo por litro de sólidos disueltos, los sulfatos se encuentran comprendidos entre 50 ppm y 500 ppm y la dureza no alcanza los 50 grados franceses. Se trata, por tanto, de aguas perfectamente adecuadas desde el punto de vista químico para la mayoría de los usos.

La unidad de transición presenta valores más altos de TSD, de sulfatos y de dureza, y mayores aún son los de la unidad evaporítica. Las aguas son de peor calidad en estas unidades. La calidad de las aguas de los acuíferos cuaternarios está sujeta a la de los acuíferos infrayacentes, ya que la recarga de esta unidad se realiza siempre, a partir del agua de los materiales sobre los que se apoyan.

La distribución de cloruros (figura 4.7) sigue una tendencia similar al TSD, es decir, aumentando desde las unidades detríticas hasta la evaporítica. Este aumento no es sólo debido a las características litológicas de las unidades, si no también al aumento en la concentración del ión cloruro en aguas con un mayor recorrido a través del acuífero.

Los sondeos objeto de este estudio están situados en la unidad Detrítica, teniendo esto en cuenta, las características químicas de estas aguas deberían ser las siguientes: TSD menor de 500 ppm, contenido en sulfatos entre 5 ppm y 300 ppm, son aguas bicarbonatadas cálcicas, la conductividad es menor de 500 : mhos/cm, es decir, son aguas de excelente calidad , aptas para todos los usos.

En las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 se aportan los resultados de los análisis efectuados para la medida de parámetros de envejecimiento en tres de los sondeos en estudio a distintas profundidades, a pesar de que no se ha llevado a cabo una comparación de la composición química actual de las aguas subterráneas con los datos de calidad aportados por Rebollo (1977), se puede apreciar la similitud con las características definidas para las aguas de la unidad Detrítica.

Aparecen los límites de admisibilidad y tolerabilidad, expresados en mg/l, de parámetros físico-químicos de aguas para consumo humano exigidos por la Ley publicada en el B.O.E. 29/6/1982, ningún carácter físico-químico medido en los pozos supera los límites de tolerabilidad exigidos por la citada ley.

Tabla 4.1: PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SONDEO DE SANTA ELENA

CARACTERES	Admisibles	Tolerables	0m. del N.F.	-5m. N.F	-15m. N.F	-30m. N.F
pH	7.0-8.0	6.5-9.5	706	7.06	7.09	7.08
Conductividad	-	-	102	111	120	111
Cloruros (Cl^-)	25	350	9.9	12.8	9.9	14.2
Sulfatos ($SO_4^=$)	25	400	4.8	2.3	5.1	8.9
Bicarbonatos.	-	-	80.5	83.0	76.9	83.0
Calcio (Ca^{++})	100	200	18.4	18.4	12.8	14.4
Magnesio (Mg^{++})	30	50	83	9	9.7	12.9
Sodio (Na^+)	-	175	10.0	10.0	10.0	10.0
Nitratos (NO_3^-)	25	50	33.1	29.7	28.0	247
Nitritos (NO_2^-)	ausencia	0.1	0	0.00	0.07	0.00
Amoniaco (NH_4^+)	0.05	0.5	4	0.06	0.00	0.12

Tabla 4.2: PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SONDEO LA MERCED.

CARACTERES	Admisibles	Tolerables	-150 m.	-200 m.	-250 m.	-280 m.
pH	7.0-8.0	6.5-9.5	7.35	7.33	7.34	7.44
Conductividad	-	-	202	203	202	204
Cloruros (Cl^-)	25	350	17.0	15.6	17.0	18.4
Sulfatos ($SO_4^=$)	25	400	4.0	5.4	4.3	9.8
Bicarbonatos.	-	-	129.4	131.8	131.8	129.4
Calcio (Ca^{++})	100	200	25.3	25.3	25.7	25.7
Magnesio (Mg^{++})	30	50	13.9	14.1	13.6	14.1
Sodio (Na^+)	-	175	18.0	18.0	18.0	18.7
Nitratos (NO_3^-)	25	50	33.1	29.7	29.7	23.1
Nitritos (NO_2^-)	ausencia	0.1	0.04	0.04	0.05	0.05
Amoniaco (NH_4^+)	0.05	0.5	0.06	0.04	0.01	0.05

Tabla4.3: PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SONDEO DE SANTA MARÍA.						
CARACTERES	**Admisibles**	**Tolerables**	**0 m.**	**-180 m.**	**-225 m.**	**-250 m.**
pH	7.0-8.0	6.5-9.5	7.0	7.40	7.51	7.55
Conductividad	-	-	256	253	254	256
Cloruros (Cl^-)	25	350	24.8	24.1	269	262
Sulfatos ($SO_4^=$)	25	400	0.0	0.0	0.0	0
Bicarbonatos.	-	-	156.2	166.0	168.4	1733
Calcio (Ca^{++})	100	200	27.3	24.0	22.8	168
Magnesio (Mg^{++})	30	50	7.3	6.6	7.1	134
Sodio (Na^+)	-	175	28.1	36.7	37.4	374
Nitratos (NO_3^-)	25	50	4.5	3.5	3.4	37
Nitritos (NO_2^-)	ausencia	0.1	0.00	0.00	0.00	0
Amoníaco (NH_4^+)	0.05	0.5	0.12	0.10	0.10	16

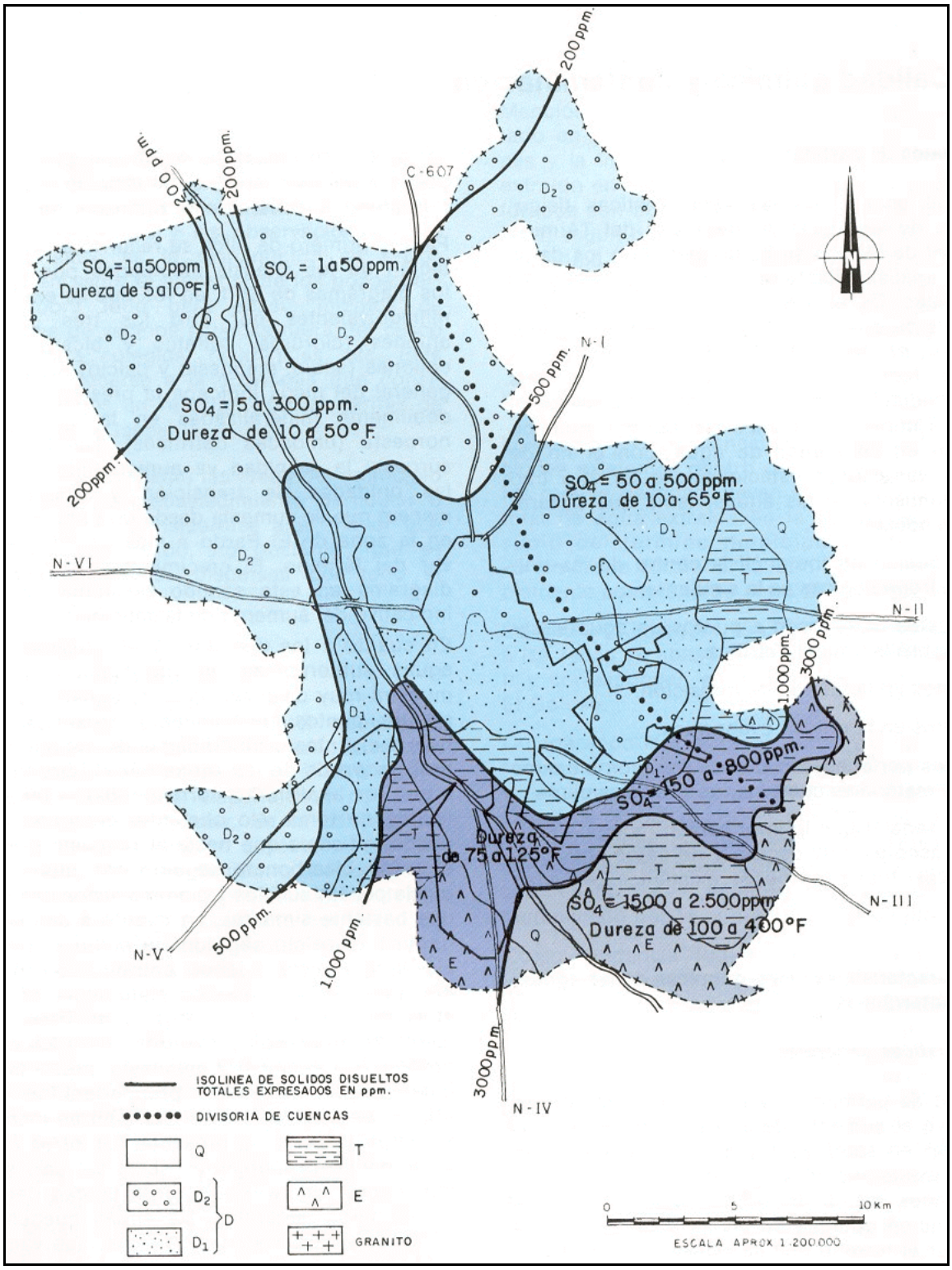


Figura 4.6: Distribución de la calidad química de las aguas subterráneas

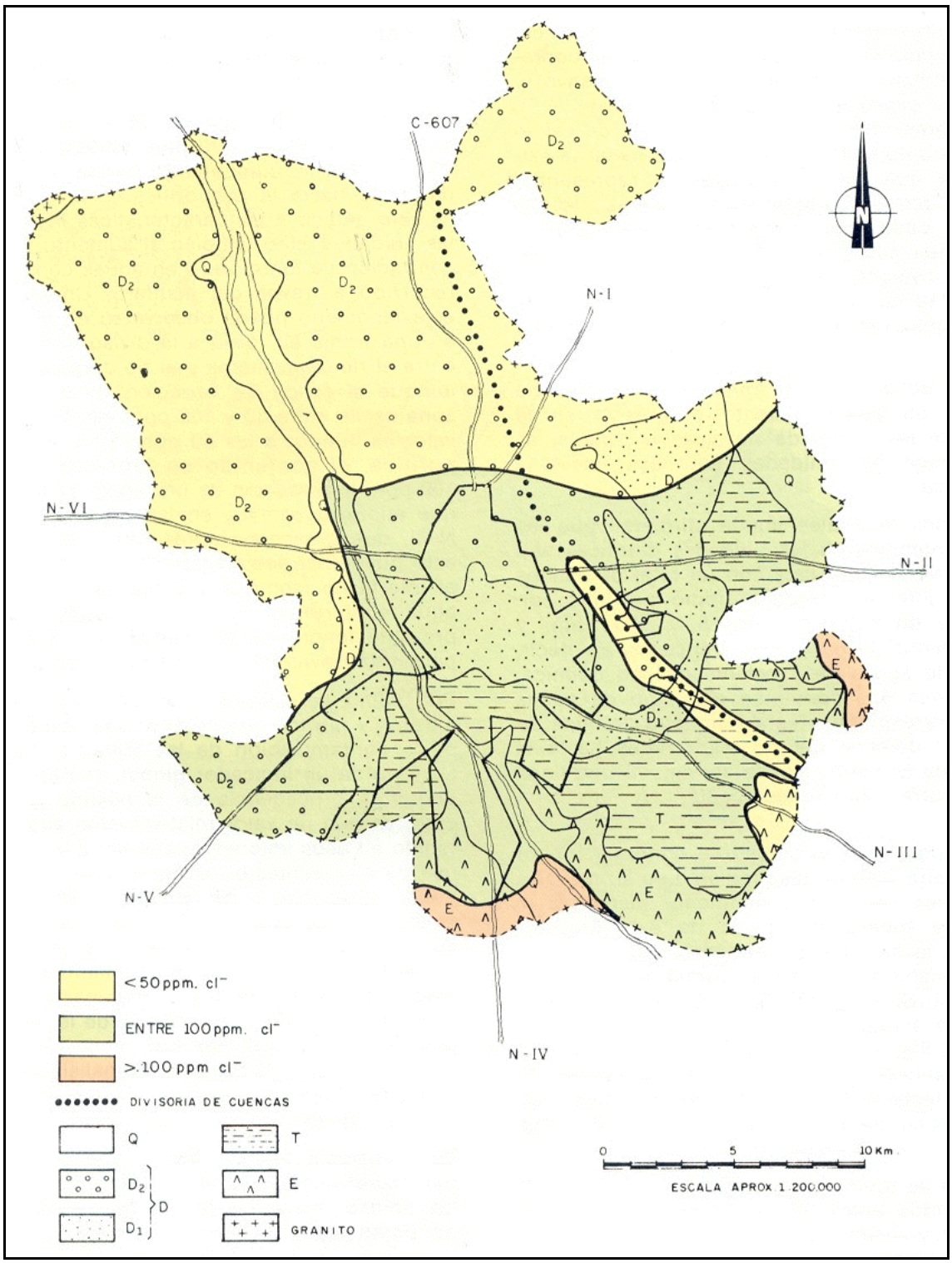


Figura 4.7: Distribución del contenido de ion cloruro expresado en ppm

CAPÍTULO 5:

APLICACIÓN AL ARCO NOROESTE DE LA CUENCA DE MADRID

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras aplicar los procesos automáticos de interpretación y correlación de diagrafías descritos en los capítulos anteriores en una serie de sondeos situados en la zona norte y oeste de la Comunidad de Madrid. A partir del análisis de estos resultados se podrá realizar una estudio geológico e hidrogeológico de dicha cuenca.

Los sondeos fueron realizados por la empresa Canal de Isabel II para captación de agua subterránea. La Cátedra de Geofísica Aplicada y Prospección Geoquímica del Departamento de Ingeniería Geología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid fue la encargada de realizar la testificación geofísica de muchos de estos pozos con el fin de determinar los niveles permeables susceptibles de aportar agua, para la posterior colocación de tubería filtrante.

5.1 OBTENCIÓN DE DATOS

5.1.1 Instrumentación

El equipo de testificación empleado para la realización de los registros han sido un MOUNT-SOPRIS 3000 NB (analógico), cuyas características son:

- Registrador analógico con capacidad de registro simultáneo de cuatro parámetros independientes a escalas 1:100 y 1:200.

- Control digital de velocidad y profundidad, con una velocidad máxima de registro de 10 m/min y una profundidad máxima de 1000 metros.

- Las sondas empleadas en la mayoría de los sondeos, han sido:

  Sonda eléctrica: resistividad lateral 1,8 AO (RLAT), resistividad normal corta 0,4 AM (RNC), resistividad normal larga 1,6 AM (RNL) y potencial espontáneo (PE).

  Sonda combinada: resistividad normal corta 0,4 AM (RNC), resistencia monoelectródica (RME), potencial espontáneo (PE) y gamma natural (GN). Los detectores de emisión de radiación Gamma natural llevan un cristal escintilómetro de 6" de longitud de Yoduro de Sodio. Los períodos de integración son de 0.5 y 2 segundos.

  Sonda térmica registra la variación de temperatura a lo largo del sondeo. La sonda de temperatura tiene un sensor PT10-J con precisión de 0.2 ^{0}C

Esta unidad en su conjunto ha sido calibrada en un sondeo Modelo USAEC en Gran Junction, Colorado (USA).

En cada uno de los sondeos estudiados se midió la conductividad del lodo de perforación sobre una muestra reciente recogida de la balsa de lodos. La medida se realizó con un conductivímetro de laboratorio de la Marca Yellow Spring Instrument, modelo 32-FL cuya sonda, con electrodos de titanio platinizados, y una constante de dispositivo igual a 1 (rango de 0.001 a 200.000 **:** mho).

5.1.2 Metodología de los registros

La operación en campo comienza con el emplazamiento del equipo, que se sitúa de tal manera que todas las poleas responsables del movimiento del cable de conexión queden alineadas, para facilitar un desplazamiento suave de la sonda.

Algunos factores tales como el aislamiento eléctrico de la polea de descenso del cable, la colocación del electrodo de superficie o la toma de tierra del equipo y cabrestante, tienen una fuerte repercusión en el nivel de ruidos de los registros eléctricos.

El generador que suministra energía tanto al equipo como al electrodo de emisión de las sondas eléctricas se sitúa no muy cerca del equipo ya que el ruido que produce puede afectar a la medida del registro. Una vez conectado al equipo se pone en marcha.

En el terreno se introduce una toma de tierra para formar un circuito eléctrico completo entre los electrodos, el equipo y el terreno, además permite eliminar ruidos y variaciones exteriores dando una mayor calidad al registro.

Cuando se quieren registrar los valores de resistividad en los primeros 16 metros del sondeo, es necesario añadir otro electrodo en superficie, conectado al cabrestante, que debe tener continuidad eléctrica con la armadura del cable. Este electrodo de superficie se suele colocar en la balsa de lodos consiguiendo con esto que el electrodo esté completamente en contacto con un medio lo más conductor posible.

Tras hacer pasar el cable por el sistema de poleas se procede a unir la cabeza de conexión con la sonda a emplear, siendo práctica usual proteger esta unión, ya de por si estanca, con goma autosoldable para evitar la entrada de fluidos que podría afectar al registro.

Una vez conectada la sonda al equipo se determina un nivel de referencia, o profundidad cero, que en todos los sondeos fue el nivel del terreno. Al término de la ascensión de la sonda se comprobará si el nivel de referencia de la sonda corresponde con la profundidad cero tomada, si la diferencia es mayor de 10 cm. se deberá corregir en los registros.

Posteriormente se desplaza la sonda a lo largo del sondeo, de manera que se obtiene una medida continua de los parámetros geofísicos de las formaciones en profundidad. La velocidad de registro está sincronizada con la velocidad de descenso de la sonda. Las velocidades medias de registro fueron de 3.5 m/min para las sondas radiactivas y de 6 m/min para el resto, con el fin de aumentar la calidad de la diagrafía y disminuir en la medida de lo posible las oscilaciones de las sondas.

Este registro puede realizarse, tanto subiendo como bajando, según los parámetros a medir. La sonda envía señales al equipo de superficie, que antes de registrarlas las filtra convenientemente. El registrador tiene la posibilidad de modificar tanto la escala como el desplazamiento del parámetro registrado. La elección de la escala es un factor importante en la calidad de los registros por ello se suele iniciar la toma de datos a una escala en función de los valores esperados para obtener así una calidad óptima en los registros.

Ocasionalmente, es posible extraer una serie de conclusiones a pie de pozo, aunque la interpretación definitiva se realiza en gabinete. Es necesario conocer, para una correcta realización e interpretación, ciertos datos de la perforación como son profundidad y diámetro del pozo, tipo de lodo empleado,...etc.

Asimismo se toman muestras del lodo de perforación tanto para la medida de su conductividad como para la medida de la conductividad del filtrado de lodo, para las correcciones posteriores.

5.1.3. Columnas litológicas

En campo se levantan las columnas litológicas, que sirven de apoyo a la interpretación de los registros, a partir de muestras extraídas de cada metro de sondeo por el equipo de perforación (circulación inversa de lodo). El sistema de perforación por circulación inversa permite un buen control geológico del sondeo obteniendo muestras bastante representativas del tramo perforado.

El análisis litológico se realizó a "visu" determinando en una primera observación el tamaño de los granos predominantes y posteriormente estimando su contenido en arcillas, distinguiendo entre:

- Arenas gruesas o gravas.
- Arenas de grano medio.
- Arenas finas o limos.
- Arenas arcillosas.
- Arcillas arenosas.
- Arcillas.

La clasificación de los tamaños de grano en arenas gruesas, medias y finas no corresponde estrictamente con los limites de diámetro de grano establecidos al usar esta denominación.

Para la estimación del contenido en arcillas se ha de tener en cuenta que el lavado de la muestra a la salida del equipo de perforación no es siempre riguroso, no obstante las propiedades de plasticidad de la arcilla y en muchos casos su color, distinto al del lodo, hacen que sea claramente detectable y se pueda evaluar el contenido de ésta en la muestra.

Estas columnas se han empleado para la comparación de los resultados obtenidos tras la interpretación litológica de los sondeos.

5.2 SONDEOS SELECCIONADOS

Para la aplicación de los trabajos desarrollados en esta tesis doctoral se han seleccionado 13 sondeos situados en el arco noroeste de la Comunidad de Madrid, 6 sondeos en el sector Oeste y 7 en el Norte.

La superficie estudiada está repartida entre las hojas nº 558 de Majadahonda y la nº 559 de Madrid en el sector Oeste y en la Hoja nº 534 de Alcobendas para el sector Norte del Mapa geológico de España a escala 1:50.000 del I.G.M.E .

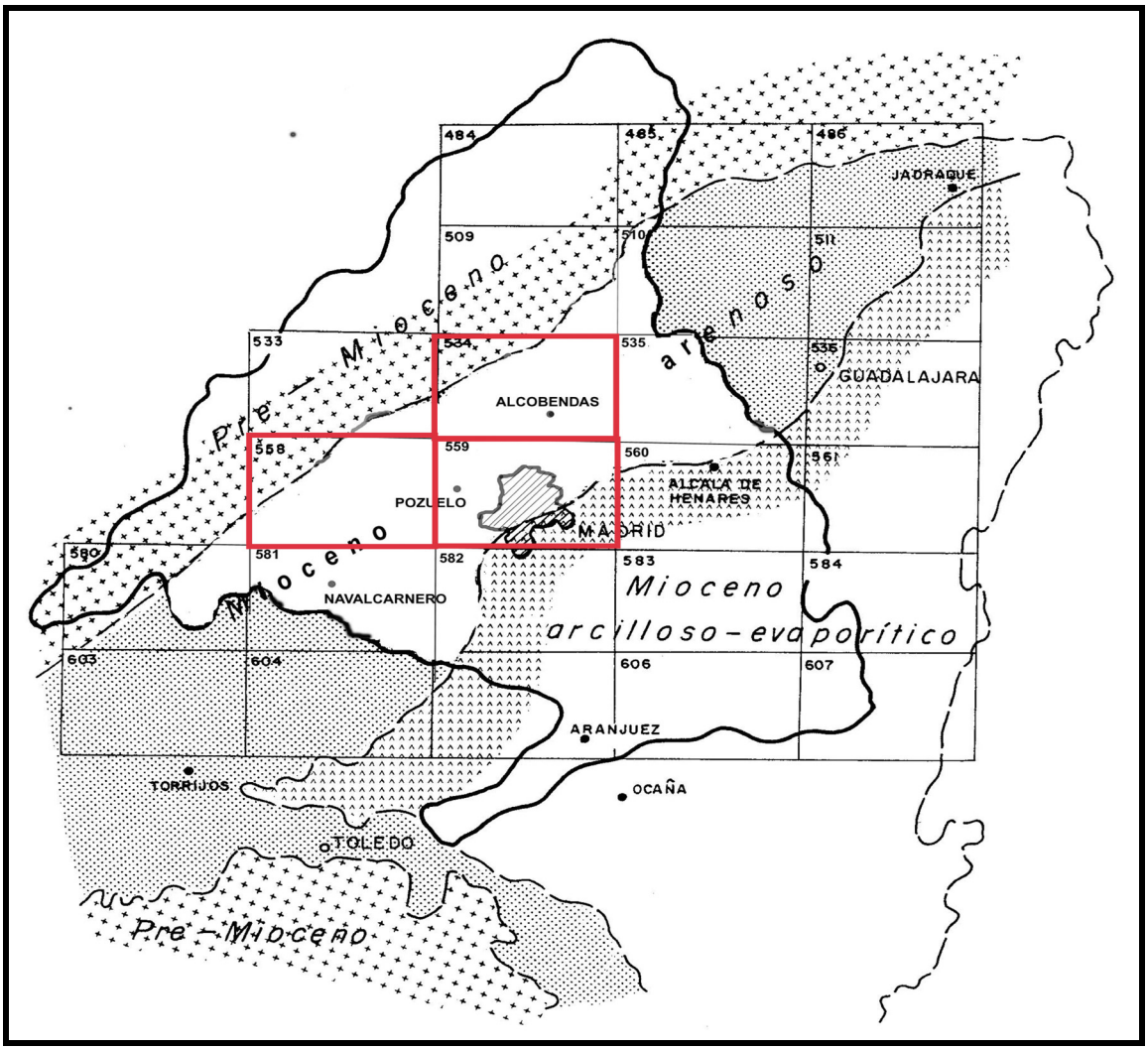


Figura 5.1: Hojas del I.G.M.E. Escala 1:50:000

La situación de los sondeos del sector norte se presenta en el mapa topográfico 1:50.000 de la figura 5.2. Dichos sondeos siguen un perfil de dirección Norte-Sur con una longitud de 6 Km. La cota topográfica del perfil es prácticamente constante variando de 700 a 710 m. Administrativamente comprende los municipios de Tres Cantos y la ciudad de Madrid.

El sector oeste siguen un perfil de dirección Noroeste-Sureste. La longitud que alcanza el perfil de correlación en esta zona es de unos 7 Km, estando el sondeo de La Concepción alejado unos 3 Km del resto. Administrativamente comprende los municipios de Boadilla del Monte, Pozuelo de Alarcón y Majadahonda. Las cotas se sitúan entre los 700 y 750 metros de altitud descendiendo de noroeste a sureste. La situación de los sondeos se refleja en el mapa topografico de la figura 5.3.

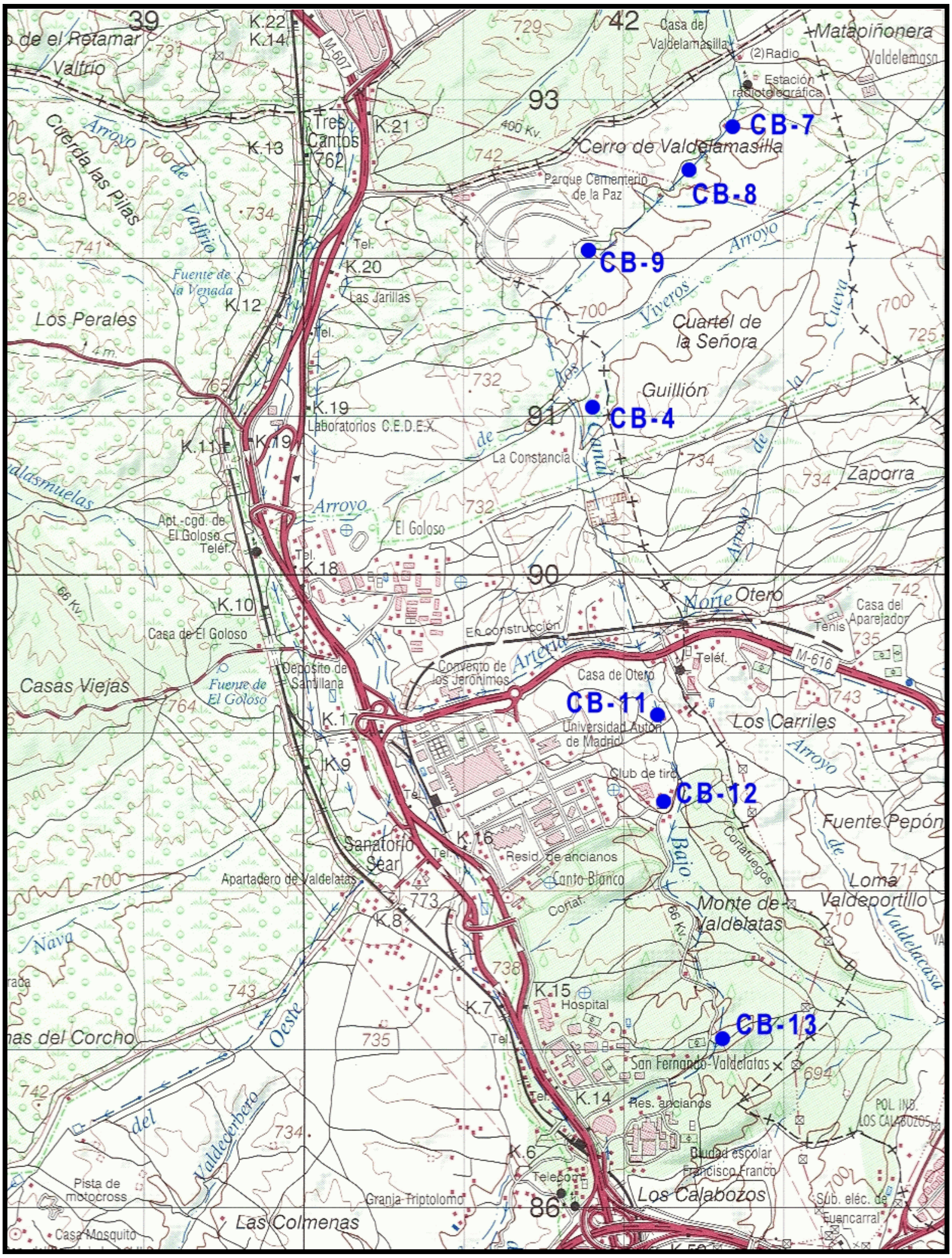


Figura 5.2: Situación de los sondeos del sector norte

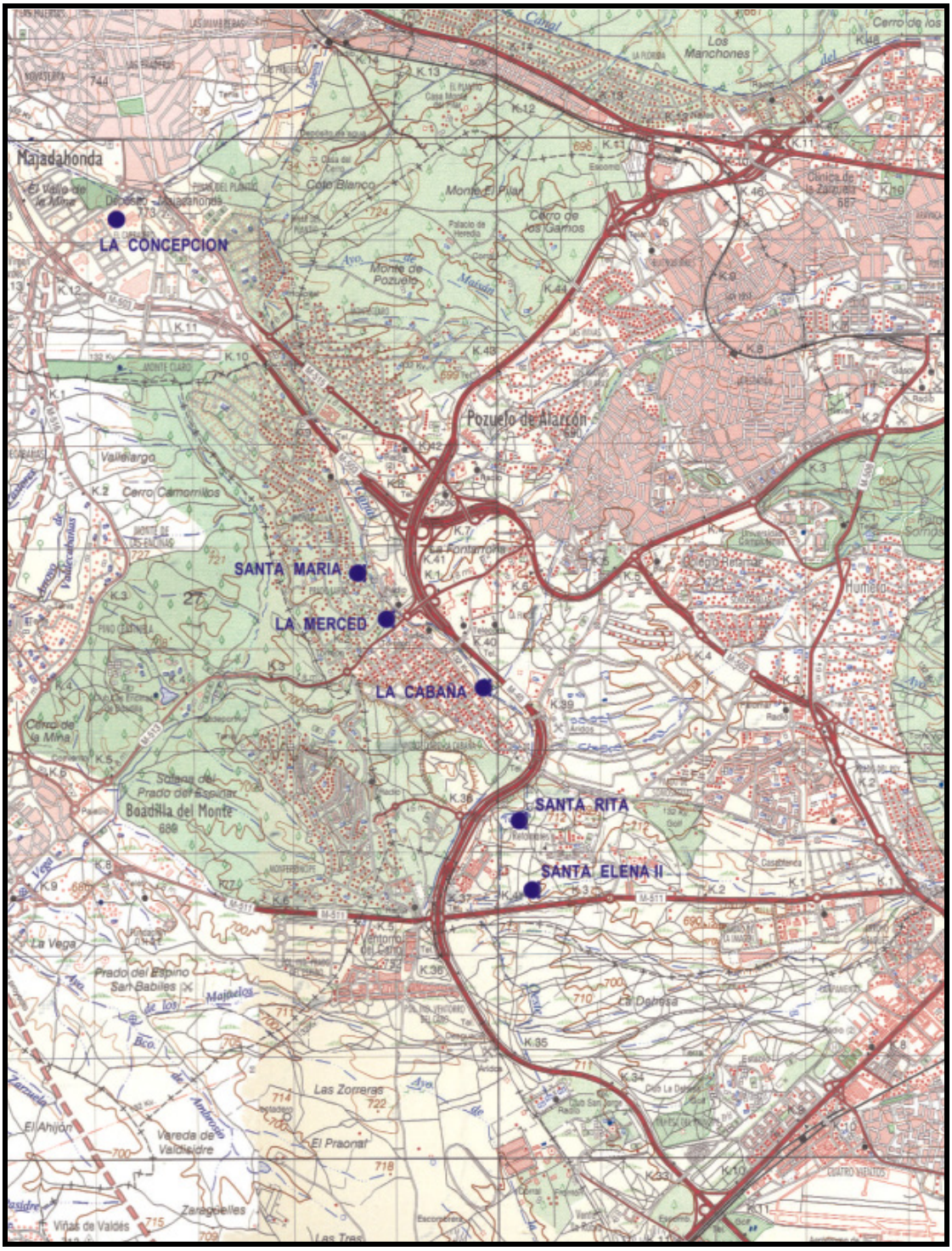


Figura 5.3: Situación de los sondeos del sector oeste

En la tabla 5.1 se presenta la denominación de los sondeos seleccionados así como los datos constructivos de los sondeos facilitados por la empresa de perforación. Los sondeos se perforaron a rotación con circulación inversa de lodos, empleando lodo natural como fluido de perforación. La viscosidad se intentó mantener entorno a 30 segundos.

En la tabla 5.2 se muestran las características de testificación de los mismos ordenados según los perfiles de correlación antes mencionados.

TABLA 5.1: CARACTERÍSTICAS DE PERFORACIÓN DE LOS SONDEOS

SECTOR NORTE				
SONDEO	**LOCALIDAD**	**COTA (s.n.m.)**	**DIÁMETROS DE PERFORACIÓN (mm)**	**INTERVALOS PROFUNDIDAD(m)**
CB-7	TRES CANTOS	697	660	0-370
CB-8	VEGARADA	700	660	0-394
CB-9	VALDELAMASA	705	660	0-410
CB-4	TRES CANTOS	710	700 660	0-42 42-416
CB-11	CANTO BLANCO	710	700 660	0-24 24-410
CB-12	CANTO BLANCO	700	660 445	0-193 193-418
CB-13	TRES CANTOS	700	700 660	0-24 24-415
SECTOR OESTE				
SONDEO	**LOCALIDAD**	**COTA (s.n.m.)**	**DIÁMETROS DE PERFORACIÓN (mm)**	**INTERVALOS PROFUNDIDAD (m)**
LA CONCEPCIÓN	MAJADAHONDA	746	660 445	0-120 120-490
SANTA MARÍA	POZUELO DE ALARCON	730	450	0-448
LA MERCED	POZUELO DE ALARCON	725	450	0-454
LA CABAÑA	POZUELO DE ALARCÓN	720	660 445	0-103 103-386
SANTA RITA	BOADILLA DEL MONTE	717	660 445	0-117 117-321
SANTA ELENA	BOADILLA DEL MONTE	715	600	0-430

TABLA 5.2: CARACTERÍSTICAS DE TESTIFICACIÓN DE LOS SONDEOS			
SECTOR NORTE			
SONDEO	**PROF REG(m)**	**PARÁMETROS REGISTRADOS**	**FECHA**
CB-7	369	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN	01/06/93
CB-8	393	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, COND, TEMP	23/04/93
CB-9	409	PE, RNC, RNL, RLAT, GN	28/05/93
CB-4	414	PE, RNC, RNL, RLAT, GN	06/08/93
CB-11	407	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN	07/07/93
CB-12	416	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN	19/05/93
CB-13	414	PE, RNC, RNL, RLAT, GN	01/07/93
SECTOR OESTE			
SONDEO	**PROF REG (m)**	**PARÁMETROS REGISTRADOS**	**FECHA**
LA CONCEPCIÓN	485	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, COND, TEMP	29/09/92
SANTA MARÍA	445	PE, RNC, RLAT, GN, TEMP	15/05/92
LA MERCED	445	PE, RNC, RLAT, GN, TEMP	08/04/92
LA CABAÑA	378	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, COND, TEMP	27/09/92
SANTA RITA	320	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, TEMP	01/09/92
SANTA ELENA	430	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, TEMP	23/10/92

5.3 RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA

En el anexo 7 se presentan las salidas gráficas de las diagrafías a escala vertical 1:200 realizadas para cada uno de los sondeos. El primer paso fue realizar la conversión de los registros analógicos a registros digitales discretizados a intervalos equidistantes de profundidad para su posterior tratamiento. Éste consistió por un lado en eliminar las variaciones de carácter global de las líneas base de potencial espontáneo en todos los registros y de gamma natural en los casos en los que existía un desplazamiento de la misma. Por otro lado se compararon dos a dos los registros de cada sondeo para evaluar el decalaje medio y corregirlo.

Como puede observarse tras el proceso de digitalización y tratamiento se obtienen curvas de muy buena calidad, en las que no se aprecian decalajes significativos aunque como se comentó al no ser éste igual en todos los tramos del registro se arrastran ciertos decalajes locales. Por otro lado también hay que destacar la ausencia de variaciones globales de las lineas base de potencial espontáneo y de gamma natural.

En algunos registros de Gamma Natural se observa un desplazamiento de la linea base que no se ha corregido ya que éste es debido a las variaciones del diámetro de perforación a lo largo del sondeo y como se comentó esta corrección se hace posteriormente al proceso de segmentación.

La interpretación continúa con la determinación de las capas paramétricas de los sondeos tras el proceso de segmentación, esto es, la determinación de los límites de capa y el valor aparente de los distintos parámetros entre límites. Con estos valores se ha realizado el proceso de interpretación cuantitativa descrito en el apartado 3.4. obteniendo los valores de contenido en arcilla, resistividad, porosidad y permeabilidad y conductividad y total de sólidos disueltos del agua de formación de cada una de las capas.

A partir de la columna paramétrica de cada sondeo y con la interpretación cuantitativa se procede a realizar la asignación litológica de las mismas obteniendo así la columna litológica de cada sondeo que se muestra en la parte central de cada registro (anexo 7).

Establecidos tras el proceso de interpretación los niveles permeables y la profundidad de los niveles de agua se procede a la elección de los intervalos óptimos para la colocación de la tubería filtrante teniendo en cuenta ciertas imposiciones constructivas de los sondeos (altura de los filtros, total de tubería filtrante, nivel freático,.. etc).

Por último se realiza la selección de tramos de cada uno de los sondeos para su posterior correlación, pudiendo así, definir para cada uno de los sectores una columna litológica tipo, con la que posteriormente se realizará la correlación geofísica-geológica.

5.3.1. Estimación de parámetros del sondeo

Como se ha comentado para la correcta interpretación de diagrafías geofísicas de sondeos existe una serie de parámetros que van a influir en los resultados obtenidos. Algunos de estos parámetros han sido medidos directamente en algunos sondeos con sondas convencionales, como la temperatura o conductividad. En los casos en los que no se disponía de estos valores se han estimado mediante las relaciones empíricas deducidas en el capitulo 3.1 a partir de datos constructivos del sondeo o de ciertas medidas realizadas en superficie como la conductividad del lodo.

Los valores de temperatura en superficie y el gradiente geotérmico para la zona de estudio se han estimado a partir de los registros de temperatura disponibles según se ha descrito en el apartado 3.1.2. siendo estos valores de 18.3º y 1.5º respectivamente.

Para determinar la densidad del lodo de perforación se ha empleado la ecuación descrita en el apartado 3.1.4 a partir de las concentraciones deducidas a partir de la viscosidad que se mantuvo en torno a 30 segundos.

Los valores de conductividad del lodo y del filtrado de lodo se obtuvieron en laboratorio a partir de las muestras recogidas en la balsa de lodos. Para los sondeos La Merced y Santa María se contaba con el registro de conductividad a lo largo del sondeo, para deducir la conductividad del filtrado de lodo se ha utilizado la ecuación descrita en el apartado 3.1.5.

En la tabla 5.3 se recogen los valores de estos parámetros para cada uno de los sondeos.

TABLA 5.3: ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SONDEO						
SECTOR NORTE						
SONDEO	**T (ºC)**	**GT (ºC)**	**DENSIDAD (g/cm3)**	**CONDUCTIVIDAD**		
				LODO (:mho/cm)	**FILTRADO (:mho/cm)**	**Tº (ºC)**
CB-7	18.3	1.5	1.03	125	114	23
CB-8	15	2.2	1.03	440	400	20
CB-9	18.3	1.5	1.03	573	570	23
CB-4	18.3	1.5	1.03	362	395	28.5
CB-11	18.3	1.5	1.03	600	537	28
CB-12	18.3	1.5	1.03	510	460	19.5
CB-13	18.3	1.5	1.03	544	526	28
SECTOR OESTE						
SONDEO	**T (ºC)**	**GT (ºC)**	**DENSIDAD (g/cm3)**	**CONDUCTIVIDAD**		
				LODO (:mho/cm)	**FILTRADO (:mho/cm)**	**Tº (ºC)**
LA CONCEPCIÓN	19.6	1.6	1.03	360	324	16
SANTA MARÍA	19.6	1.2	1.03	350	329	19.6
LA MERCED	18	0.7	1.03	390	367	18
LA CABAÑA	19.5	1.5	1.03	375	327	16
SANTA RITA	18.3	1.7	1.03	385	260	16
SANTA ELENA	18.3	1.5	1.03	345	317	16

5.3.2 Interpretación cuantitativa

Con el proceso de segmentación se han obtenido los limites correspondientes a los distintos niveles determinados por cada parámetro. Posteriormente se ha asignado un valor aparente del parámetro registrado definido por dichos limites y mediante el estudio de concordancia de los límites y variaciones de amplitud entre los distintos registros se han obtenido las capas paramétricas definitivas del sondeo.

Sobre cada una de las capas paramétricas determinadas a lo largo del sondeo se ha realizado el proceso de interpretación cuantitativa descrito en la sección 3.4, obteniendo los valores de contenido en arcilla, resistividad, permeabilidad y conductividad y total de sólidos disueltos del agua de la formación de cada uno de ellas.

En el anexo 2 se recoge en forma de tabla y para cada uno de los sondeos los resultados de la interpretación cuantitativa.

5.3.2.1 Contenido en arcilla

Sobre los niveles seleccionados se ha realizado el proceso de cálculo de contenido en arcillas de cada uno de ellos. Estos valores se presentan en el anexo 2, en forma de tabla para cada sondeo y en la tabla 5.4 se entrega un resumen con los valores medios del conjunto de los niveles para cada uno de los sondeos estudiados.

TABLA 5.4: RESULTADOS DE INTERPRETACIÓN DE RADIACIÓN GAMMA		
SECTOR NORTE		
SONDEO	**VALORES MEDIOS**	
	CONDUCTIVIDAD LODO (: É/cm)	**(%) ARCILLA**
CB-7	125	45
CB-8	440	49
CB-9	573	42
CB-4	362	46
CB-11	600	41
CB-12	510	43
CB-13	544	36
SECTOR OESTE		
SONDEO	**VALORES MEDIOS**	
	RESISTIVIDAD R_0 (SÅm)	**(%) ARCILLA**
LA CONCEPCIÓN	360	36
SANTA MARÍA	350	42
LA MERCED	390	47
LA CABAÑA	375	44
SANTA RITA	385	44
SANTA ELENA	345	45

En cuanto a los resultado obtenidos sobre el contenido en arcilla de los distintos sondeos hay que destacar los elevados valores que presentan todos ellos, esto es debido en parte a la invasión de lodo que eleva el contenido en arcilla de los niveles. De esa forma para una evaluación correcta del contenido en arcilla sin la presencia de lodo habría que estimar la costra de lodo formada en cada nivel y restar la emisividad que conlleva.

El conocimiento del contenido en arcilla no sólo es importante, en sí mismo, como información de carácter hidrogeológico, sino que es de vital importancia para la interpretación de otros registros geofísicos afectados por la presencia de arcilla, y de los que se pueden deducir otras características útiles para la explotación del sondeo, como son la calidad química del agua de las formaciones y la permeabilidad de los distintas capas atravesadas.

5.3.2.2 Calidad del agua de formación

Sobre las capas paramétricas de los sondeos se ha realizado el proceso de obtención de los valores de conductividad y total de sólidos disueltos del agua de la formación de cada uno de ellas. Estos valores se presentan en el Anexo 2, en forma de tabla para cada sondeo y en la tabla 5.5 se entrega un resumen con los valores medios del conjunto de los niveles para cada uno de los sondeos estudiados.

TABLA 5.5: RESULTADOS DE INTERPRETACIÓN DE P.E.					
SECTOR NORTE					
SONDEO	**LODO**		**VALORES MEDIOS**		
	TIPO	**CONDUCTIVIDAD (:mho/cm)**	**CONDUCTIVIDAD (:mho/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**ION SUPUESTO**
CB-7	Natural	125	95	95	Bi-Cálcico
CB-8	Natural	440	412	548	Bi-Cálcico
CB-9	Natural	573	505	679	Bi-Cálcico
CB-4	Natural	362	355	464	Bi-Cálcico
CB-11	Natural	600	413	547	Bi-Cálcico
CB-12	Natural	510	445	597	Bi-Cálcico
CB-13	Natural	544	430	573	Bi-Cálcico
SECTOR OESTE					
SONDEO	**LODO**		**VALORES MEDIOS**		
	TIPO	**CONDUCTIVIDAD (:mho/cm)**	**CONDUCTIVIDAD (:mho/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**ION SUPUESTO**
LA CONCEPCIÓN	Natural	360	324	420	Bi-Cálcico
SANTA MARÍA	Natural	350	322	420	Bi-Cálcico
LA MERCED	Natural	390	381	507	Bi-Cálcico
LA CABAÑA	Natural	375	358	473	Bi-Cálcico
SANTA RITA	Natural	385	253	319	Bi-Cálcico
SANTA ELENA	Natural	345	335	436	Bi-Cálcico

Una característica que destaca inicialmente es el reducido rango de los valores medios en los distintos sondeos en cada una de las zonas lo que implica una fuerte homogeneidad en éstas. El valor medio de conductividad de la zona norte (excepto en el sondeo CB-7 donde los valores se alejan mucho del resto debido a la baja conductividad del lodo de perforación) es de unos 400 :mho/cm y en la zona oeste de unos 300 :mho/cm, estos datos, menores de 500 :mho/cm, concuerdan con la distribución de la calidad química de las aguas subterráneas de Madrid (figura 4.6).

Otro rasgo que se debe resaltar es la distribución de conductividad con la profundidad encontrada en cada sondeo. En general en los sondeos situados al Norte la conductividad empeora ligeramente con la profundidad, mientras que en la zona oeste se mantiene constante a lo largo de los sondeos.

La posibilidad de conocer las características químicas del agua de los distintos niveles, permite tomar una serie de decisiones, previas a la puesta en marcha de sondeos de captación de agua subterránea, sobre las características constructivas de los mismos de cara a eliminar acuíferos cuyo aporte al conjunto del agua extraible puede empeorar la calidad de la explotación.

5.3.2.3 Porosidad/Permeabilidad

Los valores obtenidos tras el proceso de cálculo de porosidad/permeabilidad para cada una de las capas del sondeo se presentan en el anexo 2, en forma de tabla para cada sondeo y en la tabla 5.6 se entrega un resumen con los valores medios del conjunto de los niveles para cada uno de los sondeos estudiados.

TABLA 5.6: RESULTADOS DE INTERPRETACIÓN DE RESISTIVIDADES			
SECTOR NORTE			
SONDEO	**VALORES MEDIOS**		
	RESISTIVIDAD R_0 (Ωm)	**POROSIDAD N (%)**	**PERMEABILIDAD K (cm/sg)**
CB-7	444	0.40	9.7e-02
CB-8	100	0.41	1.1e-01
CB-9	79	0.41	8.8e-02
CB-4	143	0.43	1.4e-01
CB-11	97	0.42	9.7e-02
CB-12	94	0.40	1.5e-01
CB-13	96	0.41	1.6e-02
SECTOR OESTE			
SONDEO	**VALORES MEDIOS**		
	RESISTIVIDAD R_0 (Ωm)	**POROSIDAD N (%)**	**PERMEABILIDAD K (cm/sg)**
LA CONCEPCIÓN	107	0.38	1.3e-02
SANTA MARÍA	114	0.43	3.8e-02
LA MERCED	91	0.44	5.0e-02
LA CABAÑA	89	0.40	2.9e-02
SANTA RITA	130	0.46	6.1e-02
SANTA ELENA	103	0.40	5.9e-02

Los rangos de porosidad varían del 25% para las capas más permeables(gravas) al 50% para las impermeables (arcillas) obteniendo un valor medio de porosidad en ambas zonas del 40%. En la zona oeste destaca el sondeo La Concepción que presenta una porosidad del 38% frente al sondeo Santa Rita con una porosidad del 46%. Estos hechos concuerdan con el aprovechamiento hidráulico de los sondeos ya que el sondeo La Concepción es el más productivo siendo el Santa Rita prácticamente improductivo.

Dado que la permeabilidad se ha obtenido indirectamente a partir de la porosidad empleando en todos los casos los mismos coeficientes del factor de formación, estos datos coinciden con las porosidades.

5.3.3 Interpretación litológica

En la parte central de cada registro (anexo 1) aparecen las columnas litológicas obtenidas como resultado de la interpretación y asignación realizada. Las profundidad de las capas paraméricas obtenidas así como la asignación litológica para cada uno de los sondeos se recogen en forma de tablas en el anexo 2.

En la tabla 5.7 se recoge el número de capas obtenidas en cada sondeo junto con el espesor medio de las mismas, así como el porcentaje de cada una de las litologías encontradas. Las litologías determinadas corresponden a gravas, arenas, limos, arenas arcillosas, arcillas arenosas y arcillas.

TABLA 5.7: RESULTADOS DE INTERPRETACIÓN LITOLÓGICA

SECTOR NORTE								
SONDEO	**Nº CAPAS**	**Espesor medio (m)**	**% Arcilla**	**% Arcilla-Arenosa**	**% Arena-Arcillosa**	**% Limos**	**% Arenas**	**% Gravas**
CB-7	135	2.5	16	10	21	26	17	11
CB-8	146	2.4	16	16	18	22	14	14
CB-9	144	2.6	16	18	16	21	20	10
CB-4	136	2.9	15	18	13	23	19	12
CB-11	145	2.6	19	17	20	12	20	11
CB-12	150	2.6	21	18	14	17	17	13
CB-13	138	2.8	19	18	21	17	14	14
SECTOR OESTE								
SONDEO	**Nº CAPAS**	**Espesor Medio (m)**	**% Arcilla**	**% Arcilla-Arenosa**	**% Arena-Arcillosa**	**% Limos**	**% Arenas**	**% Gravas**
LA CONCEPCIÓN	209	2.2	12	19	20	18	22	9
SANTA MARÍA	180	2.3	16	20	22	17	17	8
LA MERCED	129	3.0	24	19	24	18	10	5
LA CABAÑA	154	2.2	22	27	19	15	12	5
SANTA RITA	122	2.4	19	16	32	20	8	5
SANTA ELENA	152	2.5	25	32	17	12	6	7

Las litologías determinadas tras el proceso de asignación litológica coinciden con las columnas litológicas levantadas en campo a pie del sondeo.

La zona norte presenta una gran homogeneidad litológica, siendo las proporciones de cada litología bastante similares, las gravas es la litología menos predominante. La zona oeste es en general más arcillosa y menos arenosa siendo esta proporción mayor en los sondeos situados más al sureste.

5.3.4 Ubicación de filtros

Con la interpretación litológica resultante del conjunto de los registros se han llegado a establecer los niveles permeables de cada sondeo. En base a esa distribución, a los valores cuantitativos, a las muestras extraídas del sondeo y a las características constructivas del sondeo (longitud de los filtros, cámara de bombeo, resistencia de la tubería y soldaduras,..) se han decidido los intervalos más interesantes para la colocación de la tubería filtrante.

En el anexo 3 se muestra en forma de tabla la ubicación de la tubería filtrante recomendada para cada uno de los sondeos, y en la tabla 5.8 se presenta un resumen de los tramos filtrantes definidos para cada sondeo junto con una evaluación del porcentaje que estos representan sobre la profundidad total alcanzada para posteriores análisis comparativos hidráulicos.

TABLA 5.8 INTERVALOS RECOMENDADOS PARA TUBERÍA FILTRANTE

SECTOR NORTE						
SONDEO	**PROF.**	**RANGO DE PROFUNDIDAD**		**Nº FILTROS**	**METROS TOTALES**	**%**
CB-7	367	105.5	366.5	23	79.5	21.7
CB-8	390	105.0	389.5	24	76.5	19.6
CB-9	404	133.5	404.5	25	81.0	20.0
CB-4	414	101.0	414.0	30	91.0	22.0
CB-11	405	129.5	402.5	26	79.5	19.6
CB-12	408	125.0	398.0	23	70.5	17.3
CB-13	399	110.5	398.5	23	81.0	20.3
Valor medio del porcentaje de filtros en los sondeos						20.1
SECTOR OESTE						
SONDEO	**PROF.**	**RANGO DE PROFUNDIDAD**		**Nº FILTROS**	**METROS TOTALES**	**%**
LA CONCEPCIÓN	483	95.5	478	25	109.5	22.2
SANTA MARÍA	444	99.5	441	31	78	17.6
LA MERCED	441	76	439.5	19	61.5	13.9
LA CABAÑA	372	71.5	343	17	54	14.5
SANTA RITA	314	45	226	24	49.5	15.8
SANTA ELENA	425	80	419.5	20	54	12.7
Valor medio del porcentaje de filtros en los sondeos						16.2

La longitud del los filtros es de 1,5 metros por lo que los intervalos de tubería filtrante oscilan entre 1,5 y 6 metros, además normalmente se suele dejar los primeros metros sin filtros para prevenir la entrada al pozo de infiltraciones de aguas superficiales susceptibles de contaminación y también por evitar que queden niveles colgados durante el bombeo.

Como puede observarse la proporción de tubería filtrante oscila entre el 13 y 22% con un valor medio del 18% lo que indica buenas características para el aprovechamiento hidrológico.

En la tabla 5.9 se recoge la media de los distintos parámetros cuantitativos para el conjunto de niveles permeables en cada uno de los sondeo para evaluar el comportamiento general de cada sondeo.

TABLA 5.9 INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA DE LOS NIVELES PERMEABLES						
SECTOR NORTE						
SONDEO	**ARCILLA (%)**	**F (: mho/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**RHO (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**
CB-7	30	105	109	654	0.31	4.6e-01
CB-8	38	500	669	149	0.31	5.3e-01
CB-9	27	576	777	116	0.31	4.0e-01
CB-4	31	389	510	193	0.32	4.5e-01
CB-11	27	471	628	148	0.31	4.0e-01
CB-12	18	532	714	149	0.30	6.1e-01
CB-13	18	515	690	155	0.30	5.7e-01
SECTOR OESTE						
SONDEO	**ARCILLA (%)**	**F (: mho/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**RHO (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**
LA CONCEPCIÓN	25	365	478	136	0.28	3.2e-02
SANTA MARÍA	23	348	457	156	0.35	1.1e-01
LA MERCED	12	403	536	120	0.37	5.0e-02
LA CABAÑA	21	388	511	114	0.29	1.0e-02
SANTA RITA	26	283	361	165	0.38	1.0e-02
SANTA ELENA	16	362	470	131	0.29	6.4e-02

5.3.5 Selección y Correlación de tramos

Los tramos geofísicos en cada sondeo se han determinado por las siguientes propiedades:

- El valor medio de los parámetros registrados que, por su relación con la porosidad y el contenido en arcillas, indica la litología predominante.

- La frecuencia de la curva de cada tramo que hace referencia al espesor de las distintas capas, así como a su periodicidad de aparición.

- La diferencia entre valores máximos y mínimos de los registros que define, si la alternancia de niveles en cada tramo corresponde a litologías parecidas (arcillas y arcillas arenosas) o muy dispares (gravas y arcillas).

En el anexo 4 se presenta para cada uno de los sondeos la caracterización de los tramos litológicos resultantes.

Una vez definidos y caracterizados geofísica y litológicamente los tramos en cada sondeo, se va a realizar la correlación de los mismos. Las correlación de sondeos se ha realizado según los perfiles de correlación que se observan en la figura 5.3, el perfil norte sigue una dirección norte-sur y tiene una longitud de 6 Km, la sección oeste sigue una dirección Noroeste-Sureste y tiene una longitud de 7 Km.

Se han obtenido dos secciones de correlación, una para cada zona, en la figura 5.4 se presenta la sección norte y en la figura 5.5 la sección oeste. Estas mismas figuras se presentan en el anexo 5 para facilitar su visión y recoger en el tomo de anexos todos los resultados obtenidos tras la interpretación y correlación

Los perfiles sísmicos realizados en este área sugieren que todos los sedimentos de la cuenca tienen una disposición horizontal o subhorizontal, por lo que la correlación se llevará a cabo en base a este criterio, teniendo en cuenta que niveles de arenas gruesas en zonas proximales pueden pasar a arenas medias y estas a finas según nos alejemos del área fuente.

La correlación por tramos es cuando menos complicada, ya que estos no se presentan con las mismas características, ni los límites de los tramos establecidos para algunos sondeos tienen sentido en otros. Los numerosos cambios laterales de facies provocan una gran complejidad en este tipo de depósitos. Por ello, la proximidad o lejanía de estos respecto al área fuente es uno de los factores condicionantes a la hora de realizar la correlación .

Aunque el acuífero terciario de Madrid, a gran escala ha sido definido como libre heterogéneo y anisótropo, localmente se puede considerar como un acuífero multicapa. En este tipo de acuíferos y especialmente los que corresponden a depósitos de abanicos aluviales con frecuentes cambios laterales de facies, como es este caso, al intentar correlacionar tramos litológicos se deben extremar las precauciones, puesto que el factor distancia influye contundentemente a la hora de extrapolar columnas litológicas tipo definidas para sondeos próximos, a áreas más alejadas geográficamente.

Un claro ejemplo de la influencia de la distancia se observa en la sección oeste ya que el sondeo La Concepción está alejado del resto de los sondeos por lo que este sondeo presenta características distintas del resto.

Para realizar la correlación se han analizado pormenorizadamente el conjunto de registros, aunque en las secciones sólo aparecen las curvas del resistividad y potencial espontáneo por ser las más definitorias.

Se han identificado y correlacionado un total de 7 tramos en la sección norte y 6 en la oeste, dada la semejanza geofísica y litológica entre los tramos de ambas zonas se ha seguido la misma nomenclatura para ambas denominándose los tramos de A a G de techo a muro. A grandes rasgos se pueden definir tres grupos litológicos:

1) Los tramos muy permeables con predominio de niveles de gravas de gran potencia que alternan con niveles arcillosos (tramos A y G).

2) Los tramos permeables compuestos por alternancia de niveles arenosos y arcillosos de potencia similar (tramos B, D y F). En la zona oeste se observa que el tamaño de grano y el espesor de los niveles arenosos disminuyen hacia el SE a medida que aumentan las arcillas. En la zona norte se observa que hacia el sur los niveles de arenas aumentan en espesor y tamaño de grano. Estos hechos sugieren la existencia de cambios laterales de facies

3) Tramos impermeables compuestos por arcillas y arcillas arenosas con intercalaciones de arenas arcillosas de poco espesor (tramos B1, B2, C y E). Al igual que para los tramos anteriores se observa una disminución de las arenas arcillosas hacia el SE.

En las secciones se han separado claramente estos tramos más arcillosos fundamentalmente para delimitar los limites de las capas acuíferas más permeables importante para caracterizar hidrológicamente la cuenca ya que estas actúan como barreras hidrológicas.

Además los tramos "C" y "E" se han considerado como tramos "guía" desde el punto de vista geofísico, usándose como tales para la realización de la correlación.

Figura 5.3: Perfiles de correlación

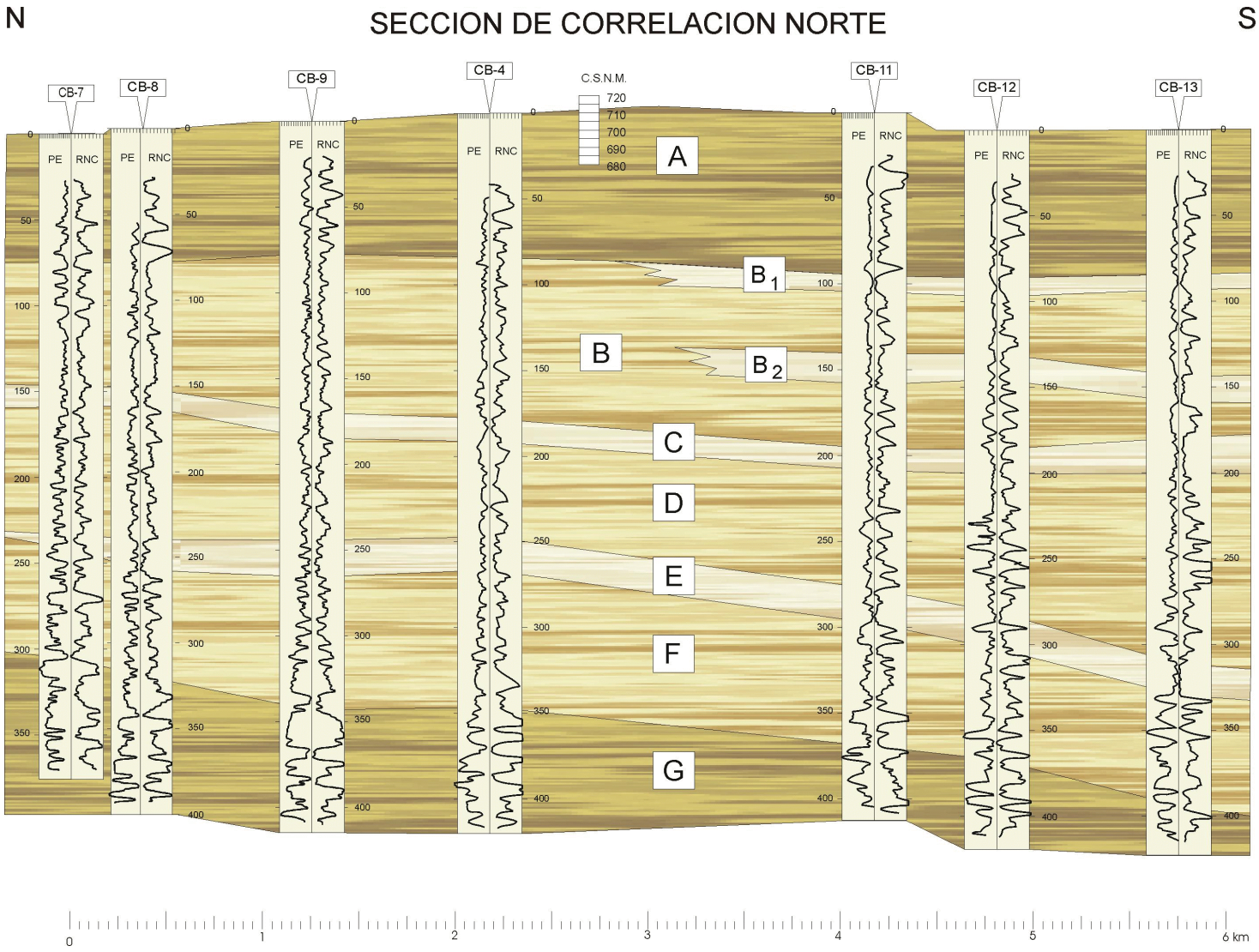


Figura 5.4: Sección Norte

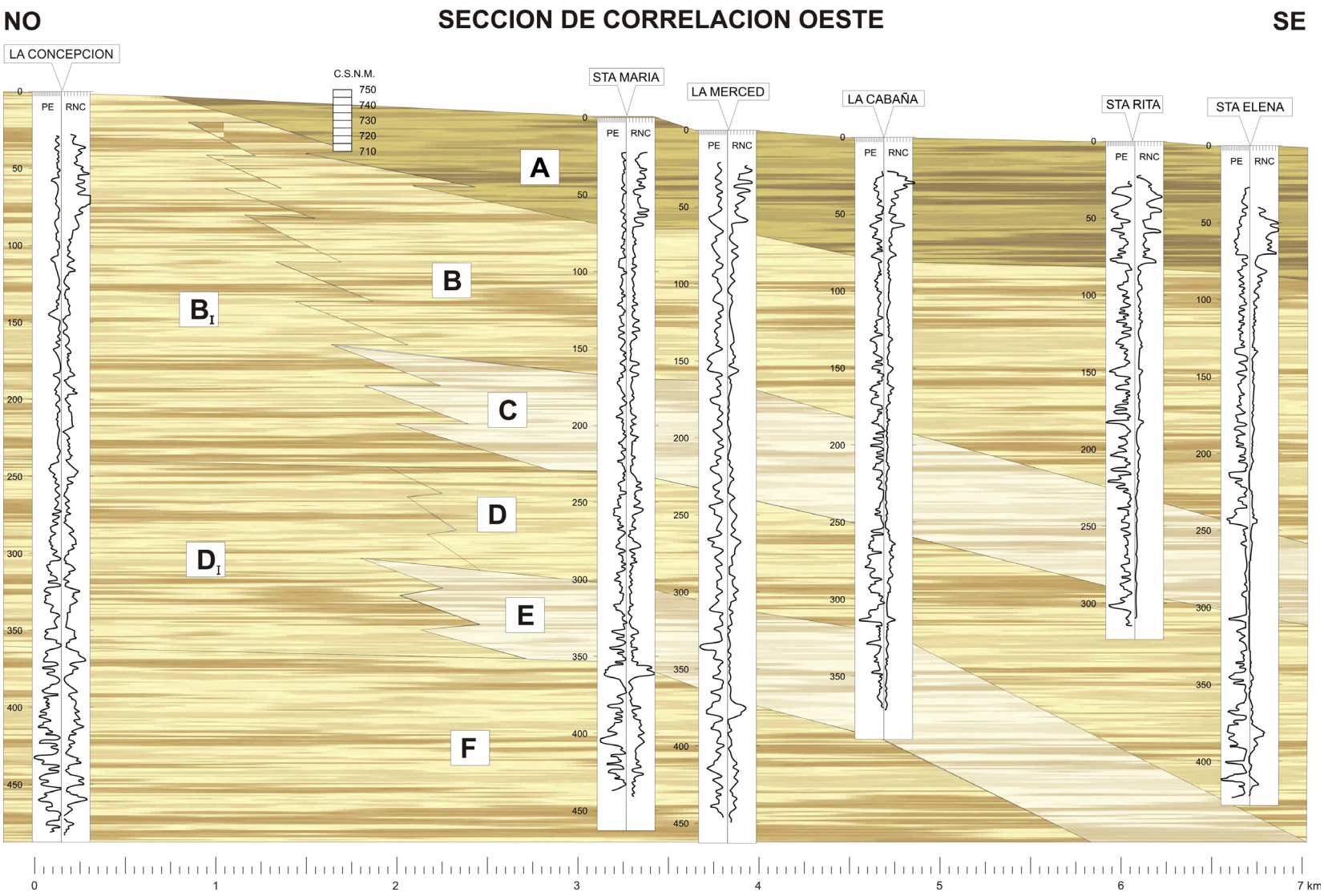


Figura 5.5 Sección Oeste

A continuación se describen las características geofísicas y litológicas de cada uno de estos tramos así como los espesores y profundidades que presentan en cada zona.

5.3.5.1 Sección de Correlación Norte

Tramo A:

Este tramo se caracteriza por la gran amplitud y baja frecuencia en las curvas de resistividad, así como por unos bajos valores de emisividad de gamma natural, las curvas de potencial espontaneo no son muy resolutivas en este primer tramo, aunque en las capas más permeables y de mayor espesor existe una buena correlación entre ambos parámetros.

Litológicamente se trata de un tramo muy arenoso, con niveles de gran espesor de arenas gruesas y con algunos niveles arcillosos. El espesor del tramo se mantiene constante en todos los sondeos alcanzando una profundidad media de 80 metros.

Tramo B:

Este tramo se caracteriza por la gran frecuencia y pequeña amplitud en las curvas de resistividad, así como por presentar mayores valores de emisividad de gamma natural. Es el tramo más heterogéneo de los identificados. La frecuencia en las curvas de resistividad disminuye de norte a sur.

Litológicamente este tramo se caracteriza por una alternancia rápida de niveles de arenas medias y niveles arcillosos y arcillo arenosos de espesor creciente de norte a sur.

El espesor del tramo aumenta gradualmente de norte a sur presentando un espesor de unos 75 metros en el norte hasta alcanzar los 90 metros en el sur. La profundidad del tramo por tanto va de los 150 metros al norte a los 200 en el sur.

Desde la parte central y hacia el sur se han identificado dos subtramos que aparecen únicamente en los sondeos C-11, 12 y 13 que presentan características geofísicas distintas:

Ambos tramos se caracterizan por su alto valor de emisividad de gamma natural, así como por su muy bajos valores de resistividad. Se trata de un tramo básicamente arcilloso e impermeable.

El tramo B1 mas superficial tiene un espesor de unos 15 m aproximadamente, y su muro se encuentra entorno a los 100 m de profundidad en todos los sondeos en los que aparece. El subtramo B2 tiene un espesor de unos 20 m, y su muro se encuentra a unos 160 m de profundidad.

Tramo C:

Caracterizado por presentar un alto valor de potencial espontaneo, así como por su baja resistividad. El sondeo CB - 12 presentan algunos niveles, dentro de este tramo, de menor valor de emisividad de gamma natural y mayor resistividad.

Litológicamente se trata de un tramo arcilloso con algunos niveles de poco espesor de arenas muy finas.

Su espesor aumenta moderadamente de norte a sur, pasando de unos 7 m en el sondeo más septentrional, a unos 23 m en el sondeo más meridional. La profundidad del muro también aumenta de norte a sur, pasando de 164 m en el sondeo más septentrional, a 203 m en el más meridional.

Tramo D:

Este tramo se caracteriza por una frecuencia y amplitud medias en las curvas de resistividad. El registro de potencial espontaneo se opone a los registros de resistividad, coincidiendo máximos con mínimos y viceversa. Los sondeos situados en la parte norte presentan una frecuencia algo mayor en las curvas de resistividad.

Se tata de una alternancia de arenas medias y niveles arcillosos de espesores medios en ambos casos. Hacia el sur aumenta tanto el tamaño de grano de estas arenas como su espesor de las arcillas.

El espesor del tramo disminuye desde el sondeo más septentrional (82 m en el CB - 7), hasta el situado en el centro de la zona (56 m en el CB - 4), aumentando a continuación hasta el sondeo más meridional (105 m en el CB - 13).

El muro se presenta a un profundidad prácticamente constante en los 4 sondeos más septentrionales, entorno a 245 m, aumentando progresivamente hasta alcanzar 308 m de profundidad en el sondeo más meridional.

Tramo E:

Presenta un alto valor de emisividad de Gamma Natural, así como una baja resistividad. Los sondeos más septentrionales y el sondeo CB - 12 presentan algunos niveles, dentro de este tramo, de menor valor de emisividad de gamma natural y mayor resistividad.

Es en general un tramo arcilloso, con algunos niveles de poco espesor de arenas medias y finas en los sondeos más septentrionales y en el sondeo CB - 12.

Su espesor, mayor que en el tramo C, aumenta algo de norte a sur, pasando de unos 18 m en el sondeo más septentrional, a unos 22 m en el sondeo más meridional. La profundidad del muro también aumenta de norte a sur, pasando de 264 m en el sondeo más septentrional, a 330 m en el más meridional.

Tramo F:

Este tramo se caracteriza por una frecuencia media y una gran amplitud en las curvas de resistividad. El registro de potencial espontaneo se opone a los registros de resistividad, coincidiendo máximos con mínimos y viceversa. Se pueden apreciar valores de resistividad bastante altos.

Litológicamente es una alternancia de arenas medias y gruesas y niveles arcillosos y arcillo arenosos de espesores medios en ambos casos.

El muro se presenta a un profundidad de unos 300 metros en el sondeo mas septentrional aumentando progresivamente hasta una profundidad de 370 m en el sondeo más meridional.

Tramo G.

El ultimo tramo presenta la menor frecuencia y la mayor amplitud observadas, en las curvas de resistividad. El registro potencial espontaneo y el de gamma natural se opone a los registros de resistividad, coincidiendo máximos con mínimos y viceversa. El tramo presenta los mayores valores de resistividades registrados.

Litológicamente se caracteriza por una una alternancia de arenas muy gruesas y gravas con niveles arcillosos de grandes espesores en ambos casos.

Ninguno de los sondeos sobrepasa a este tramo, por lo que poco podemos decir de la profundidad del muro ni de su espesor, salvo que este supera, al menos, los 90 m en la parte norte de la zona de estudio.

5.3.5.2 Sección de Correlación Oeste

Tramo A:

Analizando los máximos y mínimos de amplitud de la curva en este tramo, se observa una considerable diferencia entre estos, por lo que se ha interpretado como una alternancia de gravas con arcillas arenosas. Presenta un valor medio de resistividad alto lo que denota un tramo claramente permeable.

De la interpretación de la frecuencia en el registro se deduce que los espesores medios de las capas de grava son de 5 a 6 metros, mientras que los espesores de las capas de granulometrías más finas varían de 2 a 4 metros.

Este primer tramo aparece en todos los sondeos excepto en La Concepción variando la profundidad de la base de 70 m a 85 m hacia el sureste.

Tramo B:

En este tramo respecto del anterior se observa una disminución del valor medio de la resistividad, lo que indicaría litologías menos permeables, tratándose, por la frecuencia y diferencia entre máximo y mínimo de amplitud de la curva, de arenas limpias de grano medio a fino de espesores que van de 3 a 6 metros e intercalaciones de arenas arcillosas y/o arcillas de espesores variables.

El espesor del tramo varía de 65-85 metros en la parte central de la sección a los 150 metros en la zona más sureste. La profundidad del muro varia de 150 metros en la parte central a los 250 en el sondeo Santa Elena.

En el sondeo la Concepción este tramo presenta un espesor de 220 metros y la cantidad de niveles de gravas y arenas es mayor sobre todo a techo del tramo. Debido a estas particularidades en este sondeo a este tramo se le ha denominado B_I.

En general se aprecia una tendencia al aumento del espesor de las capas de arcillas junto con una disminución de la frecuencia de aparición de las capas arenosas hacia el SE lo que sugiere un cambio lateral de facies de más arenosas a más arcillosas hacia el SE, lo que concuerda con su situación respecto del área fuente.

Tramo C:

Presenta una disminución del valor medio del parámetro de resistividad y un cierto aumento de gamma natural, lo que significa litologías poco permeables.

La frecuencia de la curva muestra una serie de capas de arcillas de espesores entorno a los 10 metros con intercalaciones de arenas arcillosas y pasadas de limos. Estas capas de arenas se van haciendo más escasas y estrechas hacia el SE como en el tramo superior.

Alcanza una profundidad mínima de 240 m aumentando hacia el sureste hasta alcanzar una profundidad de 340 m en el Santa Elena. El espesor es mas o menos constante alcanzando los 65 metros. En el sondeo la Concepción no aparece este tramo.

Tramo D:

El aumento del valor medio de resistividad y potencial espontaneo y la disminución de gamma natural respecto a los anteriores indica un tramo permeable de arenas limpias de grano medio a grueso.

El espesor de las capas de arena oscila de 3 a 6 metros, intercaladas por arenas arcillosas. De nuevo se aprecia un cierto aumento del espesor de las capas de arcilla hacia SE.

El espesor máximo de este tramo es de unos 70 metros en la parte central de la sección no pudiéndose definir el espesor en el extremo SE por ser este el ultimo tramo definido en los sondeos situados mas al SE.

Al igual que para el tramo B el sondeo La Concepción presenta características diferentes, el espesor en este sondeo alcanza los 100 metros y esta formado por una alternancia de niveles de gravas y arenas con niveles arcillosos.

Tramo E:

La considerable disminución del valor medio de resistividades junto con el aumento del valor medio de gamma natural, se ha interpretado como un tramo predominantemente arcilloso, con intercalaciones de arenas finas y pasadas de limos. Este tramo solo aparece en los sondeos situados en la parte central de la sección.

Se aprecia la misma tendencia hacia el SE a disminuir la frecuencia de aparición de las intercalaciones arenosas como en los tramos superiores. Tiene un espesor máximo de 60 m y la profundidad del mismo aumenta claramente hacia el este localizándose a unos 350 metros.

Tramo F:

El fuerte aumento del valor medio que experimenta la resistividad y disminución del valor medio de gamma natural significa que entramos en un tramo de litologías claramente muy permeables, interpretándose como una serie compuesta principalmente por arenas y gravas.

Del análisis de la frecuencia de la curva de registro y de la diferencia entre máximos y mínimos de amplitud se establece que se trata de capas de gravas espesores variables entre 4 m a 10 m con intercalaciones de arcillas arenosas de espesores variables y pasadas de arcillas arenosas.

Este tramo solo aparece en la zona noroeste de la sección, es decir en aquellos sondeos con profundidades de perforación superiores a los 370 metros.

5.4 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE TRAMOS GEOFÍSICOS.

De acuerdo con los datos geológicos recopilados y las profundidades alcanzadas por los sondeos, estos cortan fundamentalmente sedimentos pertenecientes a la Unidad Inferior y Unidad Intermedia del Mioceno. Además dada la proximidad de todos los sondeos estudiados al área fuente, y el hecho de no haber encontrado en ninguno de ellos materiales propios de las facies químicas o de las facies intermedias el área de estudio se sitúa dentro de las facies detríticas de ambas unidades.

Como se comento en el capítulo 4 las formaciones detríticas de las distintas unidades litoestratigráficas forman un acuífero con una extensión de 405 km^2 en la región de Madrid y su potencia varía en función de la profundidad de la fosa tectónica que rellena. Dado su espesor, la cantidad y calidad del agua que contiene, lo hacen ser el mejor acuífero de Madrid.

Aunque a nivel general el acuífero terciario detrítico de Madrid esta formado por un conjunto de lentejones arenoso-arcillosos de pequeño tamaño, distribuidos aleatoriamente en una matriz arcillosa. Esta estructura le da al acuífero un carácter de único, libre, heterogéneo y anisótropo en general de baja permeabilidad.

Sin embargo a nivel local es la alternancia de niveles arenosos permeables separados por niveles arcillosos de permeabilidad inferior lo que le da un comportamiento semejante al de un acuífero semiconfinado multicapa.

Por lo tano la característica fundamental que presenta este acuífero es la presencia de variaciones granulométricas y por tanto hidrogeológicas de una área a otra y en la vertical debido al proceso de deposición de los materiales.

A partir de los resultados obtenidos tras la interpretación y correlación se pueden caracterizar los tramos correlacionados a efectos de considerar el aprovechamiento hidrogeológico de éstos.

Tramo A

Se puede considerar a este tramo como muy bueno para la captación de aguas subterráneas, en el caso de estar en la zona saturada, y es el objetivo de pozos poco profundos realizados en antiguas captaciones. Los niveles permeables de mayor importancia se sitúan por encima de 50 m de profundidad.

En el caso de que el nivel freático llegue hasta aquí este hubiera podido ser un buen objetivo para las actuales captaciones, pero el nivel freático aparece más abajo, concretamente a 90 m de profundidad en el momento de la realización de estos sondeos.

Tramo B

Aunque es un tramo predominantemente arenoso, el pequeño espesor de los niveles y el pequeño tamaño de grano de las arenas hacen a este tramo poco interesante desde el punto de vista de explotación, no constituyendo por si mismo un objetivo. Aunque en algunos sondeos aparecen niveles arenosos interesantes, estos son de carácter puntual.

Tramo D.

Este tramo es, desde el punto de vista de explotación, bastante más interesante que el anterior, pudiendo llegar a ser el objetivo de algunas captaciones no demasiado relevantes. Las características hidrogeológicas de este tramo mejoran de norte a sur en la Sección Norte y empeoran hacia el SE en la Sección Oeste.

Tramo F.

Este tramo es muy interesante hidrológicamente sobre todo en zonas basales, como en los tramos anteriores los paquetes productivos mejoran hacia el sur aunque también aumenta el espesor de capas impermeables.

Tramo G.

Este tramo solo aparece en la zona norte ya que en general la profundidad alcanzada por estos sondeos es mayor. La presencia de potentes niveles de arenas gruesas en todos los sondeos de la sección hace pensar en la gran uniformidad del tramo salvo el lógico aumento del número de niveles arcillosos y espesor de estos según nos alejamos del área fuente. Precisamente esta uniformidad hace de este tramo el objetivo hidrogeológico principal en ambas zonas.

Tramos impermeables

Los tramos denotados como B.1 y B.2 en la zona norte así como el C y E de ambas zonas son tramos básicamente arcillosos e impermeables.

Desde el punto de vista de explotación son tramos improductivos, utilizándose habitualmente alguno de ellos como cámara de bombeo.

CAPÍTULO 6:

ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

La testificación geofísica en sondeos mide las características de las formaciones atravesadas, que son muy dependientes de los parámetros geológicos. Estas características resultan por un lado de las condiciones físicas, químicas y biológicas que existían en el momento de la sedimentación y que caracterizan el ambiente y determinan facies originales, y por el otro de la evolución a la que estuvieron sujetas estas formaciones durante la historia geológica.

Es decir, los registros geofísicos en sondeos pueden reflejar estructuras sedimentarias (textura y estructura), espesor y heterogeneidades o secuencias (de litología o evolución del tamaño de grano). Estas estructuras sedimentarias son especialmente importantes ya que reflejan las condiciones hidrodinámicas al tiempo de la deposición (energía, tipo de corrientes), constituyen un elemento importante de las facies de una unidad sedimentaria y conducen a una mejor definición del ambiente deposicional.

El término facies, introducido por Gressly (1838), ha sido utilizado de diversas maneras y los usos y definiciones han sido revisados constantemente por distintos autores (Moore, 1949; Krumbein y Sloss, 1963; Selley, 1970; Middleton, 1978...). El término facies cubre un significado general, descriptivo y nunca genético y corresponde al aspecto que presenta una roca sedimentaria como resultado de la suma de características litológicas, estructurales y orgánicas que pueden ser detectadas en el campo y que distinguen a esta roca de las que la rodean.

Sin embargo el conocimiento de una facies no es suficiente para identificar un ambiente. Es a partir de sus características y del contexto en que se encuentra (espesor de cada facies, evoluciones secuenciales verticales y laterales, relación tiempo espacio con las facies vecinas, control tectónico regional en el periodo del depósito) cuando se puede determinar su origen, su ambiente sedimentario y su historia geológica, permitiendo una discriminación entre dos o tres posibles ambientes.

Generalmente una facies esta rodeada por otras, que a su vez están relacionadas con ella. Esto significa que un ambiente determinado las facies no están distribuidas al azar, sino que constituyen una asociación o secuencia previsible.

En un sentido amplio se denomina secuencia a la sucesión de eventos geológicos, procesos o rocas distribuidos en orden cronológico para mostrar su posición y edad con respecto a la historia geológica en su totalidad (glosario de geología 1980).

A esta definición se pueden añadir una serie de aspectos como el introducido por Lombard (1956) que define secuencia litológica como una serie de al menos dos unidades litológicas, que forman una sucesión natural sin ninguna interrupción importante a excepción de las superficies de estratificación. Se pueden agregar otros aspectos, como, secuencia granulométrica que corresponde a una evolución en el tamaño del grano sin cambio de mineralogía. Esta puede ser granocreciente o granodecreciente.

Una secuencia de facies corresponde a una serie de facies que pasan gradualmente de unas a otras, siguiendo el orden de sucesión de las facies, así tendremos un ritmo cuando se produzca la sucesión de dos secuencias iguales y un ciclo que sería la sucesión de dos secuencias de evolución opuesta.

Por último podemos hablar de secuencia lateral que es una evolución lateral o asociación de facies relacionadas, depositadas al mismo tiempo, en diferentes lugares del mismo ambiente y de forma continua o secuencia vertical que corresponde a una sucesión de términos superpuestos en relación al tiempo.

Por lo tanto la importancia del análisis secuencial está clara. La clave de este tipo de interpretaciones consiste en analizar todas las facies de manera conjunta y en el contexto general, ya que la secuencia en que aparecen proporciona tanta información como las propias facies. Por lo tanto el estudio de la distribución y asociación de las secuencias vertical y lateral es el único modo de establecer el ambiente de depósito.

La importancia de los parámetros sedimentológicos para la reconstrucción de un ambiente deposicional está, por tanto, bien establecida.

6.1 INTRODUCCIÓN

El procedimiento que se va a emplear está basado en la definición y análisis de secuencias estratigráficas de alta resolución (Homewood et al., 1992). La definición de estas secuencias estratigráficas se basa en la identificación de unidades estratigráficas que reflejan variaciones del nivel de mar en ambientes marinos o variaciones del nivel-base en ambientes continentales. Mientras que el reconocimiento de estratos marinos es relativamente fácil, identificar y correlacionar eventos continentales se presenta como un proceso más complicado.

Este procedimiento parte del análisis de la frecuencia de las fluctuaciones de este nivel-base en sedimentos continentales. Este nivel es una superficie teórica bajo la cual se acumulan sedimentos y por encima de ella se produce erosión (Wheeler and Murray, 1957; Schumm, 1993).

La respuesta a los cambios del nivel base determina una arquitectura estratigráfica a escala de ciclos sedimentarios. Estas unidades de variación del nivel-base están controlados por variaciones en capacidad espacial de los sedimentos (Accomodation space “A”) y aporte de sedimentos (Sediment supply “S”), cada uno de estas unidades determina la facies sedimentaria de una unidad estratigráfica (Jervey, 1988).

El nivel base descendente es el resultado de una disminución espacial y/o un incremento en el aporte de sedimentos. La unidad que define corresponde a periodos de erosión o tránsito (superficies de erosión, desarrollo de paleosuelos, canales amalgamados, depósitos de lago) es decir periodos de baja preservación de facies.

Por el contrario el nivel base ascendente es el resultado del aumento de la capacidad espacial y/o una disminución del aporte de sedimentos, por lo tanto la unidad que define se corresponde con periodos de agradación (buen desarrollo de secuencias fluviales hasta un episodio máximo de inundación representado por una llanura de inundación o sedimentación lacustre) se definen como periodos de alta preservación de facies.

Los sedimentos acumulados durante un ciclo de unidades nivel-base completo con independencia del origen del ciclo, duración o simetría, describe la menor de las unidades estratigráficas (Van Wagoner et al., 1990; Mitchum et al., 1991) que pueden ser correlacionadas regionalmente y se denominan secuencias genéticas estratigráficas (Cross, 1988; Galloway, 1989).

Por definición las secuencias genéticas van de unos metros a decenas de metros y son reconocibles por patrones regulares y recurrentes en sucesiones de facies en cada ambiente. Una secuencia genética se interpreta como un limite temporal de una unidad rocosa ya que consiste en un sucesión de facies vinculadas en el espacio y en el tiempo a una acumulación de sedimentos.

Por lo tanto estas secuencias genéticas proporcionan información estratigráfica de la acumulación de sedimentos durante un ciclo completo (ascendente-descendente) de nivel base, por ejemplo aumento-descenso de la capacidad espacial de sedimentos o entre superficies máximas de inundación que son fácilmente correlacionables con depósitos aluviales continentales (Bourquin et al., 1998).

A partir del analisis de la sucesion de estas secuencias geneticas se pueden definir diferentes escalas de ciclos estratigraficos. Incrementando la duracion y escala de estos ciclos estratigraficos se definen sets de secuencias geneticas, ciclos menores y ciclos mayorees (Bourquin et al., 2006)

6.2 METODOLOGÍA PROPUESTA

Con el objetivo de profundizar en el siempre complejo conocimiento sedimentológicos y geológico global de las cuencas detríticas continentales, se va a desarrollar una metodología de análisis de medios sedimentarios a partir de los datos que suministra la testificación geofísica convencional de sondeos hidrogeológicos.

El primer paso va a consistir en dividir el sondeo en función del grado de variación de sus parámetros geofísicos, principalmente la resistividad, obteniendo así una serie de unidades caracterizadas por mantener una evolución continua y progresiva entre dos valores extremos. Estas unidades indican la variación del tamaño de grano y su carácter, positivo (granodecreciente) o negativo (granocreciente) pudiendo definir entonces secuencias lito-energéticas.

La agrupación de estas secuencias lito-energéticas" en función de los patrones de aparición va a subdividir el sondeo en "macrosecuencias" con un claro carácter sedimetológico. El objetivo del análisis y correlación de estas macrosecuencias es analizar su asociación vertical con otras macrosecuencias y por lo tanto poder deducir su evolución lateral, es decir reconstruir los modelos que ayudaran a definir los ambientes sedimentarios.

Por último se debe profundizar en la información crono y litoestratigráfica de la zona a analizar y comprobar la correspondencia entre las macrosecuencias encontradas y su carácter enérgetico con el modelo geológico de la cuenca, es decir comprobar si existe similitud, tanto en número como en características, con los ciclos estratigráficamente reconocidos.

En el caso de conseguir efectuar un análisis secuencial de tendencias y una correlación de macrosecuencias que encaje suficientemente en el modelo geológico de la cuenca, se puede admitir que el método es capaz de dividir un sondeo en unidades con significado geológico propio.

Por último y en función de los resultados obtenidos, se podrían incluir los criterios seguidos en esta metodología y las reglas que dicho conocimiento implica, en un sistema experto.

6.2.1 Secuencialización

Este proceso consiste en identificar unidades menores sedimentarias, relacionadas con variaciones del medio deposicional, en términos de secuencias genéticas.

En este caso se van a definir secuencias lito-energéticas controladas por las variaciones energéticas del medio de sedimentación que estarán caracterizadas por la variación del tamaño de grano de los sedimentos y por el volumen de estos.

En función de estos factores podemos definir dos tipos de secuencias: Secuencia positiva o granodecreciente y secuencia negativa o granocreciente. La sucesión de dos de estas secuencias en evolución opuesta (positiva-negativa) va a definir una secuencia genética relacionada con evolución energética del medio o secuencia lito-energéticas.

Por lo tanto podemos definir secuencia lito-energética como un conjunto de niveles o capas caracterizado por la variación progresiva del tamaño de grano o litologías existentes y por el volumen de sedimentos o espesor de las mismas.

El proceso de secuencialización va a consistir por tanto en dividir el sondeo en estas secuencias litoenergéticas en función del grado de variación de sus parámetros geofísicos, principalmente la resistividad, obteniendo unidades caracterizadas por mantener una evolución continua y progresiva entre dos valores extremos.

Para determinar las secuencias de los distintos tramos se efectúa un análisis estadístico del registro inicial de resistividad. El tipo de ventana elegido para realizar este estudio, es de anchura fija igual a 10 veces el espesor medio de las capas del sondeo que en los sondeos de estudio corresponde a 25 metros, esta elección se adoptó después de probar tanto ventanas fijas de distintos espesores entre 10 y 50 metros como ventanas acumuladas.

Una vez elegido el tipo de ventana se realiza un análisis de las pendientes a partir del estudio de la variable valor medio del registro inicial para lo cual se realiza un suavizado y posteriormente un estudio de puntos de inflexión. A partir del registro segmentado se puede evaluar la tendencia evolutiva de estos definiendo secuencias granodecrecientes o granocrecientes en función del carácter positivo o negativo de éstas. La asociación de secuencias de evolución opuesta define una secuencia energética.

La caracterización de estas secuencias se efectúa mediante la asignación del rango de la variables estudiadas de modo éstas se normalizan de 0 a 100% respecto al rango total del registro inicial tomando los cuatro tamaños de grano más característicos: arcillas, arcillas-arenosas, arenas y gravas.

En la figura 6.2 se presenta un ejemplo del proceso de secuencialización lito-energética realizado en un tramo del sondeo CB-7. La media de secuencias litoenergéticas definidas para el conjunto de los sondeos es de 15 con espesores medios de 15-20 metros aunque en algunas se alcanzan espesores de hasta 50 metros.

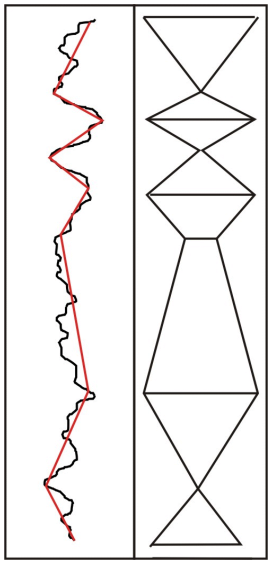


Figura 6.1: Proceso de secuencialización en el sondo CB-7

6.2.2 Determinación de Macrosecuencias

Las secuencias energéticas fueron definidas como las unidades de menor entidad sedimentológica . En cuencas detríticas multicapa y de cara a realizar macrocorrelaciones de unidades que permitan dar un enfoque geológico regional es necesaria la división de sondeos en unidades sedimentológicas de orden mayor.

Incrementando la duración y escala de estas secuencias energéticas a partir del análisis de la distribución y asociación de estas secuencias en la vertical (elemental, meso y megasecuencias) se pueden definir ciclos sedimentarios, con los que encontrar la clave relacional entre los tramos geofísicos definidos, con los datos geológicos relevantes.

Por lo tanto el siguiente paso del proceso propuesto es realizar un estudio de patrones de repetición de estas secuencias para realizar un nuevo agrupamiento de secuencias con lo que tendremos el sondeo subdividido en “macrosecuencias” con un claro carácter sedimetológico.

En la interpretacion de diagrafias los tramos fueron definidos como un conjunto de niveles o capas que mantienen una determinada homogeneidad o armonía entre sus espesores y secuencias así como respecto a los valores de sus parámetros geofísicos, pudiendo diferenciarse estadísticamente de otro conjunto de capas.

La definición de macrosecuencia implica variaciones graduales por lo que se definen como un conjunto de secuencias que presentan variaciones graduales de una o varia de las características que las definen: espesores, tendencias positivas o negativas, rango de tamaño de grano.

Por las características a partir de las cuales se han definido unos y otras es lógico suponer que va a existir similitud entre el número de tramos y macrosecuencias en cada uno de los sondeos aunque no en los limites. Además lógicamente los tramos impermeables van a coincidir con el fin de secuencias negativas e inicio de secuencias positivas (granulometrías más finas) mientras que los tramos más arenosos coincidirán con las granulometrías más gruesas del muro de secuencias positivas y techo de las negativas.

Por otro lado, a partir del tipo de transición existente entre una macrosecuencia y otra (contacto gradacional o neto) se podría determinar el significado de estos cambios: transición de un termino a otro, o una interrupción en la secuencia sedimentaria o bien una falla, discordancia, etc...

En el anexo 6 se muestran gráficamente la secuencialización y los criterios empleados en la determinación de macrosecuencias para cada unos de los sondeos. En la figura 6.2 se muestra a modo de ejemplo los resultados del proceso en el sondeo CB-9.

A partir del análisis lateral de estas macrosecuencias se han identificado un total de 7 macrosecuencias en la zona norte y 6 en la oeste cuya tendencia energética se recogen en la tabla 6.1:

Tabla 6.1: Caracteristicas de las Macrosecuencias

Macrosecuencia	Tendencia Energética
I	Negativa (granocreciente)
II	Positiva (granodecreciente)
III	Negativa (granocreciente)
IV	Positiva (granodecreciente)
V	Negativa (granocreciente)
VI	Positiva (granodecreciente)
VII	Alternante

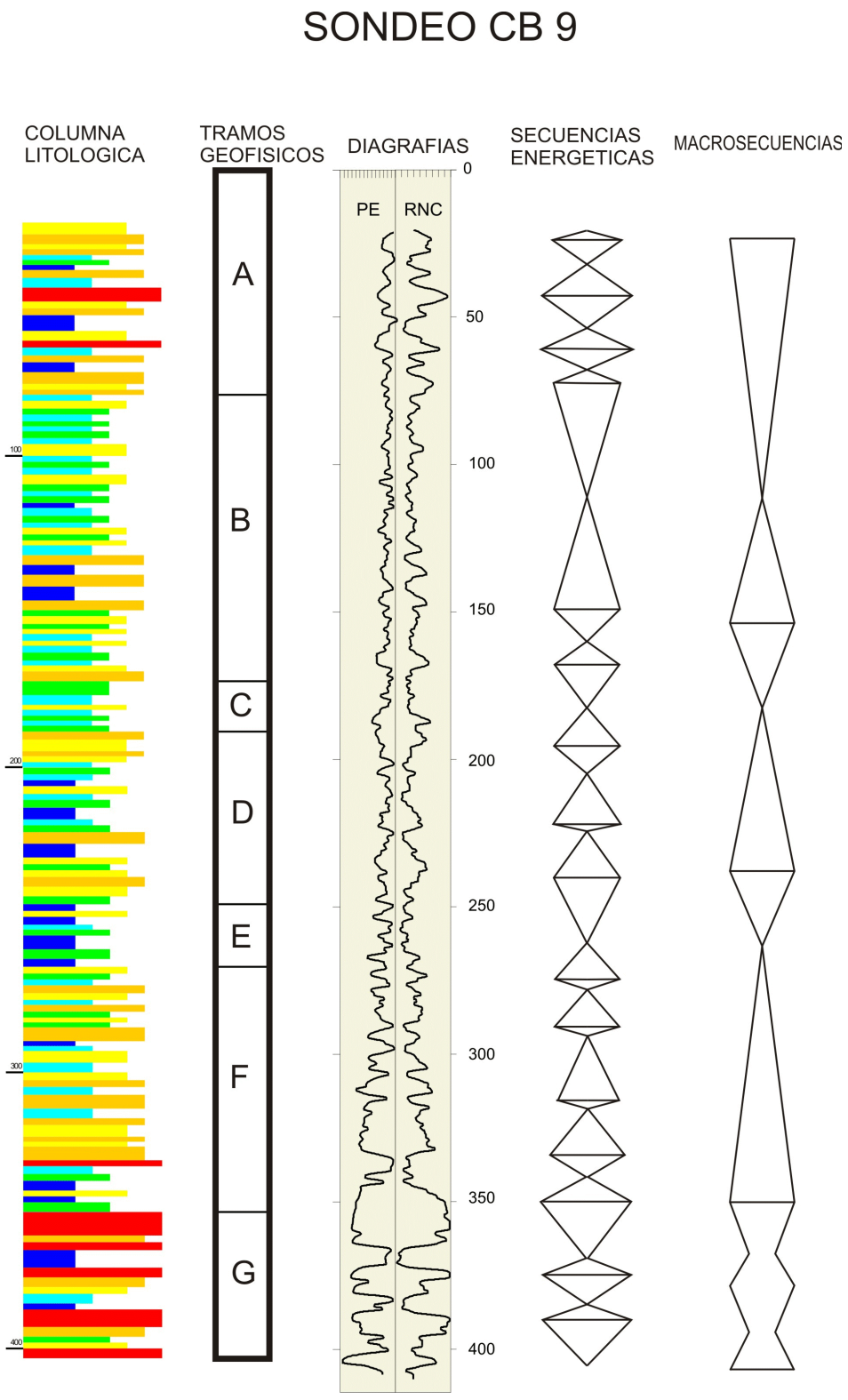


Figura 6.2: Secuencialización y macrosecuencias en el sondeo CB-9

6.3 IDENTIFICACIÓN GEOLÓGICA

La correlación geofísica contempla aspectos de índole netamente geológicos (concordancia de la asignación litológica de las diagrafías entre los fragmentos correlacionados), el paso entre la correlación geofísica y la correlación geológica es un proceso añadido que incluye conceptos como la pertenencia a una misma unidad litoestratigráfica, la correlación crono-estratigráfica o el establecimiento de parasecuencias deposicionales.

Por lo tanto se debe profundizar en la información crono y litoestratigráfica de la zona a analizar y comprobar la correspondencia entre las macrosecuencias encontradas y su carácter enérgetico con el modelo geológico de la cuenca, es decir comprobar si existe similitud, tanto en número como en características, con los ciclos estratigráficamente reconocidos.

De acuerdo con los datos geológicos recopilados y las profundidades alcanzadas por los sondeos, estos cortan fundamentalmente sedimentos pertenecientes a la Unidad Inferior y Unidad Intermedia del Mioceno. Las unidades Neógenas representan ciclos sedimentarios continuos separados por discontinuidades de orden mayor. La discordancia Intraaragoniense marca el límite entre las Unidades Inferior e Intermedia

Estos sedimentos corresponden a depósitos continentales de carácter endorréico árido, alimentados por abanicos aluviales procedentes de los bordes de la cuenca que mediante facies de transición complejas, facies intermedias, pasa a sedimentos químicos lacustres hacia el centro de la cuenca.

Dada la proximidad de todos los sondeos estudiados al área fuente, y el hecho de no haber encontrado en ninguno de ellos materiales propios de las facies químicas o de las facies intermedias sitúa el área de estudio dentro de las facies detríticas de ambas unidades.

Las facies detríticas de la Unidad Inferior y de la Unidad Intermedia del Mioceno son las denominadas "Formación Tosco" o "Formación Madrid" respectivamente. Geológicamente, la "Formación Madrid" se superpone a la "Formación Tosco", coincidiendo ambas, a grandes rasgos, espacialmente. Cada una de las unidades corresponde a una megasecuencia de carácter positivo, presentando en conjunto una tendencia progradante.

En el sondeo denominado "Tres Cantos" de la bibliografía, la discordancia Neocastellana, límite inferior de la "formación Tosco", se encuentra a una profundidad de 982 m. Ninguno de los sondeos estudiados supera esta profundidad, por lo que ninguno sobrepasa la "Formación Tosco".

Teniendo presentes todas estas consideraciones y el estudio geofísico realizado, tanto a nivel de sondeo como a nivel de correlación, así como el análisis sedimentológicos efectuado podemos identificar y correlacionar las macrosecuencias y tramos geofísicos definidas con las formaciones geológicas existentes en el área.

Litológicamente La Formación Tosco está constituida por una alternancia monótona de arcosas, generalmente muy arcillosas, y arcillas arenosas, de tonos pardo-amarillentos y rojizos que se estructuran en secuencias granodecreciente arcosa-arcillas arenosas.

Dada la litología de la formación y que esta unidad representa una megasecuencia de carácter positivo se puede correlacionar con las macrosecuencias II a VII representando cada una de estas episodios o ciclos sedimentarios de orden menor.

La Formación Madrid, en general presenta las mismas características que en la Unidad Inferior, aunque existen algunas diferencias como son una menor proporción de matriz lutítica. La "Formación Madrid", más arenosa, se superpone a la "Formación Tosco", más arcillosa.

La "Formación Madrid" se correlaciona con la macrosecuencia “I” que presenta en la mayoría de los sondeos una tendencia negativa. Dado el poco espesor reconocido de esta formación por los sondeos esta macrosecuencia se puede interpretar como los últimos episodios sedimentarios del ciclo sedimentario que representa esta formación.

En la figura 6.3 se muestra una figura esquemática de la columna tipo definida a partir de la caracterización geofísica, litológica, hidrogeológica y sedimentológica y sus correlaciones con la geología de la zona.

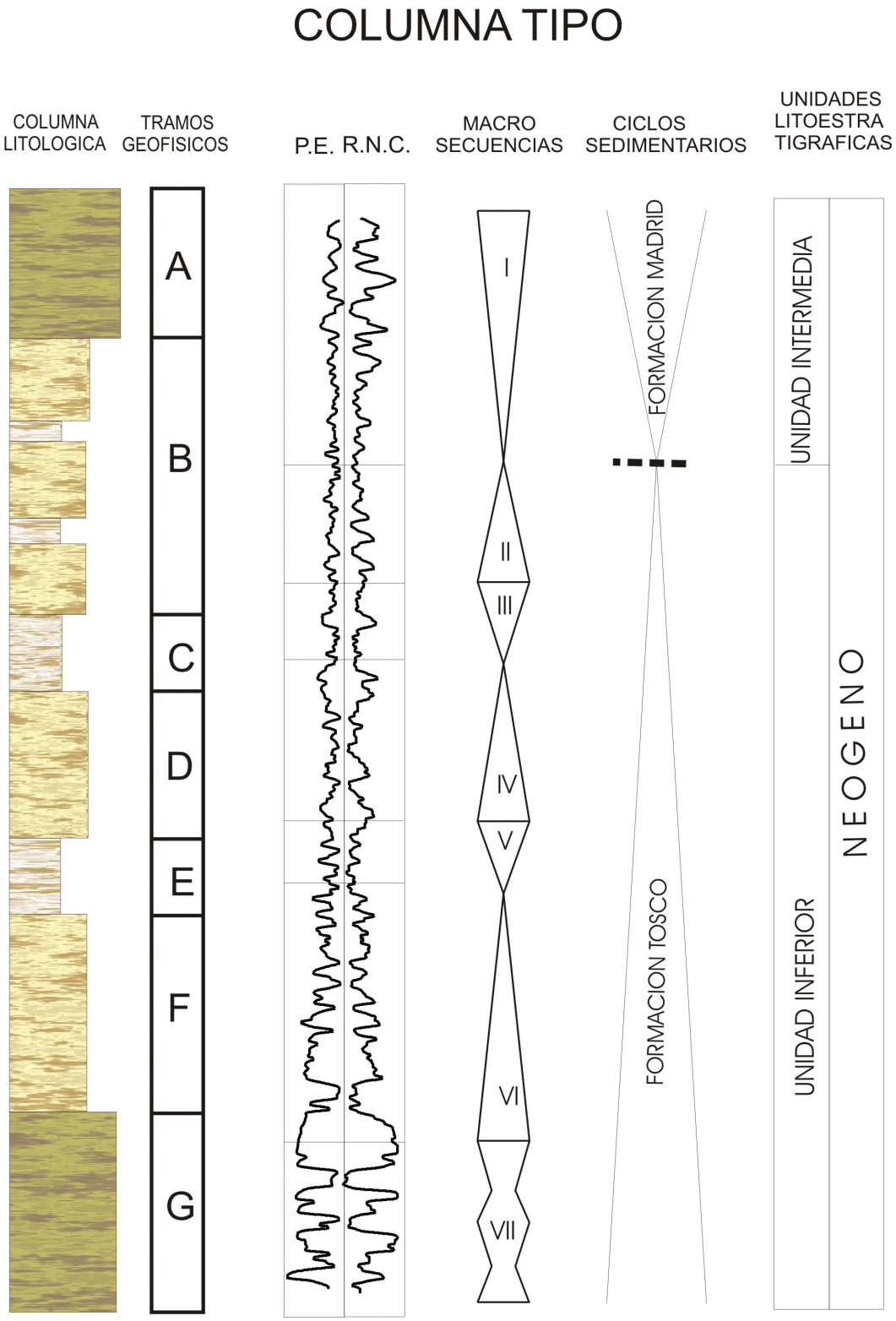


Figura 6.3: Columna Tipo

CAPÍTULO 7:

CONCLUSIONES Y LINEAS DE FUTURO

7.1 CONCLUSIONES

El objetivo que se planteaba en esta tesis era comprobar si la interpretación y correlación de registros geofísicos obtenidos en sondeos de captación de aguas subterráneas mediante sondas convencionales se perfila como un método capaz para el estudio geológico e hidrogeológico de cuencas detríticas continentales.

Los parámetros necesarios para la interpretación de diagrafías como son los valores de conductividad del lodo de perforación y, en menor medida, de temperatura y densidad a lo largo del sondeo, se pueden estimar en los casos donde no se disponga de los registros de dichos parámetros. Esta estimación es vital para el estudio de bases de datos antiguas y en la práctica común de la mayoría de los sondeos en los que se realizan diagrafías dentro de España.

Aunque la información aportada con estas estimaciones es elevada el registro de estos parámetros principalmente el de conductividad aumentaría y mejoraría considerablemente los resultados. .

Los procesos desarrollados para el tratamiento de las diagrafías mejoran mucho la calidad de los resultados obtenidos.

Tras los procesos de interpretación descritos se obtiene información cuantitativa y litológica de las capas que atraviesa el sondeo con estos datos pueden deducirse las características constructivas del sondeo y ubicarse las zonas filtrantes para optimizar la explotación del sondeo.

Los datos cuantitativos de permeabilidad y calidad de agua obtenidos tras la interpretación en cada uno de los sondeos son acordes con el aprovechamiento hidráulico de los sondeos una vez en explotación, así como la interpretación litológica con la columna de ripios levantada en campo.

El conocimiento del contenido en arcilla no sólo es importante, en sí mismo, como información de carácter hidrogeológico, sino que es de vital importancia para la interpretación de otros registros geofísicos afectados por la presencia de arcilla, y de los que se pueden deducir otras características útiles para la explotación del sondeo, como son la calidad química del agua de las formaciones y la permeabilidad de los distintas capas atravesadas.

La posibilidad de conocer las características químicas del agua de los distintos niveles, permite tomar una serie de decisiones, previas a la puesta en marcha de sondeos de captación de agua subterránea, sobre las características constructivas de los mismos (tubería filtrante, cementación,...etc.) de cara a eliminar acuíferos cuyo aporte al conjunto del agua extraible puede empeorar la calidad de la explotación.

El proceso de correlación de sondeos ha permitido establecer la sección geofísica del subsuelo en la que se puede identificar la distribución y geometría de las formaciones acuíferas existentes en la cuenca. Con la información obtenida en el proceso de interpretación se pueden determinar las permeabilidad y calidad de agua para cada uno de estos niveles acuíferos es decir determinar las propiedades hidrológicas de los niveles acuíferos.

Esta información además de su propio interés es útil en los estudios de explotación y gestión de recursos hídricos de una cuenca, por la información que representa para la ubicación y planificación de sondeos en una región hidrogeológica determinada.

Con los procesos descritos para la identificación de secuencias lito-energéticas a partir de las diagrafías y su asociación en macrosecuencias es posible dividir de nuevo los sondeos en unidades con un marcado carácter sedimentológico.

A partir del estudio de la evolución vertical y lateral de las macrosecuencias se ha comprobado que existe similitud tanto en número como en características de éstas con los ciclos estratigráficamente reconocidos por lo que se puede admitir que el método es capaz de encontrar la clave relacional entre macrosecuencias y su carácter energético con ambientes sedimentarios.

Por lo tanto la metodología desarrollada para la interpretación y correlación de sondeos testificados mediante sondas convencionales (resistividades, potencial espontáneo y gamma natural) en sondeos realizados para captación de aguas subterráneas contribuye al máximo aprovechamiento de la información que proporcionan las diagrafías ya que se puede admitir que el método es capaz de dividir un sondeo en unidades con significado geológico e hidrogeológico propio.

7.2 LÍNEAS DE FUTURO

El uso de sondas de testificación menos convencionales aumentaría considerablemente la información hidrogeológica y geológica que proporcionan las diagrafías.

Con los registros de Flowmeter, se podría realizar una valoración de los aportes sectoriales para el estudio del comportamiento hidráulico de un sondeo, así como la optimización de la profundidad de colocación de la bomba y realizar así una valoración de las reservas hídricas y una adecuada gestión de los recursos hídricos subterráneos de la zona de estudio.

En este sentido sería interesante el análisis de las depresiones de niveles hídricos necesarios para producir la excitación de filtros inferiores, es decir la altura de los niveles propios de los distintos acuíferos de un sondeo.

Otro tipo de sondas como los perfiles de buzamiento de alta resolución podrían aumentar la información desde un punto de vista sedimentológico al poder identificar estructuras y texturas sedimentarias que ayudarían a definir ambientes sedimentarios.

Combinando los resultados de interpretación cuantitativa, litológica y sedimentológica procesados para varios sondeos en una cuenca, se puede construir una base de datos que podrá ser utilizada como referencia para el estudio de un nuevo sondeo en esa cuenca.

Por último, se podrían incluir los procesos matemáticos realizados para la caracterización de secuencias litoenergéticas y los criterios establecidos para la definición de macrosecuencias de forma interactiva y las reglas que dicho conocimiento implica, en un sistema experto.

Aunque ciertas herramientas matemáticas, como son el estudio de cadenas markovianas, pueden proporcionar información más allá de lo esperado desde un punto de vista geológico, el análisis sedimentario incluye algunos criterios que no sólo pueden contemplarse a nivel automático desde la óptica de sistemas expertos. Dichos sistemas expertos requieren tomar decisiones, por parte del usuario, basadas en conocimientos profundos sobre la geología del medio estudiado.

CAPÍTULO 8:

BIBLIOGRAFÍA

• ADISOEMARTA, P. S.; ANERSON, G.A.; FRAILEY, S.M. & ASQUITH, G.S. (2000): “Historical Use of m and a in Well Log Interpretation- Is Conventional Wisdom Bacswards?”. Permian Bsain Oil and Gas Recovery Conferencie Proceedings: Society of Petroleum Engineers, CD-ROM, 7 p.

• ALGER, R.P. (1966): "Interpretation of Electric Logs in Fresh Water Wells in Unconsolidated Formations". SPWLA. 7th Symposium.

• ALONSO SÁNCHEZ, T. (1986) - "Aplicación de las diagrafías a la estratigrafía y, en particular, a la investigación del carbón". Tesis doctoral, E.T.S.I. Minas, Universidad de Oviedo.

• ANDREWS, R.D. & SUNESON, N.H. (2000): “Interpretation of Surface and Subsurface Gamma-ray Profiles, Hartshorne Formation, Arkoma Basin, southeastern Oklahoma”. Oklahoma Geology Notes, v.59, nº2, 36-63

• ANSTEY, N.A. (1966): "Correlation Techniques, a Review". Journal of the Canadian Society of Exploration Geophysicists, vol. 2, 1–28.

• ARCHIE, G.E. (1942): “The Electrical Resistivity Logs as an Aid in Determining some Reservoirs Characteristics”. Trans. AIME 146, 54–62.

• BASEVILLE, M. y BENVENISTE, A. (1983a) - "Design and Comparative Study of some Sequential Jump Detection Algorithms for Digital Signals". I.E.E.E. Transactions on Acoustics, Speech, and Signals Processing vol 31, 521-535.

• BASEVILLE, M. y BENVENISTE, A. (1983b) - "Sequential Detection of Abrupt Changes in Spectral Characteristics of Digital Signals" I.E.E.E. Transactions on Information Theory vol 29, 709-724.

• BEAR, J. (1972): “Dynamics of Fluids in Porous Media”. Ed. Elsevier.

• BENÍTEZ, A. (1972): “Captación de Aguas Subterráneas”. (International Critical Tables, 1928-1929) pag: 618. Ed. Dossat, S.A. Madrid

• BESENECKER, M. y LILLICH, W. (1976) - "The Determining from non-Hydrogeological Data of Aquifer Separating Layers". Simposio de la Asoc. Int. Hidrogeólogos (Budapest).

• BETZLER, C.; PAWELLEK, T.; ABDULLAH, M. & KOSSLER, A. (2006): "Facies and Stratigraphic Architcture of the Korallenoolith Formation in North Germany (Lauensteiner, Ith Mountains)” Sedimentary Geology. Article in press (accepted 2 may 2006)

• BRANISA, F. (1974): "Filtering of Well-Log Curves". Geophysics, vol 39, 545–549.

• BRISTOW, J.G. CONAWAY, J.G. & KILLEEN, P.G. (1984): "Application of Inverse Filtering to Gamma-Ray Logs". Geophysics, vol 49, 1369–1373.

• CABLE, A.; MOTT, R. & SPEARING, M. (2000): " X-ray in-situ Saturation in Gas Consdesate Relative Permeability Studies". International Symposium Prooceedings: society of Core Analist, CD-ROM, 13 p.

• CAMBEFORT, H. (1962): "Lodos de Perforación: Perforaciones y Sondeos". Ed. Omega S.A. Barcelona pag: 54-72.

• CAROTHERS, J.E. (1968): "A Estatistical Study of the Formation Factor". The Log Analyst, vol 9 (5), 13–20.

• CONALLY, T.C. Y WILTSE, E.W. (1994): "Correlation of Ordovician Sandstones in Central Saudi Arabia". Al-Hussein, M.I., ed., Geo94, The Middle East Petroleum Geosciences, v 1: Gulf PetroLink, Manama, Bahrain, p. 321-333.

• CONAWAY, J.G. (1981): "Deconvolution of Gamma-Ray Logs in the Case of Dipping Radioactive Zones". Geophysics, vol 46, 198–202.

• CONAWAY, J.G. (1982): "Exact Inverse Filters for the Deconvolution of Gamma Ray Logs". Geoexploration, 18, 1–14.

• CRIPPS, A.C. & McCANN, D.M. (2000): "The Use of the Natural Gamma Log in Engineering Geological Investigations". Engineering Geology, v 55, p 313-324.

• CUSTODIO, E. LLAMAS, M.R. (1983): "Hidrología Subterránea". Ed. Omega.

• CHANDU, S.N. & SAHU, B.K. (1989): "Role of Statistics and Cross-plots in Zonation of Well Logs". Geophysical Research Bulletin, vol 27, 115–126.

• CHEN, H. C. & FANG, J. H. (1986): "A Heuristic Method for Optimal Zonation of Well Logs". Mathematical Geology, vol 18, 489–500.

• CHEN, Q. & XIE, S. (2000): "On Calculation of Grey Correlation Grade for Logs". Beijing Chapter Well Logging Technology; 445-447

.

• CHEN, X. (2001): "Archie Parameter Determination with Saturation Analisys Data". International Symposium Proceedings: society of Core Analist, CD-ROM, 5p.

• CHOUINARD, P.N. & PAULSON, K.V. (1988): "A Markov-Gauss algorithm for blocking well logs". Geophysics, vol 53, nº 8, 1118–1121.

• CHUNDURU, R.; FROST, E.; MEZZATESTA, A. & ZHANG, Z. (2002): " Petrophysically Constrained Inversion of Resistivity Logging Data". Petrophysics 82-92.

• CHUNDURU, R.; FROST, E.; CHAKRAVARTHY, S.; BUSCH, R.; ZHANG, Z. & MEZZATESTA, A. (2000): "Integrated Bed Boundary Detecction from Borehole Measurements". SPWLA 41st Annual Logging Symposium Transactions; paper WW, 1-8

• DAVIS, J.C. (1973): "Statistics and Data Analysis in Geology". John Wiley, New York.

• DELFINER, P. SERRA, O. y PEYRET, O (1984) - "Automatic Determination of Lithology from Well Logs". 59th Ann. Tech. SPE AIME, Houston, TX, SPE 13290, 8 pp.

• DÍAZ CURIEL, J. DOMÍNGUEZ, S. NAVAS, J. & ROZYCKI, A. (1986): "La Cross-Asociación en la Correlación Litológica de Registros Geofísicos y Muestras de Sondeos". Congreso Nacional de Geología. Granada (España).

• DÍAZ CURIEL, J. MARTÍN, D. & MALDONADO, A. (1995): "Correlación de Sondeos mediante Diagrafías. Aplicación al Tercio Oeste de Madrid". Tierra y Tecnología, nº 10.

• DÍAZ CURIEL, J.M. (1996): "Interpretación y Correlación Automáticas de Diagrafías Geofísicas. Aplicación a la Hidrogeología en el Sur de la Cuenca del Duero". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.

• DÍAZ CURIEL, J.; MIGUEL, M.J.; CAPARRINI, N. y DOMINGUEZ, S.(1997a): "Corrección teórica del registro de gamma natural para la determinación del contenido en arcillas de las capas atravesadas por un sondeo". Hidrogeología nº 14, pp. 61-75.

• DÍAZ CURIEL, J.; MIGUEL, M.J.; DOMINGUEZ, S. y CAPARRINI, N. (1997b): "Relación entre porosidad y permeabilidad para litologías de permeabilidad elevada en el sur de la Cuenca del Duero". Hidrogeología nº 14, pp. 19.

• DÍAZ CURIEL, J.; MARTÍN, D. A; CAPARRINI, N. y MALDONADO, A. (1997c): “Estimación Indirecta de Parámetros del Sondeo para la Interpretación de Diagrafías Geofísicas”. Tecnología del Agua nº 166, pp 29-43. Ed. Elsevier

• DÍAZ CURIEL, J.; MIGUEL, M.J.; CAPARRINI, N. y DOMINGUEZ, S.(1998a): "Determinación automática de las capas paramétricas y de los tramos de diagrafías geofísicas en sondeos". Tierra y Tecnología nº 18, pp. 78-87. ICOG.

• DÍAZ CURIEL, J.; MIGUEL, M.J.; DOMINGUEZ, S. y CAPARRINI, N. (1998b): - "Correlación automática de sondeos mediante diagrafías en el sur de la Cuenca del Duero". Boletín Geológico y Minero Vol. 109 nº 3, pp. 227-242.

• DÍAZ CURIEL, J.; MIGUEL, M.J.; DOMINGUEZ, S. y CAPARRINI, N. (1998c): - "Utilización de diagrafías para la caracterización del agua de las formaciones en sondeos de captación de agua subterráneas". Tecnología del Agua nº 179, pp. 17-27.

• DÍAZ CURIEL, J.; MIGUEL, M.J.; CAPARRINI, N. y MARTÍN, D. (1998e): "Optimization of Water Wells through Conventional Logs". IV Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society (European Section). Barcelona (España). 14-17, pp. 237-241.

• DÍAZ CURIEL, J.; MARTÍN, D. MIGUEL, M.J.; CAPARRINI, N. y MALDONADO, A. (1999): "Control de calidad en sondeos de captación de agua mediante registros continuos". Jornadas sobre actualidad de Técnicas Geofísicas aplicadas a la Hidrogeología. Granada.

• DOMÍNGUEZ de la RASILLA, S. (1986a) - "Resolutividad de los Parámetros Geofísicos (...) en la Prospección Hidrogeológica de Cuencas Continentales Detríticas". Tesis de Licenciatura. Fac. CC Geológicas U.C.M.

• DOMÍNGUEZ DE LA RASILLA, S. MALDONADO, A. NAVAS. J. & ROZYCKI, A. (1986b): "Obtención de Rw a partir del Registro de P.E. Influencia del Tipo de Lodo. Aplicación al Sur-Oeste de la Cuenca del Duero". Seminario sobre la Utilización de Diagrafías en Minería, com, 18. Oviedo.

• DOLL, H.G. (1948): "The S.P. Log Theoretical Analysis and Principles of Interpretation". Transactions AIME, 179, 146–185.

• DUNLAP, H.F. & HAWTHORNE, R.R. (1951): "The Calculation of Water Resistivities from Chemical Analysis". Petroleum Technology, March.

• EVERS, J.F. & IYER, B.G. (1975): "A Statistical Study of the SP Log in Fresh Formations of Northern Wyoming". SPWLA 16th Symposium.

• FAN, Y.; DENG, S.; ZHOU, C. & ZHOU, F. (2002): “Theoreticala and Experimental Studies of Membrane Potential in Shaly Sands for Improved Rw Calculation”. SPWLA 43rd Annual Logging Symposium Transactions; paper AAA, 1-8.

• FANG, J.H. CHEN, H.C. SHULTZ, A.W. & MAHMOUD, W. (1992): "Computer-Aided Well Log Correlation". AAPG Bulletin, vol 76, nº 3, 307–317.

• FOSTER, M.R. HICKS, W.G. & NIPPER, J.T. (1962): "Optimum Inverse Filters with Shorten the Spacing of Velocity Logs". Geophysics vol 27, 317–326.

• FROMYR, E. & RANDAZZO, S. (2000): “The Use of Four-Component data for imaging lithology prediction, and fluid discrimination, three casse estudies”. 32nd Annual Offshore Technology Conference Proceddings, v 2, Plataform and Marine System Design: Society of Petroleum Engineerse, p 181-186.

• GARNHAM, L. (2001): “The Application of Image Analysis to Improve Permeability Prediction”. Petrophysics 457-467.

• GEARHART-OWEN Ind. (1976): "Formation Evaluation Data Handbook". P.O. Box 1936 Fort Worth, Texas 76101.

• GILL, D. (1970): "Application of a Statistical Zonation Method to Reservoir Evaluation and Digitized Log Analysis". American Association of Petroleum Geologists Bulletin 54, 719–729.

• GLASSTONE, S. & SESONSKE, A. (1990): "Ingeniería de Reactores Nucleares". Ed. Reverté S.A. (Barcelona).

• GOLDBERG, D. & MELTSER, A. (2001): “High Vertical Resolution Spectral Gamma Ray Logging: A New Tool Development and Field Test Results” . SPWLA 42nd Annual Logging Symposium Transactions; paper JJ, 1-13.

• GOLDSTEIN, H. & WILKINS, J.E. (1954): "Calculations of the Penetration of Gamma Rays". U.S. Atomic Energy Commission Report 3075.

• GÓMEZ–RIVERO, O. (1977): “Some Considerations about the Possible Use of the Parameters a and m as a Formation Evaluation Tool through Well Logs”. 18th Annual Logging Simp. SPWLA Trans. J, 1–24.

• GONDOUIN, M. & TIXIER, M.P. & SIMARD, G.L. (1957): "An Experimental Study of the Influence of the Chemical Composition of Electrolytes on the S.P.". Journal Petroleum Technology, Feb, vol 10, 8.

• GONZÁLEZ, R. (1991): “Investigación Hidrogeofísica en los Sondeos de Agua Subterránea del Tercio Sur de la Cuenca del Duero”. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

•GORDON, A.D. & REYMENT, R.A. (1979): "Slotting of Borehole Sequences". Journal of Mathematical Geology, vol. 11, 309–327.

• GUO, P. PEPLOW, D.E. & GARNER, R.P. (1995): "Natural Gamma-Ray Log Interpretation-semi-empirical, Principal Components Analysis, and Monte Carlo Multiply-Scattered Components Approaches". Nuclear Geophysics, vol. 9, nº 4, p. 305–318.

• HALLENBURG, J.K. (1971): "A Resume of Spontaneous Potential Measurements". SPWLA 12th Symposium.

• HARBAUGH, J.W. & MERRIAM, D.F. (1968): "Computer Applications in Stratigraphic Analysis". John Wiley, New York.

• HARIMA, Y. SAKAMOTO, Y. TANAKA, S. & KAWAI, M. (1986): "Validity of the Geometrical Progression Formula in Approximating Gamma-Ray Buildup Factors". Nuclear Science and Engineering, v 94, 24–35.

• HAWKINS, D.M. & MERRIAM, D.F. (1973): "Optimal Zonation of Digitized Sequential Data". Journal of Mathematical Geology vol 5, 389–395.

• HAWKINS, D.M. & MERRIAM, D.F. (1974): "Zonation of Multivariate Sequences of Digitized Geologic Data". Journal of Mathematical Geology vol 6, 263–269.

• HAWKINS, D.M. & TEN KROODEN, J.A. (1979): "Zonation of Sequences of Heteroscedastic Multivariate Data". Computer and Geosciences, vol 5, 189–194.

• HAZEN, A. (1893) – "....." 24th Annual Report. Mass. State Board of Health. Referencia tomada de BENÍTEZ, A. (1972).

• HENTY, J.D. & CUNNINGHAM, W.A. (1962): "A New Method for Determination Water Resistivity from the Spontaneous Potential Curve". A.I.M.E. paper SPE, 437, Oct.

• HERRIK, D.; KENNEDY, W.D. & YAO, T. (2001): "Calculating Water Saturation in Electrically Anisotropic Media" Beijing Chapter Well Logging Technology; 250-260

• HUBBELL, J.H. (1982): "Photon Mass Attenuation and Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV". International Journal Application Radiation Isotopes, v 33, 1269–1290.

• JACKSON, P.D., TAYLOR, D. y STANFORD, P.N. (1978): "Resistivity–Porosity–Particle Shape Relationships for Marine Sands". Geophysics, vol 43, 1250–1268.

• JANNAIRE, M.M. (1982): "Lodos de Sondeo y Perforación Minera". Tecniterrae 8,46 pp 79-92.

• JIMÉNEZ SALAS, J.A. y JUSTO ALPAÑES, J.L. (1975): "Geotecnia y Cimientos", Vol. 1, Propiedades de los Suelos y de las Rocas. Ed. Rueda.

• JONES, P.H. & BUFORD, (1951): "Electric Logging Applied to Ground–water Exploration". Geophysics, vol 16, 115–139.

• JORGENSEN, D.G. (1991): "Estimating Geohydrologic Properties from Borehole Geophysical Logs". Ground Water Monitoring Review, vol 11, nº 3, 123–129.

• KAMEL, M. H. & MABROUK, W. M. (2000): "Matrix Identification Models-an Aproach for Interpreting Complex Lithology Using Well Logging Techniques with Reference to the Main Provinces in Egypt". Society of Professional Well Log Analists; Japan Chapter, 6th Well Logging Symposium of Japan, Proceedings; paper E, 1-14.

• KATAHARA, K.W. (1995): "Gamma Ray Log Response in Shaly Sands". The Log Analyst, vol. 36, no. 4, p. 50–55.

• KASSENAAR, J.D.C. (1989) - "Automated Classification of Geophysical Well Logs". University of Waterloo. Ontario.

• KEMP, F. (1982): "An Algorithm for the Stratigraphic Correlation of Well Logs". Journal of Mathematical Geology, vol. 14, 271–285.

• KERZNER, M.G. (1983): "An Analytical Approach to Detailed Deep Determination Using Frequency Analysis". Trans. S.P.W.L.A, 23 Logging Symposium.

• KRUMBEIN, W.C. y SLOSS, (1955): "Stratigraphy and Sedimentation". Traducido al español por UTEMA (Méjico, 1969).

• KWON, B.D. & RUDMAN, A.J. (1979): "Correlation of Geologic Log with Spectral Methods". Journal of Mathematical Geology, vol. 11, 373–390.

• LANAJA, J.M. (1987): “Síntesis de la Geología y Geofísica en la Exploración Petrolífera de la Cuenca del Tajo”. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Minas de Madrid

• LANNING, E.N. y JOHNSON, D.N. (1983) - "Automated Identification of Rocks Boundaries: An Application of the Walsh Transform to Geophysical Well-log Analysis". Geophysics vol 48, 197-205.

• LINDNER-LUNSFORD, J.B. & BRUCE, B.W. (1995): "Use of Electric Logs to Estimate Water Quality of Pre-Tertiary Aquifers". Ground Water, vol 33, nº 4, 547–555.

• LIU, H.H. & FU, K.S. (1982): "A Syntactic pattern recognition Approach to Seismic Discrimination". Geoexploration, vol 20, 183–196.

• LORENZ, C.; LEFAVRAIS, A.; LORENZ, J; MARCHAND, D. Y MILLON, R. (1991): “ Calage stratigraphique des Diagraphies du Jurassique du Sud du Bassin Parisien a partir du Sondage de Sancerre-Couy”. Bulletin Societe Geologique de France, nº 5, 947-952.

• LOWE, R. B.; PIERCE, C. I. & SAWYER, W.K. (2001): “Electrical and Hydraulic Flow Properties of Appalachian Petroleum Reservoir Rocks”. Petrophysics 71-82.

• MALONEY, D.R.; WEGENER, D.C. & ZORNES, D.R. (2000): “Significance of Absorption Coefficients when Determining in Situ Core SatuRations by X-ray Scans”. International Symposium Proceedings: Society of Core Analist, CD-ROM, 12p.

• MANN, C.J. & DOWELL, T.P.L. (1978): "Quantitative Lithostratigraphic Correlation of Subsurface Sequences". Computers and Geosciences, vol. 4, 295–306.

• MARTÍN SÁNCHEZ, A.; DÍAZ CURIEL, J.; CAPARRINI, N. y MIGUEL PÉREZ, M.J. (1999): "Correlación mediante técnicas convencionales de testificación en el sector norte de la Comunidad de Madrid". Jornadas sobre actualidad de Técnicas Geofísicas aplicadas a la Hidrogeología. Granada.

• MATHEWS, D.M. & BASSIOUNI, Z. (1984): "Resistivity - Spontaneous Potential Crossplot for Enhanced Interpretation of Well Logs". The Log Analyst, July-August, pp. 14–19.

• MCATEE, CLAESSON AND HOLDER (1983): “Measurement of Viscosity of Clay and Organo-Clay Dispersions under High Pressure”. Clays and Clays Minerals, vol. 31, No 1, pp 75-78.

• McCONNELL, C.L. (1983): "Spontaneous Potential Corrections for Ground-water Salinity Calculations; Carter County, Oklahoma, USA". Journal of Hydrology, v. 65, p. 363–372.

• MÍGUEZ MARÍN, I. (1980): “Aplicación de Algunos Métodos Geológicos para el Cálculo de la Permeabilidad en el Terciario Detrítico de la Fosa del Tajo. Tesis de Licenciatura Universidad Complutense de Madrid.

• MOGHADDAMJOO, A. (1989): "Constraint Optimum Well-Log Signal Segmentation". IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol 27, nº 5, 633–641.

• MOORE, E.J. (1966): "A Graphical Description of New Methods for Determining Equivalent NaCl Concentration from Chemical Analysis" SPWLA, 7th Symposium.

• MORROW, N.R. HUPPLER, J.D. y SIMMONS A.B. (1969): "Porosity and Permeability of Unconsolidated Upper Miocene Sands from Grain Size Analysis". Jour. Sed. Petrology, vol 39, 312–321.

• NELSON, P. H. (2000): " Evolution of Permeability-Porosity trends en sanstones" SPWLA 41ST Annual Logging Symposium Transaction, paper AA, 1-25.

• PAPE, H. RIEPE, L. y SCHOPPER, J.R. (1985): "Permeability of Porous Rock Derived from Surface Effects". 47th EAEG Meeting, Budapest, June 1985.

• PAVLIDIS, T. (1980) - "Linguistic Analysis of Waveforms in Pattern Recognition and Artificial Intelligence". C.H. Chen Ed. 389-398, Academic Press, New York.

• PETTIJHON, F.J. (1976): "Rocas Sedimentarias". Ed. Universitaria (Buenos Aires).

• PEPLOW, D.E. GARDNER, R.P. & VERGHESE, K. (1994): "Sodium Iodide Detector Response Functions Using Monte Carlo Simulation and Principal Components". Nuclear Geophysics, vol 8, 243–259.

• POUPON, A. & GAYMARD, R. (1970): "The Evaluation of Clay Content from Logs". SPWLA, 18th Annual Logging Symposium Transactions, paper G, 1–21.

• POUPON, A. HOYLE, W.R. y SCHMIDT (1971) - "Log Analysis in Formations with Complex Lithologies". Jour. Pet. Tech. Aug.

• PUY HUARTE, J. (1977): "Lodos de perforación: Procedimientos de Sondeos: Teoría, Práctica y Aplicaciones". Servicio de publicaciones de la J.E.N. (Junta de Energía Nuclear) Cap. 21 pp 267-302.

• QUEROL, R. (1989): "Geología del Subsuelo de la Cuenca del Tajo". E.T.S.I. Minas de Madrid. Departamento de Ingeniería Geológica.

• RADHAKRISHMAN, S.; SRIKAMTH, G. & MEHTAC, H. (1991): "Segmentation of Well-Logs by Maximum Likelihood Estimation the Algorithm and Fortran-77 Implementation". Computer and Geosciences, vol 17, nº 9, 1173–1196.

• RADHAKRISHNA, I. & GANGADHARA, R (1990): "Evaluation of Hydrogeochemical Parameters with Spontaneous Potential Logs". Journal of Hydrology, 114, 245–257.

• RAGLAND, DD. A. (2002): "Trends in Cementation Exponents (m) for Carbonate Pores Systems" Petrophysics 434-446.

• RAIGA–CLEMECEAU, J. (1977): “The Cementation Exponent in the Formation Factor–Porosity Relation: The Effect of Permeability”. 18th Annual Logging Simp. SPWLA Trans. R, 1–13.

• ROGERS, J.J. y HEAD, W.B. (1961): “Relationships between Porosity, Median Size and Shorting Coefficients of Synthetic Sands”. Jour. Sed. Petrology, vol 31, 467–470.

• ROLANDI, M.; BONED, M. y JIMÉNEZ, S. (1989): “Primeros resultados en la Red Automatizada de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Moraña, tras dos años en funcionamiento (1986-1988)”. Hidrogeologia y Recursos Hídricos, vol. XIV, Madrid.

• RUDMAN, A.J. & LANKSTON, R.W. (1973): "Stratigraphic Correlation of Well–Logs by Computer Techniques". American Association of Petroleum Geologist Bulletin 57, 577–588.

• RUDMAN, A.J. BLAKELY, R.F. & HENDERSON, G.J. (1975): "Frequency Domain Methods of Stratigraphic Correlation". Proceedings of the 7th Offshore Technology Conference, Houston, Texas.

• RUF, M.; LINK, E.; PROSS, J. & AIGNER, T. (2005): “Integrated Sequence Stratigraphy: Facies, Stable Isotope and Palinofacies in a Deeper Epicontinental Carbonate Ramp (Late Jurassic, SW Germany)” Sedimentary Geology 175, 391-414

• SALEM, H. S. (2000): “ Computer Modeling of Porosity and Lithology for Complex Reservoir using Well-Log Measurements”. Energy Sources, v 22, nº 6, pp 515-524.

• SACKIN, SNEATH & MERRIAM (1965): "ALGOL Program for Cross–Association of No–numeric Sequences Using a Medium Size Computer". Kansas Geological Survey Sp. Dist. Publ. 23, 26 p.

• SCHLUMBERGER C&M. & LEONARDON, E.G. (1934): "A New Contribution to Subsurface Studies by Means of Electrical Measurements in Drill Holes". Transactions AIME, vol 110.

• SCHLUMBERGER (1972): "Interpretación de Perfiles". Schlumberger Limited. 277 Park Avenue. New York. 10017.

• SCHLUMBERGER **(1979)**: "Log Interpretation Charts". Schlumberger Limited, P.O. Box 2175, Houston, Texas 77001.

• SCHNOEBELEN, D.J., BUGLIOSI, E.F. & KROTHE, N.C. (1995): "Delineation of a Saline Ground-Water Boundary from Borehole Geophysical Data". Ground Water, vol 33, nº 6, 965–976.

• SCOTT, J.H. DODD, P.H. DROULLARD, R.F. & MUDRA, P.J. (1961): "Quantitative Interpretation of Gamma-Ray Log". Geophysics, vol 26, 182–191.

• SEGESMAN (1962): "New SP Correction Charts". Geophysics, vol 27, nº 6 (Dec), 815–828.

• SHAW, B.R. & CUBIT, J.M. (1979): "Stratigraphic Correlation of Well Logs: An Automated Approach". Geomathematical and Petrophysical Studies in Sedimentology, Gill and Merriam Eds. Pergamon Press, Oxford.

• SHENG, P. WHITE, B. & NAIR, B. (1987): "Bayesian Deconvolution of Gamma-Ray Logs". Geophysics, november, 1535–1546.

• SHURE, K. & WALLACE, O.J. (1988): "Taylor Parameters for Gamma-Ray Buildup Factors in the Proposed American National Standard". WAPD-TM 1628, Bettis Atomic Power Laboratory, West Mifflin, Pennsylvania.

• SIGAL, R. (2002a): “Coates and Sdr Permeability:Two Variations on the same Theme”. Petrophysics 38-46.

• SIGAL, R. (2002b): “The Pressure Dependence of permeability”. Petrophysics 92-102.

• SILVA, P.L. & BASSIOUNI, Z. (1983): "Applications of New S.P. Interpretations Charts to Gulf Coast Louisiana Fields". The Log Analyst, March-April, pp. 12–15.

• SMITH, T.F. & WATERMAN, M.S. (1980): "New Stratigraphic Correlation Techniques". Journal of Geology 88, 451–457.

• SONG, Y. & LIN, J. (2000): “Quality Evaluation of Spectral Gamma Ray Log”. Beijing Capter Well Logging Technology; 387-392.

• SOUDER, W.W. and PICKET, G.R. (1974): "A Computerized Method for the Zonation of Digitized Well Logs". The Log Analyst, vol 18, 3–8.

• SOUDER, W. W. (2001): “A Computer Algorithm for Obtaining R from the SP Log”. Petrophysics, v 42, nº3, p 222-226.

• STARTZMAN, R.A. & KUO, T.B. (1987): "An Artificial Intelligence Approach to Well Log Correlation". The Log Analyst March–April 175–183. Later reprinted in 1996, in Expert system in engineering applications: Society of Petroleum Engineers Reprint Series, nº 41, p. 120–128.

• STEPHANOU, H.E. (1979) - "Multilevel Syntax Analysis for Geological Data Compression". Instrument Society of America Transactions, vol 18, 101-104.

• SUBCOMMITEE OF THE API SOUTHERN DISTRICT STUDY COMMITTEE ON DRILLING FLUIDS (1969): “Principles of Drilling Fluid Control”. Published by: Petroleum Extension Service the University of Texas. Austin Texas.

• SUNDBERG, K. (1932): “Effect of Impregnating Waters on Electrical Conductivity of Soils and Rocks”. AIME, vol. 97, 367–391.

• TABANOU, J.R., GLOWINSKI, R. & ROUAULT, G.F. (1987): "SP Deconvolution and Quantitative Interpretation in Shaly Sands". SPWLA, 28th Annual Logging Symposium Transactions, paper SS.

• TAHERIAN, M.R. & HABASHY, T.M. & SCHROEDER, R.J. & MARIANI, D.R. & CHEN, M-Y. (1995): "Spontaneous Potential – Laboratory Experiments and Modelling Results". The Log Analyst, v. 36, no. 5, p. 34–48.

• TAYLOR, J.J. (1954): "Application of Gamma Ray Buildup Data to Shield Design". WAPD-RM-217, U.S. Atomic Energy Commission Report.

• TERZAGHI, C. (1925): "Principles of Soil Mechanics". Engs. News Rec., vol. 95.

• TESTERMAN, J.D. (1962): "A Statistical Reservoir-Zonation Technique". Journal Petroleum Technology, vol 14, p. 889–893.

• THIBAL, J., ETCHECOPAR, A., POZZI, J.P., BARTHES, V. and POCACHARD, J. (1999): "Comparison of magnetic and gamma ray logging for correlations in chronology and lithology: example from the Aquitanian Basin (France)". Geophysical Journal International vol. 133,839-846.

• TIMUR, A. (1969): "Pulsed Nuclear Magnetic Resonance Studies of Porosity, Movable Fluids and Permeability of Sandstones". Jour. Pet. Tech., vol. 21, 775–786.

• TIPPER, J.C. (1988): "Techniques for cuantitative stratigraphic Correlation: A Review and annotate4d Bibliography". Geological Magazine, vol. 125, 475-494.

• TORRES, T.; COELLO, F.J.; Y GARCIA-SAÑUDO, M. (1996): " Analisis Markoviano de las sucesiones de abanicos aluviales de la cuenca de Madrid y de la Depresión intermedia (madrid y Guadalajara, España Central)" Cuadernos de Geologia Hispánica 21, 345-368.

• TURCAN, A.N. (1962): "Estimating Water Quality from Electric Logs". USGS Prof. Paper 450–C. Article 116.

• VERNIK, L. (2000): "Permeability Prediction in Poorly Consolidated Siliciclastic Based on Pososity and Clay Volume Logs" Petrophysics, v 41, nº 3, p 138-147.

• VERMEER, P.L. & ALKEMADE J.A. (1992): "Multiscale Segmentation of Well-Logs". Mathematical Geology, vol 24, nº 1, 27–43.

• VINCENT, PH., GARTNER, J.E. & ATTALI, G. (1979): "An Approach to Detailed Dip Determination Using Correlation by Pattern Recognition". Jour. Pet. Tech. vol. 31, 232–240.

• WAHL, J.S. (1983): "Gamma Ray Logging". Geophysics, vol 48, nº 11, 1536–1550.

• WEBSTER, R. (1973): "Automatic Soil Boundary Location from Transect Data". Journal of Mathematical Geology, vol 5, 27–37.

• WINSAUER, W.O., SHEARIN H., MASSON, P. y WILLIAMS, M. (1952): “Resistivity of Brine–Saturated Sands in Relation to Pore Geometry”. Bull. AAPG, vol 2. Feb. 253–277.

• WORTHINGTON, A.E. & MELDAU, R.F. (1958): "Departure Curves for the Self–Potential Log". Journal Petroleum Technology, vol 10, Pet. Transactions AIME, vol 213, 11–16.

• WORTHINGTON, P.F. (2001): “The Influence of Formation Anisotropy Upon Resistivity-porosity Relationships”. SPWLA, 22nd Annual Logging Symposium Transaction, paper AA, 1-25.

• WU, X. and NYLAND, E. (1987): "Automated Stratigraphic Interpretation of Well-Log Data". Geophysics, vol 52, nº 12, p. 1665–1676.

• WYLLIE, M.R.J. (1949): "A Quantitative Analysis of the Electro–chemical Component of the SP Curve". Journal Petroleum Technology, vol 1, Pet. Trans. AIME, vol 186, 17–26.

• ZHAO, J. (2000): “Application of Fuzzy Grey Correlation Analysis Method to the Identification of Oil/Gas and Water Zones”. Beijing Chapter Well Logging Technology; 337-339.

• ZHU, F.; GIBSON, R. L. & ESTILL, R. (2001): “A Critical Clay Content Model of Sand-shale Mixtures from Log Data in the Gulf of Thailand”. Society of Exploration Geophysicist. Annual Meeting Technical Program Expanded Abstracts, CD-ROM, 4p.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS

INTERPRETACIÓN Y CORRELACIÓN DE REGISTROS GEOFÍSICOS EN SONDEOS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA LA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y LA GESTIÓN DE LA EXPLOTACIÓN.

APLICACIÓN EN EL ARCO NOROESTE DE LA CUENCA DE MADRID

ANEXOS

Autora:
NATALIA CAPARRINI MARÍN
Licenciada en Ciencias Geológicas

Director:
JESÚS M. DÍAZ CURIEL
Doctor en Ciencias Físicas

2006

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: SONDEOS SELECCIONADOS..... Pag. 3

ANEXO 2: INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA Y LITOLÓGICA..... 9

ANEXO 3: INTERVALOS ÓPTIMOS DE TUBERÍA FILTRANTE..... 52

ANEXO 4: DETERMINACIÓN DE TRAMOS..... 67

ANEXO 5: SECCIONES DE CORRELACIÓN..... 82

ANEXO 6: ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO..... 86

ANEXO7: DIAGRAFÍAS..... 112

ANEXO 1:

SONDEOS SELECCIONADOS

En este tomo se presentan en anexos los resultados obtenidos tras la aplicación de cada uno de los procesos descritos en la memoria de esta Tesis.

Para dotar a este tomo de cierta autonomía se recogen también los planos con la situación de los sondeos, las características constructivas y de testificación así como los parámetros estimados de cada uno de los sondeos.

Los sondeos seleccionados están situados en el arco noroeste de la Comunidad de Madrid, 6 sondeos se localizan en el sector Oeste y 7 en el Norte. La superficie estudiada está repartida entre las hojas nº 558 de Madrid y la nº 559 de Majadahonda en el sector Oeste y en la Hoja nº 534 de Alcobendas para el sector Norte del Mapa geológico de España a escala 1:50.000 del I.G.M.E (figura 1).

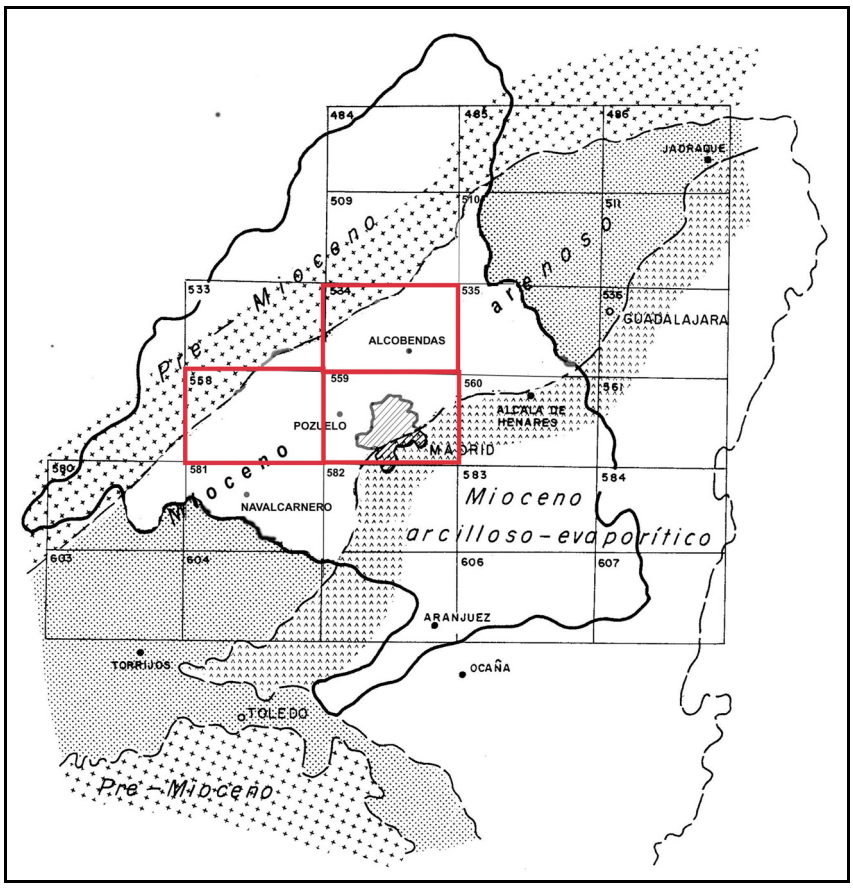


Figura 1: Hojas topograficas del I.G.M.E. Escala 1:50.000

Los sondeos del sector Norte siguen un perfil de correlación dirección Norte-Sur con una longitud de 6 Km. La cota topográfica del perfil es prácticamente constante variando de 700 a 710 m. Administrativamente comprende los municipios de Tres Cantos y la ciudad de Madrid.

El sector oeste siguen un perfil de dirección Noroeste-Sureste. La longitud que alcanza el perfil de correlación en esta zona es de unos 7 Km, estando el sondeo de La Concepción alejado unos 3 Km del resto. Administrativamente comprende los municipios de Boadilla del Monte, Pozuelo de Alarcón y Majadahonda. Las cotas se sitúan entre los 700 y 750 metros de altitud descendiendo de noroeste a sureste. La situación de los sondeos se refleja en la figura 2.

Figura 2: Situación de los sondeos seleccionados

En la tabla 1 se presenta la denominación de los sondeos seleccionados así como los datos constructivos de los sondeos facilitados por la empresa de perforación. Los sondeos se perforaron a rotación con circulación inversa de lodos, empleando lodo natural como fluido de perforación. La viscosidad se intentó mantener entorno a 30 segundos.

En la tabla 2 se muestran las características de testificación de los mismos ordenados según los perfiles de correlación antes mencionados.

En la tabla 3 se presentan los parámetros estimados para cada uno de los sondeos. Algunos de estos parámetros han sido medidos directamente en algunos sondeos con sondas convencionales, otros se han estimado indirectamente mediante las relaciones empíricas deducidas en el capitulo 3.1 a partir de datos constructivos del sondeo o de ciertas medidas realizadas en superficie.

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE PERFORACIÓN DE LOS SONDEOS				
SECTOR NORTE				
SONDEO	**LOCALIDAD**	**COTA (s.n.m.)**	**DIÁMETROS DE PERFORACIÓN (mm)**	**INTERVALOS PROFUNDIDAD(m)**
CB-7	TRES CANTOS	697	660	0-370
CB-8	VEGARADA	700	660	0-394
CB-9	VALDELAMASA	705	660	0-410
CB-4	TRES CANTOS	710	700 660	0-42 42-416
CB-11	CANTO BLANCO	710	700 660	0-24 24-410
CB-12	CANTO BLANCO	700	660 445	0-193 193-418
CB-13	TRES CANTOS	700	700 660	0-24 24-415
SECTOR OESTE				
SONDEO	**LOCALIDAD**	**COTA (s.n.m.)**	**DIÁMETROS DE PERFORACIÓN (mm)**	**INTERVALOS PROFUNDIDAD (m)**
LA CONCEPCIÓN	MAJADAHONDA	746	660 445	0-120 120-490
SANTA MARÍA	POZUELO DE ALARCON	730	450	0-448
LA MERCED	POZUELO DE ALARCON	725	450	0-454
LA CABAÑA	POZUELO DE ALARCÓN	720	660 445	0-103 103-386
SANTA RITA	BOADILLA DEL MONTE	717	660 445	0-117 117-321
SANTA ELENA	BOADILLA DEL MONTE	715	600	0-430

TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE TESTIFICACIÓN DE LOS SONDEOS			
SONDEO	**PROF REG(m)**	**PARÁMETROS REGISTRADOS**	**FECHA**
SECTOR NORTE			
CB-7	369	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN	01/06/93
CB-8	393	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, COND, TEMP	23/04/93
CB-9	409	PE, RNC, RNL, RLAT, GN	28/05/93
CB-4	414	PE, RNC, RNL, RLAT, GN	06/08/93
CB-11	407	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN	07/07/93
CB-12	416	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN	19/05/93
CB-13	414	PE, RNC, RNL, RLAT, GN	01/07/93
SECTOR OESTE			
LA CONCEPCIÓN	485	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, COND, TEMP	29/09/92
SANTA MARÍA	445	PE, RNC, RLAT, GN, TEMP	15/05/92
LA MERCED	445	PE, RNC, RLAT, GN, TEMP	08/04/92
LA CABAÑA	378	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, COND, TEMP	27/09/92
SANTA RITA	320	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, TEMP	01/09/92
SANTA ELENA	430	PE, RNC, RNL, RLAT, RME, GN, TEMP	23/10/92

TABLA 3: ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SONDEO						
SONDEO	**T (ºC)**	**GT (ºC)**	**DENSIDAD (g/cm3)**	**CONDUCTIVIDAD**		
				LODO (: mho/cm)	**FILTRADO (: mho/cm)**	**Tº (ºC)**
SECTOR NORTE						
CB-7	18.3	1.5	1.03	125	114	23
CB-8	15	2.2	1.03	440	400	20
CB-9	18.3	1.5	1.03	573	570	23
CB-4	18.3	1.5	1.03	362	395	28.5
CB-11	18.3	1.5	1.03	600	537	28
CB-12	18.3	1.5	1.03	510	460	19.5
CB-13	18.3	1.5	1.03	544	526	28
SECTOR OESTE						
LA CONCEPCIÓN	19.6	1.6	1.03	360	324	16
SANTA MARÍA	19.6	1.2	1.03	350	329	19.6
LA MERCED	18	0.7	1.03	390	367	18
LA CABAÑA	19.5	1.5	1.03	375	327	16
SANTA RITA	18.3	1.7	1.03	385	260	16
SANTA ELENA	18.3	1.5	1.03	345	317	16

ANEXO 2:

INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA Y LITOLÓGICA

En este anexo se presentan en forma de tabla y para cada uno de los sondeos estudiados los resultados obtenidos tras la segmentación, interpretación cuantitativa e interpretación litológica.

En las tablas se muestra para cada una de las capas paramétricas definitivas del sondeo la cota de techo y muro, el espesor, los resultados de la interpretación cuantitativa: % de arcilla, conductividad y total de sólidos disueltos del agua de las formaciones, resistividad real , porosidad y permeabilidad, y la asignación litológica realizada a partir de estos valores.

Al final de cada sondeo se presenta la media del sondeo para el conjunto de las capas.

En cuanto a los resultado obtenidos sobre el contenido en arcilla de los distintos sondeos hay que destacar los elevados valores que presentan todos ellos, esto es debido en parte a la invasión de lodo que eleva el contenido en arcilla de los niveles. De esa forma para una evaluación correcta del contenido en arcilla sin la presencia de lodo habría que estimar la costra de lodo formada en cada nivel y restar la emisividad que conlleva.

Una característica que destaca inicialmente es el reducido rango de los valores medios en los distintos sondeos en cada una de las zonas lo que implica una fuerte homogeneidad en éstas. El valor medio de conductividad de la zona norte (excepto en el sondeo CB-7 donde los valores se alejan mucho del resto debido a la baja conductividad del lodo de perforación) es de unos 400 **:** mho/cm y en la zona oeste de unos 300 **:** mho/cm, estos datos, menores de 500 **:** mho/cm, concuerdan con la distribución de la calidad química de las aguas subterráneas de Madrid.

Otro rasgo que se debe resaltar es la distribución de conductividad con la profundidad encontrada en cada sondeo. En general en los sondeos situados al Norte la conductividad empeora ligeramente con la profundidad, mientras que en la zona oeste se mantiene constante a lo largo de los sondeos.

Los rangos de porosidad varían del 25% para las capas más permeables(gravas) al 50% para las impermeables (arcillas) obteniendo un valor medio de porosidad en ambas zonas del 40%. En la zona oeste destaca el sondeo La Concepción que presenta una porosidad del 38% frente al sondeo Santa Rita con una porosidad del 46%. Estos hechos concuerdan con el aprovechamiento hidráulico de los sondeos ya que el sondeo La Concepción es el más productivo siendo el Santa Rita prácticamente improductivo.

Dado que la permeabilidad se ha obtenido indirectamente a partir de la porosidad empleando en todos los casos los mismos coeficientes del factor de formación, estos datos coinciden con las porosidades

Las litologías diferenciadas son básicamente gravas, arenas, limos y arcillas así como las litologías mixtas: arenas-arcillosas y arcillas-arenosas.

Las litologías determinadas tras el proceso de asignación litológica coinciden con las columnas litológicas levantadas en campo a pie del sondeo.

La zona norte presenta una gran homogeneidad litológica, siendo las proporciones de cada litología bastante similares, las gravas es la litología menos predominante. La zona oeste es en general más arcillosa y menos arenosa siendo esta proporción mayor en los sondeos situados más al sureste.

SONDEO CB-7										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	24	27.8	3.8	46	88	85	270	0.50	3.8e-07	Arcilla
2	27.8	29.8	2	41	88	85	430	0.39	3.7e-03	Limo
3	29.8	31.3	1.5	53	84	79	394	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
4	31.3	35.5	4.2	23	86	82	476	0.38	7.9e-03	Limo
5	35.5	36.5	1	45	88	84	588	0.32	1.7e-01	Arena
6	36.5	41	4.5	77	85	80	325	0.47	4.1e-06	Arcilla-Arenosa
7	41	41.9	0.9	39	87	84	432	0.39	3.7e-03	Limo
8	41.9	43.2	1.3	39	87	84	343	0.45	4.1e-05	Arcilla-Arenosa
9	43.2	44.4	1.2	66	85	80	383	0.42	4.5e-04	Arena-Arcillosa
10	44.4	49.4	5	133	85	80	292	0.50	3.8e-07	Arcilla
11	49.4	51.2	1.8	38	93	93	411	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
12	51.2	52.6	1.4	0	93	92	747	0.28	8.0e-01	Gravas
13	52.6	56	3.4	12	93	92	496	0.36	2.3e-02	Limo
14	56	60.2	4.2	11	82	77	322	0.47	4.1e-06	Arcilla-Arenosa
15	60.2	61.2	1	43	82	77	415	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
16	61.2	62.4	1.2	74	94	95	333	0.46	1.4e-05	Arcilla-Arenosa
17	62.4	64.4	2	25	84	80	401	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
18	64.4	67.3	2.9	20	94	93	460	0.37	1.7e-02	Limo
19	67.3	69.5	2.2	23	98	100	633	0.31	2.4e-01	Arena
20	69.5	71.8	2.3	23	87	84	297	0.49	1.0e-06	Arcilla
21	71.8	74.1	2.3	48	88	85	323	0.47	4.1e-06	Arcilla-Arenosa
22	74.1	78.5	4.4	70	84	79	271	0.50	3.8e-07	Arcilla
23	78.5	80.8	2.3	41	104	108	658	0.30	4.1e-01	Arena
24	80.8	82.6	1.8	51	94	95	450	0.38	7.9e-03	Limo
25	82.6	84.8	2.2	73	94	95	373	0.43	2.9e-04	Arena-Arcillosa
26	84.8	86.4	1.6	56	94	95	337	0.46	1.4e-05	Arcilla-Arenosa
27	86.4	91	4.6	36	100	103	513	0.35	3.9e-02	Limo
28	91	92.2	1.2	42	84	79	340	0.45	4.1e-05	Arcilla-Arenosa
29	92.2	94	1.8	42	89	86	300	0.49	1.0e-06	Arcilla
30	94	102.3	8.3	28	100	102	631	0.31	2.4e-01	Arena
31	102.3	105.8	3.5	61	94	95	288	0.50	3.8e-07	Arcilla
32	105.8	112.1	6.3	37	95	94	596	0.32	1.7e-01	Arena
33	112.1	117.6	5.5	29	87	83	492	0.36	2.3e-02	Limo
34	117.6	119.3	1.7	34	83	78	322	0.47	4.1e-06	Arcilla-Arenosa
35	119.3	120.6	1.3	34	91	89	356	0.44	1.1e-04	Arena-Arcillosa
36	120.6	121.5	0.9	41	85	81	322	0.47	4.1e-06	Arcilla-Arenosa
37	121.5	124.7	3.2	54	94	95	393	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
38	124.7	126.9	2.2	31	91	90	418	0.40	1.6e-03	Limo
39	126.9	128.7	1.8	63	88	85	412	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
40	128.7	129.9	1.2	39	89	87	504	0.35	3.9e-02	Limo
41	129.9	130.9	1	40	85	81	382	0.42	4.5e-04	Arena-Arcillosa
42	130.9	132.1	1.2	26	89	87	439	0.39	3.7e-03	Limo
43	132.1	133.6	1.5	42	88	85	329	0.46	1.4e-05	Arcilla-Arenosa
44	133.6	135.2	1.6	35	84	79	379	0.42	4.5e-04	Arena-Arcillosa
45	135.2	136.6	1.4	31	93	92	456	0.38	7.9e-03	Limo
46	136.6	140.3	3.7	63	92	91	374	0.43	2.9e-04	Arena-Arcillosa
47	140.3	144.8	4.5	34	91	89	484	0.36	2.3e-02	Limo
48	144.8	147.3	2.5	47	94	94	656	0.30	4.1e-01	Arena

49	147.3	149.3	2	57	84	79	476	0.37	1.7e-02	Limo
50	149.3	153.6	4.3	58	94	95	410	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
51	153.6	159.5	5.9	33	88	85	482	0.36	2.3e-02	Limo
52	159.5	162.8	3.3	40	83	78	251	0.50	3.8e-07	Arcilla
53	162.8	164.4	1.6	27	97	97	399	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
54	164.4	167.4	3	38	91	89	484	0.36	2.3e-02	Limo
55	167.4	168.5	1.1	44	94	94	373	0.43	2.9e-04	Arena-Arcillosa
56	168.5	170	1.5	54	85	81	459	0.38	7.9e-03	Limo
57	170	171.1	1.1	61	101	103	417	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
58	171.1	173.3	2.2	41	90	87	499	0.36	2.3e-02	Limo
59	173.3	174.8	1.5	73	93	92	600	0.32	1.7e-01	Arena
60	174.8	179	4.2	45	88	85	267	0.50	3.8e-07	Arcilla
61	179	183.3	4.3	31	102	105	513	0.35	3.9e-02	Limo
62	183.3	184.7	1.4	51	94	95	391	0.42	4.5e-04	Arena-Arcillosa
63	184.7	186.5	1.8	49	87	84	462	0.37	1.7e-02	Limo
64	186.5	188.3	1.8	81	97	98	545	0.34	5.8e-02	Arena
65	188.3	190.6	2.3	72	94	95	364	0.43	2.9e-04	Arena-Arcillosa
66	190.6	192	1.4	49	86	82	506	0.35	3.9e-02	Limo
67	192	193.2	1.2	47	97	98	415	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
68	193.2	194.5	1.3	67	88	85	507	0.35	3.9e-02	Limo
69	194.5	196	1.5	48	101	103	391	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
70	196	197	1	57	90	87	466	0.37	1.7e-02	Limo
71	197	198.9	1.9	57	94	95	376	0.43	2.9e-04	Arena-Arcillosa
72	198.9	201.9	3	53	90	87	311	0.48	3.1e-06	Arcilla-Arenosa
73	201.9	204.4	2.5	41	107	111	561	0.33	1.3e-01	Arena
74	204.4	205.4	1	57	94	95	283	0.50	3.8e-07	Arcilla
75	205.4	206.7	1.3	57	94	95	312	0.48	3.1e-06	Arcilla-Arenosa
76	206.7	207.7	1	44	94	93	273	0.50	3.8e-07	Arcilla
77	207.7	209.7	2	31	92	90	502	0.36	2.3e-02	Limo
78	209.7	210.8	1.1	46	103	106	395	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
79	210.8	211.9	1.1	31	89	86	424	0.39	3.7e-03	Limo
80	211.9	214.6	2.7	47	95	95	316	0.47	4.1e-06	Arcilla-Arenosa
81	214.6	216.5	1.9	28	102	104	486	0.36	2.3e-02	Limo
82	216.5	218.5	2	43	102	104	357	0.44	1.1e-04	Arena-Arcillosa
83	218.5	219.4	0.9	31	94	93	297	0.49	1.0e-06	Arcilla
84	219.4	221.9	2.5	45	98	99	412	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
85	221.9	223.8	1.9	30	97	97	664	0.30	4.1e-01	Gravas
86	223.8	226.9	3.1	47	104	107	404	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
87	226.9	231.2	4.3	38	101	104	501	0.36	2.3e-02	Limo
88	231.2	232.7	1.5	31	103	106	345	0.45	4.1e-05	Arcilla-Arenosa
89	232.7	233.8	1.1	38	86	81	361	0.44	1.1e-04	Arena-Arcillosa
90	233.8	236.8	3	38	87	83	278	0.50	3.8e-07	Arcilla
91	236.8	238.9	2.1	31	103	106	554	0.33	1.3e-01	Arena
92	238.9	242.6	3.7	45	106	111	454	0.38	7.9e-03	Limo
93	242.6	245.7	3.1	37	112	120	662	0.30	4.1e-01	Gravas
94	245.7	250.6	4.9	40	102	105	278	0.50	3.8e-07	Arcilla
95	250.6	252.2	1.6	41	101	103	501	0.36	2.3e-02	Limo
96	252.2	253.8	1.6	47	84	80	313	0.48	3.1e-06	Arcilla-Arenosa
97	253.8	256.8	3	30	84	80	554	0.33	1.3e-01	Arena
98	256.8	259.1	2.3	42	85	80	370	0.43	2.9e-04	Arena-Arcillosa
99	259.1	260.7	1.6	36	95	95	307	0.48	3.1e-06	Arcilla

100	260.7	264.9	4.2	45	84	79	299	0.49	1.0e-06	Arcilla
101	264.9	271.1	6.2	26	110	115	865	0.25	1.4e+00	Gravas
102	271.1	273.7	2.6	61	94	95	453	0.38	7.9e-03	Limo
103	273.7	275.4	1.7	31	95	95	373	0.43	2.9e-04	Arena-Arcillosa
104	275.4	277.1	1.7	46	83	78	309	0.48	3.1e-06	Arcilla
105	277.1	282	4.9	37	112	118	594	0.32	1.7e-01	Arena
106	282	283.4	1.4	41	112	118	410	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
107	283.4	289.2	5.8	31	105	109	660	0.30	4.1e-01	Arena
108	289.2	290.3	1.1	38	104	107	693	0.29	6.0e-01	Gravas
109	290.3	292.8	2.5	41	91	90	494	0.36	2.3e-02	Limo
110	292.8	294.5	1.7	79	94	95	305	0.48	3.1e-06	Arcilla
111	294.5	297.5	3	41	91	89	548	0.34	5.8e-02	Arena
112	297.5	299.9	2.4	78	94	95	384	0.42	4.5e-04	Arena-Arcillosa
113	299.9	304.3	4.4	92	94	95	282	0.50	3.8e-07	Arcilla
114	304.3	307.5	3.2	24	114	122	577	0.33	1.3e-01	Arena
115	307.5	313.3	5.8	28	125	138	803	0.26	1.2e+00	Gravas
116	313.3	315.6	2.3	53	94	95	397	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
117	315.6	318.6	3	29	108	113	489	0.36	2.3e-02	Limo
118	318.6	320.3	1.7	49	110	117	367	0.43	2.9e-04	Arena-Arcillosa
119	320.3	322.7	2.4	39	90	87	343	0.45	4.1e-05	Arcilla-Arenosa
120	322.7	323.7	1	73	103	106	412	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
121	323.7	325	1.3	40	110	116	296	0.49	1.0e-06	Arcilla
122	325	328.8	3.8	55	93	91	398	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
123	328.8	330.3	1.5	48	110	116	525	0.35	3.9e-02	Arena
124	330.3	332.1	1.8	37	105	109	478	0.37	1.7e-02	Limo
125	332.1	335.1	3	36	111	118	851	0.26	1.2e+00	Gravas
126	335.1	337.9	2.8	46	106	111	560	0.33	1.3e-01	Arena
127	337.9	342.7	4.8	43	111	118	840	0.26	1.2e+00	Gravas
128	342.7	346.4	3.7	95	94	95	382	0.42	4.5e-04	Arena-Arcillosa
129	346.4	348.3	1.9	25	117	126	474	0.37	1.7e-02	Limo
130	348.3	349.9	1.6	25	86	82	316	0.47	4.1e-06	Arcilla-Arenosa
131	349.9	355.4	5.5	27	113	121	834	0.26	1.2e+00	Gravas
132	355.4	359.1	3.7	66	110	117	590	0.32	1.7e-01	Arena
133	359.1	360.7	1.6	70	110	117	385	0.42	4.5e-04	Arena-Arcillosa
134	360.7	362.8	2.1	65	83	77	511	0.35	3.9e-02	Limo
135	362.8	366.8	4	30	109	115	713	0.29	6.0e-01	Gravas
135	**24**	**366.8**	**2.5**	**45**	**95**	**95**	**444**	**0.40**	**9.7e-02**	

SONDEO CB-8										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	33	36.1	3.1	16	311	401	110	0.37	1.4e-02	Limo
2	36.1	38.6	2.5	53	403	555	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
3	38.6	39.9	1.3	28	311	401	74	0.47	5.5e-06	Arcilla-Arenosa
4	39.9	44.1	4.2	39	311	401	67	0.50	3.3e-07	Arcilla
5	44.1	47.7	3.6	27	311	401	127	0.34	8.0e-01	Arena
6	47.7	49.5	1.8	48	311	401	116	0.36	2.9e-02	Limo
7	49.5	50.9	1.4	33	311	401	96	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
8	50.9	55.9	5	30	311	401	115	0.36	2.9e-02	Limo
9	55.9	57	1.1	53	311	401	69	0.49	6.6e-07	Arcilla
10	57	60.9	3.9	12	311	401	115	0.36	2.7e-02	Limo
11	60.9	65	4.1	12	311	401	164	0.29	6.0e-01	Gravas
12	65	73.1	8.1	35	312	402	61	0.50	3.3e-07	Arcilla
13	73.1	79	5.9	78	395	520	175	0.28	8.5e-01	Gravas
14	79	82.7	3.7	20	342	445	114	0.36	2.7e-02	Limo
15	82.7	92.3	9.6	65	373	489	77	0.46	1.8e-05	Arcilla-Arenosa
16	92.3	94.9	2.6	44	384	505	91	0.42	6.2e-04	Arena-Arcillosa
17	94.9	97.3	2.4	47	384	504	98	0.40	2.0e-03	Limo
18	97.3	101.4	4.1	24	366	479	72	0.48	3.4e-06	Arcilla-Arenosa
19	101.4	103.4	2	59	358	468	71	0.49	6.7e-07	Arcilla
20	103.4	104.8	1.4	45	331	429	87	0.43	1.5e-04	Arena-Arcillosa
21	104.8	106.7	1.9	56	369	483	121	0.35	4.7e-02	Arena
22	106.7	108.9	2.2	25	381	500	77	0.46	1.6e-05	Arcilla-Arenosa
23	108.9	111.1	2.2	61	317	409	86	0.43	1.4e-04	Arena-Arcillosa
24	111.1	114.4	3.3	51	490	654	67	0.50	3.3e-07	Arcilla
25	114.4	119.4	5	45	396	521	103	0.39	5.1e-03	Limo
26	119.4	121.8	2.4	28	328	425	85	0.43	1.2e-04	Arena-Arcillosa
27	121.8	124.5	2.7	18	446	592	138	0.32	1.7e-01	Arena
28	124.5	126.3	1.8	51	403	555	76	0.47	5.6e-06	Arcilla-Arenosa
29	126.3	127	0.7	38	364	476	86	0.43	1.6e-04	Arena-Arcillosa
30	127	128	1	39	374	491	73	0.48	3.6e-06	Arcilla-Arenosa
31	128	129.8	1.8	17	314	405	89	0.42	6.5e-04	Arena-Arcillosa
32	129.8	131.1	1.3	54	373	488	101	0.39	4.9e-03	Limo
33	131.1	132.1	1	34	368	481	96	0.40	1.3e-03	Arena-Arcillosa
34	132.1	133.6	1.5	58	407	537	108	0.37	1.7e-02	Limo
35	133.6	136.4	2.8	30	382	501	88	0.43	1.7e-04	Arena-Arcillosa
36	136.4	138	1.6	33	438	581	125	0.34	8.1e-01	Arena
37	138	139.7	1.7	28	365	478	108	0.37	1.6e-02	Limo
38	139.7	141.4	1.7	71	387	509	121	0.35	4.5e-02	Arena
39	141.4	149.8	8.4	33	404	532	107	0.38	9.9e-03	Limo
40	149.8	151.1	1.3	44	325	421	126	0.34	8.1e-01	Arena
41	151.1	154.4	3.3	52	403	555	93	0.41	9.8e-04	Arena-Arcillosa
42	154.4	157.8	3.4	33	420	555	76	0.47	5.7e-06	Arcilla-Arenosa
43	157.8	158.9	1.1	7	381	500	66	0.50	3.3e-07	Arcilla
44	158.9	160.7	1.8	21	367	480	97	0.40	1.8e-03	Limo
45	160.7	162.2	1.5	6	372	487	68	0.50	3.3e-07	Arcilla
46	162.2	166.1	3.9	54	308	397	77	0.46	1.4e-05	Arcilla-Arenosa
47	166.1	167.2	1.1	44	408	538	96	0.40	2.0e-03	Arena-Arcillosa
48	167.2	170.4	3.2	25	406	536	139	0.32	1.6e-01	Arena

49	170.4	173.1	2.7	41	344	448	75	0.47	5.4e-06	Arcilla-Arenosa
50	173.1	174.9	1.8	36	383	503	88	0.42	6.4e-04	Arena-Arcillosa
51	174.9	175.9	1	21	450	598	113	0.36	3.0e-02	Limo
52	175.9	176.9	1	47	394	518	80	0.45	3.4e-05	Arcilla-Arenosa
53	176.9	180.1	3.2	94	403	531	92	0.41	9.6e-04	Arena-Arcillosa
54	180.1	181.1	1	44	448	596	122	0.35	4.6e-02	Arena
55	181.1	182.6	1.5	45	483	645	108	0.37	1.2e-02	Limo
56	182.6	186.5	3.9	9	401	529	146	0.31	2.7e-01	Arena
57	186.5	188.9	2.4	43	353	460	74	0.47	5.8e-06	Arcilla-Arenosa
58	188.9	190.3	1.4	33	495	662	105	0.38	9.1e-03	Limo
59	190.3	192.5	2.2	48	362	474	85	0.44	6.5e-05	Arena-Arcillosa
60	192.5	193.5	1	57	403	555	80	0.45	3.5e-05	Arcilla-Arenosa
61	193.5	197.3	3.8	63	368	481	88	0.42	6.6e-04	Arena-Arcillosa
62	197.3	200	2.7	56	328	426	110	0.37	1.5e-02	Limo
63	200	204.4	4.4	105	403	555	54	0.50	3.3e-07	Arcilla
64	204.4	206.4	2	41	488	651	102	0.39	4.2e-03	Limo
65	206.4	207.8	1.4	44	329	426	71	0.48	3.7e-06	Arcilla
66	207.8	208.8	1	67	403	555	81	0.45	3.6e-05	Arcilla-Arenosa
67	208.8	210	1.2	76	403	555	66	0.50	3.3e-07	Arcilla
68	210	211.2	1.2	58	509	682	102	0.39	4.3e-03	Limo
69	211.2	212.2	1	80	392	515	85	0.43	1.5e-04	Arena-Arcillosa
70	212.2	214.1	1.9	87	493	658	112	0.37	1.4e-02	Limo
71	214.1	215.8	1.7	65	403	555	80	0.45	3.7e-05	Arcilla-Arenosa
72	215.8	217.4	1.6	61	422	558	87	0.43	1.4e-04	Arena-Arcillosa
73	217.4	221.3	3.9	55	388	511	123	0.35	4.6e-02	Arena
74	221.3	222.6	1.3	90	403	555	77	0.46	1.5e-05	Arcilla-Arenosa
75	222.6	224.2	1.6	45	418	553	90	0.42	6.2e-04	Arena-Arcillosa
76	224.2	225.4	1.2	74	403	555	81	0.45	3.3e-05	Arcilla-Arenosa
77	225.4	226.8	1.4	74	371	485	100	0.39	5.2e-03	Limo
78	226.8	230.4	3.6	35	391	515	81	0.45	3.4e-05	Arcilla-Arenosa
79	230.4	231.9	1.5	85	395	521	103	0.38	9.5e-03	Limo
80	231.9	233.1	1.2	33	367	481	74	0.47	5.6e-06	Arcilla-Arenosa
81	233.1	234.8	1.7	71	433	574	91	0.42	6.5e-04	Arena-Arcillosa
82	234.8	238.8	4	29	546	734	112	0.36	2.7e-02	Limo
83	238.8	240.7	1.9	60	445	591	133	0.33	1.2e-01	Arena
84	240.7	243.5	2.8	36	426	563	85	0.43	1.2e-04	Arena-Arcillosa
85	243.5	245.8	2.3	38	326	422	62	0.50	3.3e-07	Arcilla
86	245.8	247.8	2	44	355	464	77	0.46	1.7e-05	Arcilla-Arenosa
87	247.8	249.8	2	15	382	502	97	0.40	1.3e-03	Limo
88	249.8	252.4	2.6	28	329	427	58	0.50	3.3e-07	Arcilla
89	252.4	253.5	1.1	28	428	568	84	0.44	6.6e-05	Arena-Arcillosa
90	253.5	255.7	2.2	44	336	436	62	0.50	3.3e-07	Arcilla
91	255.7	260.4	4.7	65	336	436	55	0.50	3.3e-07	Arcilla
92	260.4	261.6	1.2	73	485	648	83	0.44	6.7e-05	Arena-Arcillosa
93	261.6	262.7	1.1	73	403	555	70	0.49	6.7e-07	Arcilla
94	262.7	264.3	1.6	61	555	747	89	0.42	6.4e-04	Arena-Arcillosa
95	264.3	266.3	2	25	528	708	162	0.29	6.2e-01	Gravas
96	266.3	268.3	2	23	397	523	101	0.39	5.4e-03	Limo
97	268.3	269.7	1.4	103	403	555	62	0.50	3.3e-07	Arcilla
98	269.7	271.8	2.1	90	403	555	60	0.50	3.3e-07	Arcilla
99	271.8	273.6	1.8	71	573	772	96	0.40	1.8e-03	Arena-Arcillosa

100	273.6	275.1	1.5	61	524	703	154	0.30	4.1e-01	Gravas
101	275.1	276.8	1.7	96	403	555	93	0.41	1.0e-03	Arena-Arcillosa
102	276.8	278.7	1.9	50	317	409	66	0.50	3.3e-07	Arcilla
103	278.7	280.6	1.9	32	528	709	115	0.36	2.9e-02	Limo
104	280.6	282.6	2	83	403	555	74	0.47	5.8e-06	Arcilla-Arenosa
105	282.6	284.6	2	39	441	585	105	0.38	9.7e-03	Limo
106	284.6	287.8	3.2	78	478	638	150	0.30	4.2e-01	Arena
107	287.8	289.8	2	45	492	657	97	0.40	1.2e-03	Limo
108	289.8	293.3	3.5	65	403	555	75	0.47	5.7e-06	Arcilla-Arenosa
109	293.3	296	2.7	38	475	633	108	0.37	1.8e-02	Limo
110	296	297.2	1.2	82	403	555	86	0.43	1.7e-04	Arena-Arcillosa
111	297.2	298.8	1.6	82	403	555	78	0.46	1.8e-05	Arcilla-Arenosa
112	298.8	300.3	1.5	41	442	587	93	0.41	9.8e-04	Arena-Arcillosa
113	300.3	301.3	1	99	442	587	105	0.38	9.7e-03	Limo
114	301.3	302.5	1.2	99	403	555	81	0.45	3.6e-05	Arcilla-Arenosa
115	302.5	304.1	1.6	28	534	717	92	0.41	9.6e-04	Arena-Arcillosa
116	304.1	308.9	4.8	45	498	666	135	0.33	1.1e-01	Arena
117	308.9	310.2	1.3	89	377	495	108	0.37	1.9e-02	Limo
118	310.2	311.8	1.6	19	368	481	88	0.42	6.6e-04	Arena-Arcillosa
119	311.8	315.6	3.8	25	461	613	136	0.32	1.7e-01	Arena
120	315.6	318.2	2.6	39	326	423	100	0.39	5.3e-03	Limo
121	318.2	320	1.8	73	403	555	71	0.48	3.4e-06	Arcilla
122	320	322.5	2.5	92	322	416	95	0.40	1.4e-03	Arena-Arcillosa
123	322.5	324.1	1.6	77	548	737	144	0.31	2.8e-01	Arena
124	324.1	325.2	1.1	40	409	540	106	0.38	9.5e-03	Limo
125	325.2	326.5	1.3	40	556	748	159	0.29	6.1e-01	Gravas
126	326.5	327.6	1.1	74	432	573	136	0.32	1.9e-01	Arena
127	327.6	328.7	1.1	22	529	710	157	0.30	4.3e-01	Gravas
128	328.7	329.8	1.1	39	374	490	115	0.36	2.8e-02	Limo
129	329.8	338.5	8.7	16	478	638	201	0.25	1.4e+00	Gravas
130	338.5	340.7	2.2	75	403	555	94	0.41	9.7e-04	Arena-Arcillosa
131	340.7	341.7	1	100	403	555	99	0.39	5.7e-03	Limo
132	341.7	344.2	2.5	25	311	402	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
133	344.2	350.8	6.6	6	606	819	202	0.25	1.4e+00	Gravas
134	350.8	353.4	2.6	33	358	468	95	0.41	9.5e-04	Arena-Arcillosa
135	353.4	357.3	3.9	0	567	763	142	0.32	1.9e-01	Arena
136	357.3	358.4	1.1	45	401	528	95	0.40	2.0e-03	Arena-Arcillosa
137	358.4	361.9	3.5	13	539	724	128	0.34	8.0e-01	Arena
138	361.9	365.5	3.6	14	607	821	175	0.28	8.3e-01	Gravas
139	365.5	367.4	1.9	98	403	555	83	0.44	6.6e-05	Arena-Arcillosa
140	367.4	376.2	8.8	17	658	892	189	0.26	1.3e+00	Gravas
141	376.2	378.8	2.6	58	403	555	79	0.45	3.7e-05	Arcilla-Arenosa
142	378.8	380.9	2.1	42	724	986	156	0.30	4.2e-01	Gravas
143	380.9	384.8	3.9	104	403	555	67	0.50	3.3e-07	Arcilla
144	384.8	385.8	1	79	555	747	84	0.44	6.7e-05	Arena-Arcillosa
145	385.8	386.8	1	28	531	713	75	0.47	5.4e-06	Arcilla-Arenosa
146	386.8	389.7	2.9	46	572	771	205	0.25	1.4e+00	Gravas
146	**33**	**389.7**	**2.4**	**49**	**412**	**548**	**100**	**0.41**	**1.1e-01**	

SONDEO CB-9										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	24	28	4	16	492	657	85	0.38	7.2e-03	Limo
2	28	31.8	3.8	50	492	657	109	0.32	1.7e-01	Arena
3	31.8	32.9	1.1	7	498	666	88	0.37	1.7e-02	Limo
4	32.9	34.5	1.6	7	421	557	106	0.33	1.3e-01	Arena
5	34.5	35.8	1.3	46	426	564	57	0.48	3.6e-06	Arcilla-Arenosa
6	35.8	36.9	1.1	42	415	548	72	0.42	5.8e-04	Arena-Arcillosa
7	36.9	38.3	1.4	50	415	548	53	0.50	3.3e-07	Arcilla
8	38.3	41.1	2.8	35	492	658	107	0.33	1.3e-01	Arena
9	41.1	45	3.9	66	463	616	60	0.47	8.9e-06	Arcilla-Arenosa
10	45	50.6	5.6	52	524	702	142	0.27	9.0e-01	Gravas
11	50.6	52.8	2.2	48	431	571	76	0.40	1.6e-03	Limo
12	52.8	55	2.2	31	497	664	99	0.34	7.9e-02	Arena
13	55	61	6	70	401	529	53	0.50	4.4e-07	Arcilla
14	61	64.5	3.5	26	523	701	89	0.37	1.6e-02	Limo
15	64.5	66.6	2.1	62	541	727	134	0.28	6.9e-01	Gravas
16	66.6	69.3	2.7	39	421	557	58	0.48	2.9e-06	Arcilla-Arenosa
17	69.3	71.5	2.2	27	494	660	98	0.34	6.8e-02	Arena
18	71.5	74.6	3.1	76	506	690	54	0.50	4.6e-07	Arcilla
19	74.6	78.7	4.1	50	466	621	100	0.34	7.4e-02	Arena
20	78.7	80.2	1.5	50	449	597	92	0.36	2.2e-02	Limo
21	80.2	81.6	1.4	20	492	657	94	0.35	4.1e-02	Arena
22	81.6	83.3	1.7	79	506	690	63	0.45	4.6e-05	Arcilla-Arenosa
23	83.3	86	2.7	58	477	637	84	0.38	6.5e-03	Limo
24	86	87.5	1.5	25	426	564	73	0.41	6.5e-04	Arena-Arcillosa
25	87.5	89.6	2.1	78	506	690	58	0.48	3.2e-06	Arcilla-Arenosa
26	89.6	90.9	1.3	18	444	589	67	0.44	1.3e-04	Arena-Arcillosa
27	90.9	92.1	1.2	91	506	690	55	0.49	8.2e-07	Arcilla-Arenosa
28	92.1	94.4	2.3	91	448	595	72	0.42	4.8e-04	Arena-Arcillosa
29	94.4	96.2	1.8	113	431	571	61	0.46	1.8e-05	Arcilla-Arenosa
30	96.2	100.2	4	35	486	648	92	0.36	2.4e-02	Limo
31	100.2	102.1	1.9	41	478	638	63	0.45	3.4e-05	Arcilla-Arenosa
32	102.1	103.6	1.5	36	451	599	71	0.42	5.6e-04	Arena-Arcillosa
33	103.6	105.8	2.2	71	506	690	58	0.48	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
34	105.8	108.9	3.1	34	485	647	79	0.39	5.2e-03	Limo
35	108.9	111	2.1	5	526	706	65	0.44	6.2e-05	Arena-Arcillosa
36	111	112	1	76	506	690	55	0.49	1.1e-07	Arcilla-Arenosa
37	112	114.1	2.1	52	506	690	67	0.44	1.3e-04	Arena-Arcillosa
38	114.1	115.4	1.3	57	506	690	53	0.50	3.7e-07	Arcilla
39	115.4	118.1	2.7	62	506	690	60	0.47	8.2e-06	Arcilla-Arenosa
40	118.1	120.3	2.2	56	506	690	65	0.45	4.4e-05	Arena-Arcillosa
41	120.3	121.7	1.4	25	453	602	55	0.49	1.2e-07	Arcilla-Arenosa
42	121.7	124	2.3	44	491	657	79	0.39	4.2e-03	Limo
43	124	125.6	1.6	54	506	690	70	0.42	4.8e-04	Arena-Arcillosa
44	125.6	127	1.4	3	525	704	77	0.40	2.2e-03	Limo
45	127	130.7	3.7	56	462	615	60	0.47	8.9e-06	Arcilla-Arenosa
46	130.7	133.8	3.1	47	488	653	91	0.36	2.2e-02	Arena
47	133.8	137.4	3.6	58	469	624	52	0.50	5.0e-07	Arcilla
48	137.4	141.4	4	25	474	632	101	0.34	6.0e-02	Arena
49	141.4	147.2	5.8	57	494	661	54	0.50	3.7e-07	Arcilla
50	147.2	151.1	3.9	18	489	653	101	0.34	7.4e-02	Arena
51	151.1	152.9	1.8	34	437	580	67	0.44	6.2e-05	Arena-Arcillosa
52	152.9	155.5	2.6	30	494	660	87	0.37	1.1e-02	Limo

53	155.5	156.5	1	52	506	690	75	0.41	6.8e-04	Arena-Arcillosa
54	156.5	157.7	1.2	52	506	690	80	0.39	2.8e-03	Limo
55	157.7	159.7	2	20	480	641	61	0.46	1.0e-05	Arcilla-Arenosa
56	159.7	160.8	1.1	44	442	586	76	0.40	1.3e-03	Limo
57	160.8	162.9	2.1	53	506	690	62	0.46	1.4e-05	Arcilla-Arenosa
58	162.9	165.5	2.6	53	435	577	64	0.45	4.1e-05	Arena-Arcillosa
59	165.5	166.6	1.1	15	463	616	61	0.46	1.8e-05	Arcilla-Arenosa
60	166.6	168.2	1.6	15	533	715	76	0.40	1.8e-03	Limo
61	168.2	171.6	3.4	25	528	708	98	0.34	6.0e-02	Arena
62	171.6	177.2	5.6	71	506	690	64	0.45	4.6e-05	Arena-Arcillosa
63	177.2	180.7	3.5	49	446	592	57	0.48	3.6e-06	Arcilla-Arenosa
64	180.7	182	1.3	25	510	684	78	0.40	2.2e-03	Limo
65	182	183.7	1.7	76	506	690	61	0.46	1.0e-05	Arcilla-Arenosa
66	183.7	185.1	1.4	29	446	593	64	0.45	3.4e-05	Arena-Arcillosa
67	185.1	186.1	1	43	511	684	60	0.47	8.3e-06	Arcilla-Arenosa
68	186.1	187.9	1.8	43	509	682	66	0.44	1.0e-04	Arena-Arcillosa
69	187.9	190.6	2.7	31	564	760	113	0.31	3.2e-01	Arena
70	190.6	195.5	4.9	40	498	666	76	0.40	1.3e-03	Limo
71	195.5	196.8	1.3	25	518	695	105	0.33	1.5e-01	Arena
72	196.8	198.3	1.5	20	473	630	90	0.36	2.2e-02	Limo
73	198.3	199.7	1.4	20	495	661	63	0.45	4.1e-05	Arcilla-Arenosa
74	199.7	201.9	2.2	27	513	687	69	0.43	2.7e-04	Arena-Arcillosa
75	201.9	203.8	1.9	82	414	546	59	0.47	8.2e-06	Arcilla-Arenosa
76	203.8	205.3	1.5	23	414	546	47	0.50	4.6e-07	Arcilla
77	205.3	207.9	2.6	23	532	714	83	0.38	7.2e-03	Limo
78	207.9	209.7	1.8	53	506	690	60	0.47	7.1e-06	Arcilla-Arenosa
79	209.7	212.5	2.8	65	481	643	66	0.44	1.3e-04	Arena-Arcillosa
80	212.5	216.8	4.3	37	438	581	45	0.50	3.7e-07	Arcilla
81	216.8	218.4	1.6	34	435	576	60	0.47	8.9e-06	Arcilla-Arenosa
82	218.4	220.8	2.4	49	434	575	72	0.42	5.0e-04	Arena-Arcillosa
83	220.8	225.4	4.6	12	485	648	95	0.35	3.2e-02	Arena
84	225.4	230.9	5.5	41	411	543	47	0.50	5.0e-07	Arcilla
85	230.9	233	2.1	16	459	610	87	0.37	1.7e-02	Limo
86	233	234.5	1.5	37	494	660	66	0.44	1.0e-04	Arena-Arcillosa
87	234.5	236.6	2.1	30	542	729	79	0.39	3.5e-03	Limo
88	236.6	239.8	3.2	43	516	691	102	0.34	7.9e-02	Arena
89	239.8	242.9	3.1	20	526	705	83	0.38	5.8e-03	Limo
90	242.9	245.6	2.7	36	471	628	65	0.45	4.1e-05	Arena-Arcillosa
91	245.6	248	2.4	14	454	603	51	0.50	3.3e-07	Arcilla
92	248	249.7	1.7	14	541	727	77	0.40	1.8e-03	Limo
93	249.7	252.6	2.9	46	414	547	52	0.50	4.4e-07	Arcilla
94	252.6	253.8	1.2	3	491	656	58	0.48	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
95	253.8	255.6	1.8	31	559	753	75	0.41	6.8e-04	Arena-Arcillosa
96	255.6	261.2	5.6	57	506	690	48	0.50	4.5e-07	Arcilla
97	261.2	264.3	3.1	69	476	634	67	0.44	1.3e-04	Arena-Arcillosa
98	264.3	267.2	2.9	69	506	690	46	0.50	3.3e-07	Arcilla
99	267.2	269.2	2	34	593	801	91	0.36	2.3e-02	Limo
100	269.2	271.1	1.9	53	506	690	73	0.41	7.3e-04	Arena-Arcillosa
101	271.1	272.6	1.5	46	456	606	58	0.48	3.6e-06	Arcilla-Arenosa
102	272.6	275.2	2.6	22	571	769	112	0.32	1.7e-01	Arena
103	275.2	277.3	2.1	69	506	690	85	0.38	6.5e-03	Limo
104	277.3	278.6	1.3	24	421	557	55	0.49	1.1e-07	Arcilla-Arenosa
105	278.6	280.7	2.1	37	578	779	100	0.34	7.4e-02	Arena
106	280.7	282.5	1.8	30	449	596	69	0.43	2.7e-04	Arena-Arcillosa
107	282.5	283.7	1.2	60	531	713	90	0.36	2.2e-02	Limo

108	283.7	285	1.3	30	477	637	74	0.41	7.3e-04	Arena-Arcillosa
109	285	290	5	18	544	731	99	0.34	7.4e-02	Arena
110	290	291.4	1.4	87	506	690	53	0.50	4.6e-07	Arcilla
111	291.4	292.7	1.3	6	589	795	60	0.47	8.3e-06	Arcilla-Arenosa
112	292.7	297.5	4.8	17	589	795	93	0.35	3.2e-02	Limo
113	297.5	301.1	3.6	11	408	538	56	0.49	1.2e-07	Arcilla-Arenosa
114	301.1	303.6	2.5	14	585	790	88	0.37	1.6e-02	Limo
115	303.6	305.8	2.2	52	585	789	111	0.32	2.0e-01	Arena
116	305.8	308.8	3	58	506	690	62	0.46	1.0e-05	Arcilla-Arenosa
117	308.8	314	5.2	15	597	807	114	0.31	2.8e-01	Arena
118	314	317.1	3.1	77	506	690	62	0.46	1.8e-05	Arcilla-Arenosa
119	317.1	319.1	2	48	599	809	121	0.30	4.2e-01	Arena
120	319.1	323.5	4.4	11	542	729	92	0.36	2.3e-02	Limo
121	323.5	324.6	1.1	36	602	813	104	0.33	1.3e-01	Arena
122	324.6	325.9	1.3	36	569	767	91	0.36	2.3e-02	Limo
123	325.9	331.3	5.4	10	609	823	110	0.32	1.9e-01	Arena
124	331.3	332.9	1.6	50	606	820	136	0.28	7.4e-01	Gravas
125	332.9	335.5	2.6	63	506	690	59	0.47	7.1e-06	Arcilla-Arenosa
126	335.5	337.9	2.4	53	411	543	71	0.42	4.8e-04	Arena-Arcillosa
127	337.9	341.7	3.8	98	506	690	52	0.50	3.7e-07	Arcilla
128	341.7	343.3	1.6	42	598	809	84	0.38	7.2e-03	Limo
129	343.3	344.8	1.5	81	506	690	54	0.50	3.3e-07	Arcilla
130	344.8	348.3	3.5	25	609	824	72	0.42	5.0e-04	Arena-Arcillosa
131	348.3	358.9	10.6	1	610	824	134	0.25	1.4e+00	Gravas
132	358.9	361.1	2.2	33	642	871	129	0.29	5.8e-01	Arena
133	361.1	364	2.9	39	643	871	160	0.25	1.4e+00	Gravas
134	364	371.9	7.9	118	506	690	44	0.50	3.3e-07	Arcilla
135	371.9	375.6	3.7	29	656	891	163	0.25	1.4e+00	Gravas
136	375.6	379.3	3.7	26	603	814	94	0.35	4.1e-02	Arena
137	379.3	381.3	2	35	634	859	78	0.40	2.2e-03	Limo
138	381.3	385.2	3.9	68	506	690	57	0.48	3.2e-06	Arcilla-Arenosa
139	385.2	386.9	1.7	36	643	871	52	0.50	3.3e-07	Arcilla
140	386.9	394.2	7.3	25	620	839	162	0.25	1.4e+00	Gravas
141	394.2	398.1	3.9	27	537	721	97	0.35	4.3e-02	Arena
142	398.1	399.8	1.7	63	506	690	72	0.42	4.8e-04	Arena-Arcillosa
143	399.8	401.4	1.6	53	506	690	86	0.37	1.6e-02	Limo
144	401.4	404.4	3	0	743	1013	136	0.28	7.1e-01	Gravas
144	**24**	**404.4**	**2.6**	**42**	**505**	**679**	**79**	**0.41**	**8.8e-02**	

SONDEO CB-4										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Rₒ (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	40.4	46.3	5.9	31	290	371	128	0.39	5.0e-03	Limo
2	46.3	49.4	3.1	22	290	371	96	0.46	1.2e-05	Arcilla-Arenosa
3	49.4	54.7	5.3	7	290	371	168	0.33	1.4e-01	Arena
4	54.7	58.8	4.1	7	281	359	187	0.30	3.4e-01	Grava
5	58.8	65.1	6.3	94	322	431	83	0.50	3.3e-07	Arcilla
6	65.1	67.1	2	45	302	388	113	0.42	5.2e-04	Arena-Arcillosa
7	67.1	69.8	2.7	38	302	388	186	0.31	3.3e-01	Grava
8	69.8	71.1	1.3	55	322	431	103	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
9	71.1	72.5	1.4	85	322	431	126	0.39	5.0e-03	Limo
10	72.5	74	1.5	26	271	344	88	0.49	1.2e-06	Arcilla
11	74	75.4	1.4	49	285	365	104	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
12	75.4	77	1.6	85	322	431	83	0.50	3.3e-07	Arcilla
13	77	79.3	2.3	37	302	388	166	0.33	1.4e-01	Arena
14	79.3	81.2	1.9	54	283	362	133	0.38	9.1e-02	Limo
15	81.2	83.3	2.1	17	302	388	157	0.34	7.3e-02	Arena
16	83.3	86.4	3.1	95	322	431	101	0.45	5.0e-05	Arcilla-Arenosa
17	86.4	90.1	3.7	33	289	369	133	0.38	9.1e-02	Limo
18	90.1	92.4	2.3	73	322	431	104	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
19	92.4	93.9	1.5	53	289	369	122	0.40	2.1e-03	Arena-Arcillosa
20	93.9	95.3	1.4	67	322	431	101	0.45	5.0e-05	Arcilla-Arenosa
21	95.3	96.3	1	25	286	365	117	0.41	1.1e-03	Arena-Arcillosa
22	96.3	97.6	1.3	25	280	356	105	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
23	97.6	98.8	1.2	86	309	399	126	0.39	5.0e-03	Arena-Arcillosa
24	98.8	100.1	1.3	86	322	431	96	0.46	1.2e-05	Arcilla-Arenosa
25	100.1	101.3	1.2	27	303	390	108	0.43	2.4e-04	Arena-Arcillosa
26	101.3	103.4	2.1	59	303	390	168	0.33	1.4e-01	Arena
27	103.4	106.3	2.9	52	322	431	90	0.48	1.8e-06	Arcilla
28	106.3	109.7	3.4	44	289	369	108	0.45	5.0e-05	Arcilla-Arenosa
29	109.7	111.5	1.8	26	288	368	121	0.40	2.1e-03	Arena-Arcillosa
30	111.5	114.5	3	51	322	431	92	0.48	1.8e-06	Arcilla
31	114.5	117.2	2.7	26	288	369	154	0.34	7.3e-02	Arena
32	117.2	120.7	3.5	58	322	431	101	0.45	5.0e-05	Arcilla-Arenosa
33	120.7	123.5	2.8	15	288	369	148	0.35	7.3e-02	Limo
34	123.5	125.1	1.6	26	289	370	152	0.35	7.3e-02	Arena
35	125.1	130.9	5.8	29	342	445	137	0.37	1.4e-01	Limo
36	130.9	135.6	4.7	23	275	350	114	0.42	5.2e-04	Arena-Arcillosa
37	135.6	137	1.4	52	302	388	145	0.36	2.7e-01	Limo
38	137	138	1	16	285	364	117	0.41	1.1e-03	Arena-Arcillosa
39	138	139.2	1.2	42	285	364	130	0.38	9.1e-02	Limo
40	139.2	140.8	1.6	36	314	406	116	0.41	1.1e-03	Arena-Arcillosa
41	140.8	142.8	2	42	291	373	125	0.39	5.0e-03	Limo
42	142.8	145.5	2.7	27	302	388	156	0.34	7.3e-02	Arena
43	145.5	147.6	2.1	42	267	339	112	0.43	2.4e-04	Arena-Arcillosa
44	147.6	151.3	3.7	43	269	341	92	0.48	1.8e-06	Arcilla
45	151.3	153.8	2.5	28	292	374	122	0.40	2.1e-03	Limo
46	153.8	158.1	4.3	11	337	438	174	0.32	1.9e-01	Arena
47	158.1	160.3	2.2	16	297	380	143	0.36	2.7e-01	Limo
48	160.3	161.8	1.5	5	284	362	104	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
49	161.8	163.4	1.6	48	361	472	121	0.40	2.1e-03	Arena-Arcillosa
50	163.4	164.6	1.2	45	350	457	104	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
51	164.6	166.6	2	55	370	484	139	0.37	1.4e-01	Limo
52	166.6	169.7	3.1	56	322	431	103	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa

53	169.7	171.2	1.5	16	280	357	91	0.48	1.8e-06	Arcilla
54	171.2	174.3	3.1	42	380	499	132	0.38	9.1e-02	Limo
55	174.3	176	1.7	43	322	417	152	0.35	7.3e-02	Arena
56	176	178.2	2.2	42	322	431	135	0.37	1.4e-01	Limo
57	178.2	181.1	2.9	55	322	431	81	0.50	3.3e-07	Arcilla
58	181.1	183.6	2.5	34	284	363	104	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
59	183.6	188.2	4.6	111	258	327	80	0.50	3.3e-07	Arcilla
60	188.2	190.6	2.4	65	322	431	107	0.43	2.4e-04	Arcilla-Arenosa
61	190.6	193.5	2.9	37	303	390	133	0.38	9.1e-02	Limo
62	193.5	196.8	3.3	37	303	390	104	0.44	7.4e-05	Arena-Arcillosa
63	196.8	200.5	3.7	45	304	391	174	0.32	1.9e-01	Arena
64	200.5	205.6	5.1	20	337	438	142	0.36	2.7e-01	Limo
65	205.6	207.4	1.8	39	282	360	97	0.46	1.2e-05	Arcilla-Arenosa
66	207.4	209.1	1.7	25	306	394	122	0.40	2.1e-03	Arena-Arcillosa
67	209.1	212.9	3.8	65	322	431	97	0.46	1.2e-05	Arcilla-Arenosa
68	212.9	214.9	2	65	322	431	121	0.40	2.1e-03	Arena-Arcillosa
69	214.9	217	2.1	49	280	357	103	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
70	217	218.7	1.7	82	322	431	87	0.49	1.2e-06	Arcilla
71	218.7	223.4	4.7	20	310	400	149	0.35	7.3e-02	Limo
72	223.4	227.9	4.5	36	300	386	168	0.33	1.4e-01	Arena
73	227.9	232.7	4.8	77	322	431	75	0.50	3.3e-07	Arcilla
74	232.7	235.1	2.4	37	305	392	142	0.36	2.7e-01	Limo
75	235.1	236.6	1.5	80	322	431	103	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
76	236.6	241.4	4.8	47	317	409	170	0.32	1.9e-01	Arena
77	241.4	244.3	2.9	16	312	403	145	0.36	2.7e-01	Limo
78	244.3	246	1.7	24	324	420	153	0.35	7.3e-02	Arena
79	246	247.9	1.9	76	322	431	97	0.46	1.2e-05	Arcilla-Arenosa
80	247.9	251.3	3.4	36	311	401	112	0.42	5.2e-04	Arena-Arcillosa
81	251.3	253.3	2	26	282	360	92	0.47	4.3e-06	Arcilla
82	253.3	255.5	2.2	18	319	412	120	0.40	2.1e-03	Arena-Arcillosa
83	255.5	257	1.5	6	309	399	133	0.38	9.1e-02	Limo
84	257	259.9	2.9	54	322	431	89	0.48	1.8e-06	Arcilla
85	259.9	261.1	1.2	56	322	431	98	0.46	1.2e-05	Arcilla-Arenosa
86	261.1	262.1	1	59	322	431	88	0.49	1.2e-06	Arcilla
87	262.1	265.4	3.3	55	322	431	111	0.42	5.2e-04	Arena-Arcillosa
88	265.4	267	1.6	77	322	431	87	0.49	1.2e-06	Arcilla
89	267	269.2	2.2	26	335	435	112	0.42	5.2e-04	Arena-Arcillosa
90	269.2	271.6	2.4	7	338	439	186	0.31	3.3e-01	Arena
91	271.6	272.7	1.1	38	306	394	143	0.36	2.7e-01	Limo
92	272.7	273.8	1.1	30	336	437	162	0.33	1.4e-01	Arena
93	273.8	275	1.2	49	288	368	108	0.43	2.4e-04	Arena-Arcillosa
94	275	276.3	1.3	22	317	409	132	0.38	9.1e-02	Limo
95	276.3	277.8	1.5	50	322	431	92	0.48	1.8e-06	Arcilla
96	277.8	279.8	2	9	311	401	116	0.41	1.1e-03	Arena-Arcillosa
97	279.8	281.7	1.9	11	351	458	150	0.35	7.3e-02	Limo
98	281.1	282.8	1.1	55	351	458	164	0.33	1.4e-01	Arena
99	282.8	284.3	1.5	16	304	391	133	0.38	9.1e-02	Limo
100	284.3	285.7	1.4	75	333	432	172	0.32	1.9e-01	Arena
101	285.7	287.9	2.2	75	322	431	102	0.45	5.0e-05	Arcilla-Arenosa
102	287.9	293.9	6	7	341	444	152	0.35	7.3e-02	Limo
103	293.9	295.5	1.6	55	322	431	100	0.45	5.0e-05	Arcilla-Arenosa
104	295.5	300.2	4.7	58	322	431	126	0.39	5.0e-03	Arena-Arcillosa
105	300.2	306	5.8	80	322	431	104	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
106	306	311	5	8	360	471	159	0.34	7.3e-02	Arena
107	311	314.2	3.2	62	322	431	102	0.45	5.0e-05	Arcilla-Arenosa

108	314.2	316.7	2.5	7	404	533	171	0.32	1.9e-01	Arena
109	316.7	317.7	1	25	375	492	138	0.37	1.4e-01	Limo
110	317.7	319	1.3	11	396	521	168	0.33	1.4e-01	Arena
111	319	321.3	2.3	71	322	431	96	0.46	1.2e-05	Arcilla-Arenosa
112	321.3	322.4	1.1	20	362	474	112	0.42	5.2e-04	Arena-Arcillosa
113	322.4	323.6	1.2	20	295	379	102	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
114	323.6	326.6	3	32	365	477	129	0.38	9.1e-02	Limo
115	326.6	332.3	5.7	7	374	490	186	0.31	3.3e-01	Arena
116	332.3	334.5	2.2	41	362	473	243	0.26	1.3e+00	Gravas
117	334.5	337.7	3.2	41	312	402	146	0.36	2.7e-01	Limo
118	337.7	339	1.3	70	322	431	106	0.43	2.4e-04	Arena-Arcillosa
119	339	341.7	2.7	42	362	473	160	0.34	7.3e-02	Arena
120	341.7	344.7	3	18	372	487	124	0.39	5.0e-03	Limo
121	344.7	345.9	1.2	87	339	440	158	0.34	7.3e-02	Arena
122	345.9	348.1	2.2	65	289	369	125	0.39	5.0e-03	Limo
123	348.1	357.5	9.4	7	407	537	249	0.25	1.4e+00	Gravas
124	357.5	360.2	2.7	109	322	431	95	0.47	4.3e-06	Arcilla-Arenosa
125	360.2	366.2	6	22	428	567	257	0.25	1.4e+00	Gravas
126	366.2	373.5	7.3	86	322	431	85	0.50	3.3e-07	Arcilla
127	373.5	378.2	4.7	26	564	759	250	0.25	1.4e+00	Gravas
128	378.2	379.6	1.4	34	408	538	180	0.31	3.3e-01	Arena
129	379.6	383.5	3.9	5	597	806	219	0.28	8.6e-01	Gravas
130	383.5	389.4	5.9	88	322	431	86	0.50	3.3e-07	Arcilla
131	389.4	397.1	7.7	18	495	662	252	0.25	1.4e+00	Gravas
132	397.1	400.3	3.2	66	322	431	125	0.39	5.0e-03	Limo
133	400.3	404.9	4.6	6	489	653	188	0.40	2.1e-03	Arena
134	404.9	407	2.1	12	479	640	213	0.28	8.6e-01	Gravas
135	407	410.9	3.9	44	372	487	105	0.44	7.4e-05	Arcilla-Arenosa
136	410.9	414.2	3.3	44	372	487	230	0.27	1.1e+00	Gravas
136	**40.4**	**414.2**	**2.9**	**46**	**355**	**464**	**143**	**0.43**	**1.4e-01**	

SONDEO CB-11										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	25.4	28.7	3.3	8	365	477	133	0.33	4.1e-02	Arena
2	28.7	30.4	1.7	8	365	477	91	0.42	6.4e-04	Arena-Arcillosa
3	30.4	33.3	2.9	8	365	477	70	0.49	1.1e-06	Arcilla-Arenosa
4	33.3	35.2	1.9	8	364	477	91	0.42	6.0e-04	Arena-Arcillosa
5	35.2	45.7	10.5	14	384	505	182	0.27	1.0e+00	Gravas
6	45.7	52.9	7.2	41	375	491	80	0.45	3.9e-05	Arena-Arcillosa
7	52.9	54.8	1.9	14	401	528	123	0.34	6.1e-02	Arena
8	54.8	56.8	2	68	404	545	82	0.44	6.8e-05	Arena-Arcillosa
9	56.8	57.8	1	61	379	498	99	0.39	2.8e-03	Limo
10	57.8	59.3	1.5	68	404	545	84	0.44	1.2e-04	Arena-Arcillosa
11	59.3	61.7	2.4	45	382	501	125	0.34	8.2e-02	Arena
12	61.7	67.1	5.4	44	369	484	79	0.45	2.9e-05	Arena-Arcillosa
13	67.1	69.4	2.3	43	364	477	105	0.38	7.4e-03	Limo
14	69.4	70.5	1.1	21	371	486	91	0.42	6.2e-04	Arena-Arcillosa
15	70.5	72.9	2.4	26	377	495	118	0.35	3.6e-02	Arena
16	72.9	76.8	3.9	21	361	472	67	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
17	76.8	78.3	1.5	10	391	514	86	0.43	2.3e-04	Arena-Arcillosa
18	78.3	81	2.7	61	389	511	111	0.37	1.7e-02	Limo
19	81	82.5	1.5	13	360	470	68	0.50	4.3e-07	Arcilla-Arenosa
20	82.5	83.5	1	54	404	545	86	0.43	1.9e-04	Arena-Arcillosa
21	83.5	85.8	2.3	54	404	545	74	0.47	5.3e-06	Arcilla-Arenosa
22	85.8	90.2	4.4	65	404	545	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
23	90.2	92.6	2.4	24	415	548	170	0.28	7.2e-01	Gravas
24	92.6	98.3	5.7	25	367	481	58	0.50	3.3e-07	Arcilla
25	98.3	99.8	1.5	78	404	545	67	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
26	99.8	102.4	2.6	67	404	545	60	0.50	3.3e-07	Arcilla
27	102.4	103.7	1.3	33	374	490	67	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
28	103.7	106.1	2.4	28	363	475	58	0.50	3.3e-07	Arcilla
29	106.1	107.5	1.4	20	402	530	70	0.49	1.1e-06	Arcilla-Arenosa
30	107.5	114.9	7.4	15	408	539	104	0.38	8.1e-03	Limo
31	114.9	119.4	4.5	50	361	471	60	0.50	3.3e-07	Arcilla
32	119.4	122.3	2.9	20	428	567	122	0.35	3.8e-02	Arena
33	122.3	125.1	2.8	50	382	502	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
34	125.1	128.5	3.4	45	399	526	75	0.47	5.3e-06	Arcilla-Arenosa
35	128.5	129.8	1.3	26	390	514	84	0.43	2.2e-04	Arena-Arcillosa
36	129.8	135.8	6	31	401	528	118	0.35	4.1e-02	Arena
37	135.8	137.9	2.1	38	361	472	72	0.48	2.4e-06	Arcilla-Arenosa
38	137.9	139.1	1.2	42	406	536	95	0.40	1.5e-03	Limo
39	139.1	142.7	3.6	44	385	505	70	0.49	1.1e-06	Arcilla-Arenosa
40	142.7	145.4	2.7	41	376	494	78	0.46	2.4e-05	Arena-Arcillosa
41	145.4	147.6	2.2	7	371	486	69	0.49	9.2e-07	Arcilla-Arenosa
42	147.6	149.5	1.9	27	391	515	84	0.44	1.2e-04	Arena-Arcillosa
43	149.5	151.8	2.3	46	377	494	73	0.48	3.4e-06	Arcilla-Arenosa
44	151.8	153.8	2	25	413	546	87	0.43	2.1e-04	Arena-Arcillosa
45	153.8	157.2	3.4	23	363	475	59	0.50	3.3e-07	Arcilla
46	157.2	158.5	1.3	26	380	499	77	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
47	158.5	161.2	2.7	27	360	470	59	0.50	3.3e-07	Arcilla
48	161.2	163	1.8	20	423	560	120	0.35	3.8e-02	Arena
49	163	167.6	4.6	12	412	544	106	0.41	9.0e-04	Limo
50	167.6	170.4	2.8	16	382	501	80	0.45	3.8e-05	Arena-Arcillosa
51	170.4	174.3	3.9	33	430	569	138	0.32	1.8e-01	Arena
52	174.3	177.2	2.9	25	359	469	67	0.50	4.3e-07	Arcilla-Arenosa

53	177.2	179.4	2.2	31	386	507	89	0.42	6.3e-04	Arena-Arcillosa
54	179.4	183.4	4	8	428	567	142	0.31	2.9e-01	Arena
55	183.4	185.8	2.4	21	370	484	68	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
56	185.8	187.4	1.6	27	370	484	61	0.50	3.3e-07	Arcilla
57	187.4	190.2	2.8	41	417	551	68	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
58	190.2	194.3	4.1	5	409	539	149	0.30	3.3e-01	Arena
59	194.3	196.8	2.5	33	377	494	68	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
60	196.8	201	4.2	24	395	519	96	0.41	7.2e-04	Limo
61	201	202.2	1.2	29	358	468	67	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
62	202.2	204.6	2.4	18	390	512	82	0.44	6.9e-05	Arena-Arcillosa
63	204.6	208.6	4	43	359	469	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
64	208.6	210.3	1.7	26	398	524	87	0.43	2.8e-04	Arena-Arcillosa
65	210.3	211.9	1.6	37	377	494	71	0.49	1.1e-06	Arcilla-Arenosa
66	211.9	213.7	1.8	64	404	545	99	0.39	5.2e-03	Limo
67	213.7	216.4	2.7	43	378	496	122	0.34	6.8e-02	Arena
68	216.4	217.7	1.3	40	381	500	89	0.42	6.0e-04	Arena-Arcillosa
69	217.7	219.3	1.6	53	399	526	106	0.38	8.8e-03	Limo
70	219.3	220.7	1.4	68	404	545	71	0.49	6.0e-07	Arcilla-Arenosa
71	220.7	222.7	2	45	398	525	102	0.39	4.5e-03	Limo
72	222.7	224	1.3	84	404	545	89	0.42	6.2e-04	Arena-Arcillosa
73	224	225.2	1.2	39	359	469	71	0.49	1.1e-06	Arcilla-Arenosa
74	225.2	227.8	2.6	59	404	545	78	0.46	1.4e-05	Arena-Arcillosa
75	227.8	229.4	1.6	62	404	545	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
76	229.4	230.8	1.4	29	422	559	94	0.41	1.1e-03	Limo
77	230.8	232.9	2.1	27	406	535	167	0.28	6.8e-01	Gravas
78	232.9	237.4	4.5	67	404	545	58	0.50	3.3e-07	Arcilla
79	237.4	238.9	1.5	68	404	545	81	0.45	2.9e-05	Arena-Arcillosa
80	238.9	242.4	3.5	75	404	545	68	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
81	242.4	247.1	4.7	43	508	680	128	0.34	8.2e-02	Arena
82	247.1	249.9	2.8	33	360	470	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
83	249.9	253.6	3.7	26	393	517	106	0.38	8.1e-03	Limo
84	253.6	254.8	1.2	58	406	535	118	0.35	4.1e-02	Arena
85	254.8	257.3	2.5	58	404	545	80	0.45	3.8e-05	Arena-Arcillosa
86	257.3	259.9	2.6	26	366	480	59	0.50	4.3e-07	Arcilla
87	259.9	261.5	1.6	11	410	542	102	0.39	3.3e-03	Limo
88	261.5	262.7	1.2	33	383	503	81	0.45	3.9e-05	Arena-Arcillosa
89	262.7	264.4	1.7	10	453	602	104	0.38	7.4e-03	Limo
90	264.4	266.7	2.3	10	407	536	139	0.32	1.8e-01	Arena
91	266.7	268	1.3	3	360	471	86	0.43	1.9e-04	Arena-Arcillosa
92	268	269.1	1.1	38	381	500	95	0.40	1.6e-03	Limo
93	269.1	270.2	1.1	37	366	479	73	0.48	3.2e-06	Arcilla-Arenosa
94	270.2	276.1	5.9	6	391	514	145	0.31	2.9e-01	Arena
95	276.1	280.9	4.8	70	366	479	55	0.50	3.3e-07	Arcilla
96	280.9	282.4	1.5	22	437	580	79	0.45	2.9e-05	Arena-Arcillosa
97	282.4	283.8	1.4	43	402	530	68	0.50	4.3e-07	Arcilla-Arenosa
98	283.8	285.2	1.4	3	465	620	92	0.41	9.6e-04	Arena-Arcillosa
99	285.2	288.1	2.9	30	361	472	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
100	288.1	289.4	1.3	71	404	545	70	0.49	9.2e-07	Arcilla-Arenosa
101	289.4	296.8	7.4	70	358	468	60	0.50	3.3e-07	Arcilla
102	296.8	298.5	1.7	58	404	545	67	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
103	298.5	301.6	3.1	19	492	658	158	0.29	6.0e-01	Gravas
104	301.6	303.1	1.5	19	492	658	124	0.34	6.1e-02	Arena
105	303.1	305.1	2	55	404	545	76	0.47	6.6e-06	Arcilla-Arenosa
106	305.1	308.7	3.6	27	532	714	192	0.26	1.2e+00	Gravas
107	308.7	316	7.3	75	404	545	63	0.50	4.3e-07	Arcilla

108	316	317.3	1.3	93	398	524	92	0.41	9.0e-04	Arena-Arcillosa
109	317.3	318.6	1.3	2	437	579	150	0.30	3.3e-01	Arena
110	318.6	321.3	2.7	70	404	545	78	0.46	2.4e-05	Arena-Arcillosa
111	321.3	323.8	2.5	18	415	548	151	0.30	3.6e-01	Arena
112	323.8	326.3	2.5	47	366	480	92	0.41	7.2e-04	Arena-Arcillosa
113	326.3	328.6	2.3	27	403	532	146	0.31	2.5e-01	Arena
114	328.6	330.1	1.5	68	504	674	109	0.37	1.2e-02	Limo
115	330.1	333.8	3.7	29	504	674	127	0.34	8.2e-02	Arena
116	333.8	335.5	1.7	26	462	615	103	0.38	8.1e-03	Limo
117	335.5	336.5	1	42	414	547	86	0.43	2.2e-04	Arena-Arcillosa
118	336.5	338.4	1.9	20	374	490	95	0.40	1.7e-03	Limo
119	338.4	341.3	2.9	55	404	545	64	0.50	4.3e-07	Arcilla-Arenosa
120	341.3	343.4	2.1	6	445	592	118	0.35	3.8e-02	Arena
121	343.4	348.1	4.7	91	404	545	83	0.44	6.9e-05	Arena-Arcillosa
122	348.1	354	5.9	7	579	780	184	0.27	1.0e+00	Gravas
123	354	357.7	3.7	63	404	545	69	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
124	357.7	359.3	1.6	68	404	454	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
125	359.3	360.7	1.4	71	514	689	133	0.33	1.3e-01	Arena
126	360.7	363.9	3.2	118	362	474	86	0.43	1.6e-04	Arena-Arcillosa
127	363.9	365.3	1.4	69	404	545	71	0.48	2.4e-06	Arcilla-Arenosa
128	365.3	369	3.7	99	404	545	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
129	369	372	3	43	650	882	201	0.25	1.5e+00	Gravas
130	372	373.2	1.2	59	417	551	148	0.31	2.9e-01	Arena
131	373.2	374.8	1.6	32	746	1017	173	0.28	7.8e-01	Gravas
132	374.8	376	1.2	92	404	545	101	0.39	5.2e-03	Limo
133	376	377.1	1.1	62	584	788	120	0.35	4.1e-02	Arena
134	377.1	378.5	1.4	114	358	467	74	0.47	6.6e-06	Arcilla-Arenosa
135	378.5	379.7	1.2	42	430	570	110	0.37	1.5e-02	Limo
136	379.7	380.8	1.1	92	404	545	80	0.45	3.8e-05	Arena-Arcillosa
137	380.8	382.2	1.4	53	492	657	145	0.31	2.5e-01	Arena
138	382.2	383.7	1.5	108	432	572	102	0.39	4.5e-03	Limo
139	383.7	385.3	1.6	69	589	796	136	0.32	1.8e-01	Arena
140	385.3	386.7	1.4	21	583	786	152	0.30	3.3e-01	Gravas
141	386.7	389	2.3	48	627	849	145	0.31	2.2e-01	Arena
142	389	392.9	3.9	37	572	771	165	0.29	5.6e-01	Gravas
143	392.9	398	5.1	29	507	679	126	0.34	6.8e-02	Arena
144	398	402.3	4.3	27	420	556	204	0.25	1.5e+00	Gravas
145	402.3	405.1	2.8	19	408	538	78	0.46	2.4e-05	Arena-Arcillosa
145	**25.4**	**405.1**	**2.6**	**41**	**413**	**547**	**97**	**0.42**	**9.7e-02**	

SONDEO CB-12										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	26.6	31.9	5.3	4	389	511	104	0.35	2.0e-02	Limo
2	31.9	35.2	3.3	34	389	511	132	0.30	2.5e-01	Arena
3	35.2	38.5	3.3	42	389	511	67	0.45	2.4e-06	Arcilla-Arenosa
4	38.5	41.9	3.4	38	396	522	99	0.36	1.1e-02	Limo
5	41.9	45.3	3.4	45	371	487	63	0.47	5.0e-07	Arcilla-Arenosa
6	45.3	47.5	2.2	87	409	540	140	0.30	3.8e-01	Gravas
7	47.5	48.8	1.3	76	401	529	128	0.31	1.9e-01	Arena
8	48.8	50.8	2	50	413	546	162	0.28	8.5e-01	Gravas
9	50.8	53.1	2.3	9	404	533	120	0.34	1.0e-01	Arena
10	53.1	56.3	3.2	41	389	512	65	0.46	1.4e-06	Arcilla-Arenosa
11	56.3	60.9	4.6	50	412	544	130	0.35	2.1e-02	Arena
12	60.9	63.8	2.9	2	410	541	152	0.28	6.2e-01	Gravas
13	63.8	66.6	2.8	52	436	602	70	0.44	1.0e-05	Arena-Arcillosa
14	66.6	68.4	1.8	36	380	499	58	0.50	3.3e-07	Arcilla
15	68.4	70.5	2.1	18	424	561	95	0.37	5.6e-03	Limo
16	70.5	75.3	4.8	26	367	480	51	0.50	3.3e-07	Arcilla
17	75.3	78.8	3.5	53	436	602	69	0.44	5.4e-06	Arcilla-Arenosa
18	78.8	81.4	2.6	48	377	494	59	0.49	3.3e-07	Arcilla
19	81.4	83.6	2.2	54	431	571	119	0.34	9.5e-02	Arena
20	83.6	86.2	2.6	43	413	546	90	0.39	2.2e-03	Limo
21	86.2	97.3	11.1	73	380	499	51	0.50	3.3e-07	Arcilla
22	97.3	101.3	4	78	417	551	82	0.41	3.5e-04	Arena-Arcillosa
23	101.3	102.7	1.4	69	415	549	94	0.38	4.8e-03	Limo
24	102.7	104.4	1.7	55	436	602	63	0.47	4.7e-07	Arcilla-Arenosa
25	104.4	106.2	1.8	20	406	536	104	0.36	1.9e-02	Limo
26	106.2	108.2	2	56	436	602	72	0.44	1.8e-05	Arena-Arcillosa
27	108.2	110.6	2.4	46	401	529	109	0.35	3.5e-02	Arena
28	110.6	113	2.4	28	382	502	100	0.36	1.2e-02	Limo
29	113	114.3	1.3	38	369	483	66	0.46	1.9e-06	Arcilla-Arenosa
30	114.3	115.9	1.6	16	380	498	74	0.43	4.3e-05	Arena-Arcillosa
31	115.9	117	1.1	33	369	484	57	0.50	3.3e-07	Arcilla
32	117	118.4	1.4	13	394	518	80	0.42	2.0e-04	Arena-Arcillosa
33	118.4	120.9	2.5	50	436	602	54	0.50	3.3e-07	Arcilla
34	120.9	127.6	6.7	30	395	520	121	0.33	1.1e-01	Arena
35	127.6	131.2	3.6	53	444	589	81	0.41	2.8e-04	Arena-Arcillosa
36	131.2	132.4	1.2	53	436	602	64	0.47	6.6e-07	Arcilla-Arenosa
37	132.4	135.3	2.9	23	383	503	70	0.44	1.0e-05	Arena-Arcillosa
38	135.3	138.2	2.9	33	368	482	58	0.49	3.3e-07	Arcilla
39	138.2	142.3	4.1	13	460	613	94	0.38	4.7e-03	Limo
40	142.3	147.3	5	62	436	302	57	0.50	3.3e-07	Arcilla
41	147.3	148.4	1.1	23	438	581	61	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
42	148.4	150	1.6	47	438	581	102	0.36	1.5e-02	Limo
43	150	152.9	2.9	66	436	602	61	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
44	152.9	155.3	2.4	28	465	619	126	0.32	1.6e-01	Arena
45	155.3	161.3	6	51	436	602	55	0.50	3.3e-07	Arcilla
46	161.3	165.9	4.6	27	487	651	132	0.30	2.4e-01	Arena
47	165.9	168.9	3	55	436	602	66	0.46	1.8e-06	Arcilla-Arenosa
48	168.9	175.3	6.4	13	546	734	122	0.32	1.2e-01	Arena
49	175.3	179.2	3.9	33	368	482	54	0.50	3.3e-07	Arcilla
50	179.2	180.7	1.5	17	472	629	78	0.42	1.3e-04	Arena-Arcillosa
51	180.7	182.5	1.8	53	436	602	59	0.49	3.3e-07	Arcilla
52	182.5	185.6	3.1	1	479	639	129	0.31	2.0e-01	Arena

53	185.6	193.5	7.9	75	428	566	62	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
54	193.5	195.3	1.8	28	416	550	120	0.45	3.5e-06	Arena
55	195.3	200.8	5.5	92	436	602	68	0.45	3.5e-06	Arcilla-Arenosa
56	200.8	202	1.2	92	436	602	73	0.44	1.6e-05	Arena-Arcillosa
57	202	203.4	1.4	20	375	492	58	0.49	3.3e-07	Arcilla
58	203.4	204.5	1.1	28	408	539	76	0.43	7.3e-05	Arena-Arcillosa
59	204.5	206.2	1.7	20	385	507	106	0.35	2.5e-02	Limo
60	206.2	207.4	1.2	0	413	546	120	0.34	1.0e-01	Arena
61	207.4	209.8	2.4	21	412	544	100	0.36	1.1e-02	Limo
62	209.8	212.4	2.6	76	436	602	61	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
63	212.4	213.7	1.3	37	416	550	76	0.42	8.0e-05	Arena-Arcillosa
64	213.7	214.9	1.2	71	436	602	63	0.47	5.4e-07	Arcilla-Arenosa
65	214.9	219.1	4.2	35	408	538	81	0.41	2.4e-04	Arena-Arcillosa
66	219.1	221.4	2.3	3	400	528	105	0.35	2.1e-02	Limo
67	221.4	222.6	1.2	12	405	534	153	0.28	6.3e-01	Gravas
68	222.6	223.6	1	40	377	494	86	0.40	9.8e-04	Limo
69	223.6	225	1.4	18	377	494	115	0.34	6.4e-02	Arena
70	225	226.4	1.4	67	436	602	81	0.41	2.6e-04	Arena-Arcillosa
71	226.4	227.6	1.2	19	377	495	99	0.36	9.4e-03	Limo
72	227.6	229	1.4	49	377	495	62	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
73	229	232.3	3.3	3	778	1063	88	0.39	1.5e-03	Limo
74	232.3	234.3	2	20	484	647	121	0.33	1.1e-01	Arena
75	234.3	237.6	3.3	78	436	602	62	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
76	237.6	239.2	1.6	51	436	602	54	0.50	3.3e-07	Arcilla
77	239.2	240.3	1.1	28	447	593	74	0.43	3.5e-05	Arena-Arcillosa
78	240.3	241.8	1.5	30	397	523	65	0.46	1.0e-06	Arcilla-Arenosa
79	241.8	244.2	2.4	20	757	1033	138	0.30	3.3e-01	Arena
80	244.2	246.2	2	36	428	567	169	0.28	1.0e+00	Gravas
81	246.2	249.3	3.1	72	436	602	73	0.43	2.8e-05	Arena-Arcillosa
82	249.3	250.8	1.5	58	436	602	54	0.50	3.3e-07	Arcilla
83	250.8	251.8	1	9	460	612	79	0.42	1.8e-04	Arena-Arcillosa
84	251.8	253.1	1.3	9	460	612	146	0.29	4.9e-01	Gravas
85	253.1	254.2	1.1	59	399	525	113	0.34	5.1e-02	Arena
86	254.2	256.3	2.1	22	399	525	178	0.27	1.2e+00	Gravas
87	256.3	260.9	4.6	92	436	602	53	0.50	3.3e-07	Arcilla
88	260.9	262.7	1.8	31	435	577	95	0.37	5.3e-03	Limo
89	262.7	264.2	1.5	52	436	602	71	0.44	1.6e-05	Arena-Arcillosa
90	264.2	266	1.8	7	498	666	109	0.35	3.5e-02	Arena
91	266	267.8	1.8	7	439	583	173	0.27	1.1e+00	Gravas
92	267.8	270.8	3	98	436	602	59	0.49	3.3e-07	Arcilla
93	270.8	273.1	2.3	36	462	615	121	0.33	1.1e-01	Arena
94	273.1	275.4	2.3	32	381	501	94	0.38	4.3e-03	Limo
95	275.4	277.2	1.8	24	469	625	112	0.34	4.9e-02	Arena
96	277.2	278.5	1.3	88	436	602	85	0.40	8.2e-04	Limo
97	278.5	279.8	1.3	68	436	602	66	0.46	1.5e-06	Arcilla-Arenosa
98	279.8	280.8	1	84	436	602	73	0.43	2.8e-05	Arena-Arcillosa
99	280.8	282.4	1.6	77	436	602	56	0.50	3.3e-07	Arcilla
100	282.4	284.3	1.9	81	436	602	63	0.47	4.1e-07	Arcilla-Arenosa
101	284.3	285.7	1.4	13	387	509	73	0.43	2.8e-05	Arena-Arcillosa
102	285.7	289	3.3	100	436	602	55	0.50	3.3e-07	Arcilla
103	289	291.5	2.5	14	655	889	180	0.26	1.3e+00	Gravas
104	291.5	294.2	2.7	82	436	602	61	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
105	294.2	295.5	1.3	37	482	643	78	0.42	1.4e-04	Arena-Arcillosa
106	295.5	297	1.5	69	436	602	67	0.45	3.1e-06	Arcilla-Arenosa
107	297	298.9	1.9	39	452	601	90	0.39	2.3e-03	Limo

108	298.9	301.4	2.5	78	436	602	71	0.44	1.6e-05	Arena-Arcillosa
109	301.4	303.5	2.1	26	493	659	124	0.32	1.3e-01	Arena
110	303.5	305.5	2	65	436	602	78	0.42	1.4e-04	Arena-Arcillosa
111	305.5	311.8	6.3	5	450	597	183	0.26	1.4e+00	Gravas
112	311.8	314.2	2.4	58	436	602	90	0.39	2.3e-03	Limo
113	314.2	316.9	2.7	75	436	602	59	0.49	3.3e-07	Arcilla
114	316.9	319.6	2.7	22	567	764	178	0.27	1.2e+00	Gravas
115	319.6	321.6	2	88	436	602	83	0.40	5.1e-04	Arena-Arcillosa
116	321.6	322.6	1	74	436	602	68	0.44	5.0e-06	Arcilla-Arenosa
117	322.6	324.4	1.8	51	464	618	92	0.38	3.1e-03	Limo
118	324.4	325.4	1	47	453	602	74	0.43	3.4e-05	Arena-Arcillosa
119	325.4	328.8	3.4	25	391	514	112	0.34	4.7e-02	Limo
120	328.8	331.8	3	18	386	507	121	0.33	1.1e-01	Arena
121	331.8	333.4	1.6	38	524	703	157	0.28	7.5e-01	Gravas
122	333.4	336.4	3	23	407	537	91	0.38	2.7e-03	Limo
123	336.4	338.4	2	11	420	556	134	0.30	2.7e-01	Arena
124	338.4	339.8	1.4	34	489	653	119	0.34	9.0e-02	Arena
125	339.8	341.5	1.7	9	550	740	172	0.27	1.1e+00	Gravas
126	341.5	345.6	4.1	50	436	602	76	0.42	8.3e-05	Arena-Arcillosa
127	345.6	346.6	1	17	468	623	102	0.36	1.5e-02	Limo
128	346.6	348.1	1.5	67	436	602	67	0.45	2.9e-06	Arcilla-Arenosa
129	348.1	351.3	3.2	94	436	602	54	0.50	3.3e-07	Arcilla
130	351.3	354.4	3.1	16	856	1174	175	0.27	1.2e+00	Gravas
131	354.4	358.3	3.9	65	436	602	50	0.50	3.3e-07	Arcilla
132	358.3	359.6	1.3	22	504	674	77	0.42	8.5e-05	Arena-Arcillosa
133	359.6	361.8	2.2	93	436	602	62	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
134	361.8	365	3.2	1	599	809	185	0.26	1.4e+00	Gravas
135	365	368.8	3.8	109	436	602	63	0.47	4.4e-07	Arcilla-Arenosa
136	368.8	370	1.2	46	476	635	92	0.38	3.1e-03	Limo
137	370	371.5	1.5	68	436	602	60	0.49	3.3e-07	Arcilla
138	371.5	374.1	2.6	20	517	693	98	0.36	9.0e-03	Limo
139	374.1	376.9	2.8	16	495	662	146	0.29	4.9e-01	Gravas
140	376.9	377.9	1	36	453	603	127	0.32	1.7e-01	Arena
141	377.9	381.4	3.5	7	429	568	173	0.27	1.1e+00	Gravas
142	381.4	383.7	2.3	118	755	1030	60	0.49	3.3e-07	Arcilla
143	383.7	385.9	2.2	46	487	651	103	0.36	1.8e-02	Limo
144	385.9	388.4	2.5	78	436	602	60	0.49	3.3e-07	Arcilla
145	388.4	392.2	3.8	8	794	1085	189	0.25	1.5e+00	Gravas
146	392.2	395.4	3.2	82	436	602	58	0.49	3.3e-07	Arcilla
147	395.4	398.9	3.5	33	612	828	190	0.25	1.5e+00	Gravas
148	398.9	403.5	4.6	4	396	521	97	0.36	7.1e-03	Limo
149	403.5	405.1	1.6	2	384	505	132	0.30	2.4e-01	Arena
150	405.1	408.3	5.1	67	436	602	69	0.47	5.5e-06	Arcilla-Arenosa
150	**26.6**	**408.3**	**2.6**	**43**	**445**	**597**	**94**	**0.40**	**1.5e-01**	

SONDEO CB-13										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Rₒ (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	25.0	28.0	3.0	11	364	476	91	0.41	1.1e-03	Limo
2	28.0	30.4	2.4	6	364	476	86	0.42	4.0e-04	Arena-Arcillosa
3	30.4	34.6	4.2	0	364	476	92	0.40	1.4e-03	Limo
4	34.6	43.1	8.5	6	366	479	163	0.28	7.2e-01	Gravas
5	43.1	46.2	3.1	46	380	499	76	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
6	46.2	47.6	1.4	38	366	479	69	0.48	7.5e-06	Arcilla-Arenosa
7	47.6	50.1	2.5	50	351	458	85	0.42	3.5e-04	Arena-Arcillosa
8	50.1	51.7	1.6	41	383	503	91	0.41	1.1e-03	Limo
9	51.7	53.9	2.2	26	368	482	82	0.43	1.5e-04	Arena-Arcillosa
10	53.9	56.2	2.3	13	380	498	155	0.29	6.0e-01	Gravas
11	56.2	58.4	2.2	46	360	471	76	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
12	58.4	60.3	1.9	17	361	471	73	0.47	6.0e-06	Arcilla-Arenosa
13	60.3	66.4	6.1	25	353	460	110	0.36	3.4e-02	Arena
14	66.4	68.5	2.1	52	370	484	84	0.43	1.5e-04	Arena-Arcillosa
15	68.5	71.4	2.9	52	417	574	69	0.48	1.3e-06	Arcilla-Arenosa
16	71.4	74.4	3.0	18	416	550	127	0.33	9.2e-02	Arena
17	74.4	79.7	5.3	60	416	550	60	0.50	3.3e-07	Arcilla
18	79.7	82.2	2.5	82	411	543	81	0.44	1.0e-04	Arena-Arcillosa
19	82.2	83.5	1.3	82	407	537	95	0.40	1.5e-03	Limo
20	83.5	85.5	2.0	48	360	471	69	0.48	3.1e-06	Arcilla-Arenosa
21	85.5	86.9	1.4	57	417	574	82	0.43	1.5e-04	Arena-Arcillosa
22	86.9	89.6	2.7	47	353	461	72	0.47	7.5e-06	Arcilla-Arenosa
23	89.6	92.5	2.9	51	417	574	61	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
24	92.5	94.6	2.1	59	417	574	55	0.50	3.3e-07	Arcilla
25	94.6	97.8	3.2	47	411	543	68	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
26	97.8	101.1	3.3	20	424	561	107	0.37	1.6e-02	Limo
27	101.1	102.4	1.3	18	400	527	87	0.42	3.7e-04	Arena-Arcillosa
28	102.4	103.8	1.4	25	428	567	110	0.36	3.4e-02	Limo
29	103.8	105.0	1.2	26	380	499	85	0.43	1.5e-04	Arena-Arcillosa
30	105.0	107.4	2.4	5	417	551	100	0.38	5.8e-03	Limo
31	107.4	110.2	2.8	34	362	473	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
32	110.2	113.7	3.5	16	418	552	128	0.33	9.2e-02	Arena
33	113.7	117.2	3.5	43	353	460	59	0.50	3.3e-07	Arcilla
34	117.2	120.3	3.1	42	372	488	67	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
35	120.3	125.7	5.4	32	444	589	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
36	125.7	130.7	5.0	34	381	500	92	0.40	1.6e-03	Limo
37	130.7	133.6	2.9	59	417	574	73	0.47	7.5e-06	Arcilla-Arenosa
38	133.6	134.7	1.1	39	404	533	85	0.42	3.8e-04	Arena-Arcillosa
39	134.7	136.4	1.7	39	446	592	95	0.40	1.7e-03	Limo
40	136.4	139.7	3.3	24	376	494	76	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
41	139.7	143.0	3.3	35	396	522	96	0.39	3.3e-03	Limo
42	143.0	145.1	2.1	28	393	517	117	0.35	3.4e-02	Arena
43	145.1	147.4	2.3	52	417	574	68	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
44	147.4	149.2	1.8	45	363	475	61	0.50	3.3e-07	Arcilla
45	149.2	150.5	1.3	64	417	574	79	0.44	1.0e-04	Arena-Arcillosa
46	150.5	152.0	1.5	35	363	474	64	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
47	152.0	153.4	1.4	52	417	574	76	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
48	153.4	154.7	1.3	18	365	478	68	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
49	154.7	155.9	1.2	34	381	500	78	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
50	155.9	157.5	1.6	33	356	465	62	0.50	3.3e-07	Arcilla
51	157.5	159.5	2.0	35	356	465	69	0.48	2.5e-06	Arcilla-Arenosa
52	159.5	163.7	4.2	45	352	458	59	0.50	3.3e-07	Arcilla

53	163.7	166.3	2.6	36	431	571	128	0.33	9.2e-02	Arena
54	166.3	168.5	2.2	20	410	541	158	0.29	6.0e-01	Gravas
55	168.5	170.1	1.6	44	405	534	91	0.41	1.1e-03	Limo
56	170.1	175.4	5.3	7	435	576	115	0.35	3.8e-02	Arena
57	175.4	176.4	1.0	11	387	508	106	0.37	1.6e-02	Limo
58	176.4	178.1	1.7	11	419	554	128	0.33	9.2e-02	Arena
59	178.1	179.9	1.8	23	365	478	81	0.44	1.0e-04	Arena-Arcillosa
60	179.9	181.1	1.2	40	385	506	88	0.41	1.1e-03	Limo
61	181.1	182.7	1.6	34	361	471	67	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
62	182.7	184.2	1.5	25	420	555	77	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
63	184.2	190.3	6.1	68	417	574	69	0.48	3.1e-06	Arcilla-Arenosa
64	190.3	192.4	2.1	44	387	509	86	0.42	4.0e-04	Arena-Arcillosa
65	192.4	194.3	1.9	63	417	574	69	0.48	2.5e-06	Arcilla-Arenosa
66	194.3	195.3	1.0	40	372	487	80	0.44	1.0e-04	Arena-Arcillosa
67	195.3	201.1	5.8	55	368	482	68	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
68	201.1	202.4	1.3	20	415	548	84	0.43	1.5e-04	Arena-Arcillosa
69	202.4	203.8	1.4	26	378	496	68	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
70	203.8	205.6	1.8	14	459	611	107	0.37	1.6e-02	Limo
71	205.6	208.6	3.0	65	417	574	75	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
72	208.6	211.3	2.7	59	417	574	67	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
73	211.3	212.6	1.3	63	417	574	74	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
74	212.6	215.0	2.4	34	482	644	124	0.34	8.7e-02	Arena
75	215.0	217.3	2.3	51	351	457	75	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
76	217.3	220.0	2.7	19	433	573	156	0.29	6.0e-01	Gravas
77	220.0	224.7	4.7	63	417	574	67	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
78	224.7	227.1	2.4	54	384	505	78	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
79	227.1	230.4	3.3	23	406	536	189	0.26	1.1e+00	Gravas
80	230.4	233.8	3.4	20	353	461	113	0.36	2.3e-02	Arena
81	233.8	236.1	2.3	70	417	574	94	0.40	1.6e-03	Limo
82	236.1	239.8	3.7	34	393	518	79	0.44	1.0e-04	Arena-Arcillosa
83	239.8	241.9	2.1	5	432	572	193	0.25	1.4e+00	Gravas
84	241.9	245.9	4.0	36	374	490	98	0.39	3.3e-03	Limo
85	245.9	247.9	2.0	38	346	451	87	0.42	3.5e-04	Arena-Arcillosa
86	247.9	251.2	3.3	52	417	574	69	0.48	2.5e-06	Arcilla-Arenosa
87	251.2	257.3	6.1	0	404	533	193	0.25	1.4e+00	Gravas
88	257.3	260.5	3.2	21	372	488	97	0.39	3.3e-03	Limo
89	260.5	264.1	3.6	12	397	523	193	0.25	1.4e+00	Gravas
90	264.1	265.8	1.7	16	359	469	103	0.38	5.8e-03	Limo
91	265.8	268.1	2.3	9	450	598	166	0.28	7.2e-01	Gravas
92	268.1	270.3	2.2	48	356	465	71	0.48	1.3e-06	Arcilla-Arenosa
93	270.3	272.4	2.1	22	387	509	78	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
94	272.4	275.2	2.8	11	574	773	107	0.37	1.6e-02	Limo
95	275.2	277.0	1.8	20	531	713	123	0.34	8.7e-02	Arena
96	277.0	278.8	1.8	49	353	461	86	0.42	3.7e-04	Arena-Arcillosa
97	278.8	281.8	3.0	12	353	461	70	0.48	3.1e-06	Arcilla-Arenosa
98	281.8	282.9	1.1	13	508	680	102	0.38	5.8e-03	Limo
99	282.9	285.5	2.6	39	382	502	76	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
100	285.5	287.5	2.0	17	512	686	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
101	287.5	291.4	3.9	9	618	836	145	0.30	3.7e-01	Arena
102	291.4	292.8	1.4	28	383	503	174	0.27	9.8e-01	Gravas
103	292.8	295.5	2.7	22	363	475	74	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
104	295.5	296.8	1.3	11	411	543	89	0.41	1.1e-03	Limo
105	296.8	300.4	3.6	38	345	450	74	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
106	300.4	303.0	2.6	8	599	809	132	0.32	1.5e-01	Arena
107	303.0	305.7	2.7	46	491	656	84	0.43	1.5e-04	Arena-Arcillosa

108	305.7	307.4	1.7	48	417	552	52	0.50	3.3e-07	Arcilla
109	307.4	308.8	1.4	29	490	655	102	0.38	5.8e-03	Limo
110	308.8	330.4	21.6	92	417	574	52	0.50	3.3e-07	Arcilla
111	330.4	332.3	1.9	63	650	882	198	0.25	1.4e+00	Gravas
112	332.3	336.0	3.7	83	417	574	56	0.50	3.3e-07	Arcilla
113	336.0	338.4	2.4	15	567	763	184	0.26	1.3e+00	Gravas
114	338.4	341.9	3.5	65	417	574	56	0.50	3.3e-07	Arcilla
115	341.9	343.9	2.0	35	597	807	131	0.32	1.5e-01	Arena
116	343.9	345.0	1.1	61	538	723	111	0.36	2.3e-02	Limo
117	345.0	349.9	4.9	69	526	705	52	0.50	3.3e-07	Arcilla
118	349.9	353.3	3.4	27	596	806	198	0.25	1.4e+00	Gravas
119	353.3	355.6	2.3	48	349	455	86	0.42	4.0e-04	Arena-Arcillosa
120	355.6	356.6	1.0	26	456	607	109	0.36	2.3e-02	Limo
121	356.6	357.7	1.1	34	388	511	86	0.42	3.5e-04	Arena-Arcillosa
122	357.7	358.8	1.1	24	779	1065	112	0.36	2.3e-02	Arena
123	358.8	360.4	1.6	51	780	1065	98	0.39	3.3e-03	Limo
124	360.4	365.5	5.1	3	580	782	124	0.34	8.7e-02	Arena
125	365.5	368.6	3.1	29	417	574	93	0.40	1.4e-03	Limo
126	368.6	370.6	2.0	53	417	574	85	0.42	3.7e-04	Arena-Arcillosa
127	370.6	371.7	1.1	35	455	606	93	0.40	1.7e-03	Limo
128	371.7	373.0	1.3	60	417	574	81	0.44	1.0e-04	Arena-Arcillosa
129	373.0	374.7	1.7	40	513	687	96	0.39	3.3e-03	Limo
130	374.7	376.3	1.6	15	615	832	159	0.29	6.0e-01	Gravas
131	376.3	377.5	1.2	16	611	826	138	0.31	2.9e-01	Arena
132	377.5	380.5	3.0	24	665	902	151	0.30	3.7e-01	Gravas
133	380.5	381.9	1.4	14	665	903	142	0.31	2.9e-01	Arena
134	381.9	384.3	2.4	63	417	574	67	0.49	8.7e-07	Arcilla-Arenosa
135	384.3	386.7	2.4	63	573	773	76	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
136	386.7	388.7	2.0	45	680	924	107	0.37	1.6e-02	Limo
137	388.7	394.0	5.3	69	526	705	52	0.50	3.3e-07	Arcilla
138	394.0	399.0	5.0	15	615	832	159	0.29	6.0e-01	Gravas
138	**25**	**399**	**2.8**	**36**	**430**	**573**	**96**	**0.41**	**1.6e-02**	

SONDEO LA CONCEPCIÓN										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	30.6	33.5	2.9	16	304	391	116	0.44	7.3e-04	Arcilla-Arenosa
2	33.5	38.9	5.4	42	307	396	110	0.47	2.4e-04	Arcilla
3	38.9	40.7	1.8	17	309	398	168	0.27	1.3e-01	Gravas
4	40.7	42.3	1.6	41	309	398	111	0.47	2.9e-04	Arcilla
5	42.3	43.9	1.6	24	288	369	146	0.30	2.7e-02	Arena
6	43.9	46.8	2.9	37	291	373	140	0.32	1.6e-02	Limo
7	46.8	49.5	2.7	46	301	386	122	0.38	1.8e-03	Arena-Arcillosa
8	49.5	51.8	2.3	46	298	382	107	0.49	1.5e-04	Arcilla
9	51.8	53.4	1.6	21	299	384	159	0.28	7.5e-02	Arena
10	53.4	54.9	1.5	51	285	364	127	0.36	3.6e-03	Limo
11	54.9	56.2	1.3	18	296	380	151	0.29	4.2e-02	Arena
12	56.2	57.3	1.1	18	293	375	182	0.26	3.7e-01	Gravas
13	57.3	58.6	1.3	28	295	378	112	0.45	1.5e-04	Arcilla-Arenosa
14	58.6	60.6	2	12	288	368	139	0.35	2.7e-02	Limo
15	60.6	62.4	1.8	28	345	449	160	0.28	4.2e-02	Arena
16	62.4	65.7	3.3	31	290	371	111	0.47	1.3e-04	Arcilla
17	65.7	67.6	1.9	26	303	389	160	0.27	4.2e-02	Arena
18	67.6	70.8	3.2	51	303	389	117	0.43	1.8e-03	Arcilla-Arenosa
19	70.8	76.2	5.4	9	300	385	259	0.26	3.7e-01	Gravas
20	76.2	78.8	2.6	16	304	392	153	0.29	7.5e-02	Arena
21	78.8	80.8	2	24	289	370	130	0.36	3.6e-03	Limo
22	80.8	83.2	2.4	17	291	373	148	0.41	7.4e-04	Arena
23	83.2	88.6	5.4	33	289	370	113	0.45	2.4e-04	Arcilla-Arenosa
24	88.6	91	2.4	13	310	400	126	0.35	1.6e-02	Limo
25	91	92.9	1.9	28	306	394	139	0.38	1.8e-03	Arena
26	92.9	95.2	2.3	22	289	370	105	0.50	2.7e-05	Limo
27	95.2	97	1.8	21	303	390	119	0.40	7.4e-04	Arena
28	97	98.9	1.9	24	297	382	109	0.50	2.7e-05	Limo
29	98.9	100.2	1.3	44	303	390	87	0.50	3.2e-05	Arena-Arcillosa
30	100.2	101.7	1.5	23	288	368	107	0.32	1.3e-03	Limo
31	101.7	103.5	1.8	26	290	372	93	0.42	4.0e-06	Arena-Arcillosa
32	103.5	107.1	3.6	46	286	365	83	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
33	107.1	113.2	6.1	14	288	369	117	0.32	1.1e-04	Arena
34	113.2	117.4	4.2	33	304	391	89	0.45	1.1e-06	Arena-Arcillosa
35	117.4	120.1	2.7	10	306	394	122	0.28	1.8e-03	Arena
36	120.1	123.5	3.4	41	294	376	87	0.46	5.6e-07	Arena-Arcillosa
37	123.5	124.5	1	37	289	370	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
38	124.5	129.4	4.9	37	286	366	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
39	129.4	131.5	2.1	19	297	381	105	0.33	8.3e-05	Limo
40	131.5	137.8	6.3	49	286	365	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
41	137.8	139.4	1.6	29	306	394	90	0.44	1.4e-06	Arena-Arcillosa
42	139.4	140.7	1.3	29	306	394	81	0.48	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
43	140.7	144.5	3.8	28	290	371	97	0.39	1.9e-05	Limo
44	144.5	145.7	1.2	29	361	472	82	0.47	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
45	145.7	148.2	2.5	14	361	472	99	0.38	2.2e-05	Limo
46	148.2	154.2	6	44	319	419	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
47	154.2	155.9	1.7	21	286	366	87	0.46	6.3e-07	Arena-Arcillosa
48	155.9	160.9	5	49	319	419	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
49	160.9	162.3	1.4	30	300	385	90	0.44	1.8e-06	Arena-Arcillosa
50	162.3	163.6	1.3	42	290	371	78	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
51	163.6	166.2	2.6	13	294	376	103	0.34	6.0e-05	Limo
52	166.2	167.3	1.1	54	319	419	88	0.45	7.0e-07	Arena-Arcillosa

53	167.3	169	1.7	54	319	419	74	0.50	3.3e-07	Arcilla
54	169	171.2	2.2	22	322	419	90	0.44	1.7e-06	Arena-Arcillosa
55	171.2	172.6	1.4	21	299	384	106	0.32	1.1e-04	Limo
56	172.6	173.9	1.3	36	300	386	81	0.48	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
57	173.9	175.4	1.5	31	285	365	93	0.42	3.1e-06	Arena-Arcillosa
58	175.4	176.5	1.1	45	285	365	82	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
59	176.5	177.5	1	45	292	375	102	0.34	6.4e-05	Limo
60	177.5	181.4	3.9	40	292	375	82	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
61	181.4	182.8	1.4	25	293	375	93	0.42	3.4e-06	Arena-Arcillosa
62	182.8	183.9	1.1	25	293	375	107	0.32	1.3e-03	Limo
63	183.9	185.5	1.6	32	285	365	93	0.42	2.9e-06	Arena-Arcillosa
64	185.5	187.7	2.2	27	323	418	120	0.29	1.2e-03	Arena
65	187.7	189.6	1.9	45	286	366	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
66	189.6	191.1	1.5	52	319	419	68	0.50	3.3e-07	Arcilla
67	191.1	193	1.9	28	286	366	78	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
68	193	194.4	1.4	33	287	367	104	0.33	8.3e-05	Limo
69	194.4	195.4	1	21	287	367	97	0.39	2.2e-05	Limo
70	195.4	196.8	1.4	21	312	403	124	0.28	1.0e-02	Arena
71	196.8	197.9	1.1	21	293	375	99	0.38	2.2e-05	Limo
72	197.9	199.4	1.5	21	307	395	132	0.28	1.0e-02	Arena
73	199.4	200.6	1.2	43	286	366	81	0.48	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
74	200.6	201.7	1.1	37	286	366	95	0.40	1.1e-06	Arena-Arcillosa
75	201.7	203.7	2	42	286	366	75	0.50	3.3e-07	Arcilla
76	203.7	206	2.3	14	303	389	88	0.45	7.0e-07	Arena-Arcillosa
77	206	207.1	1.1	32	305	393	103	0.34	6.4e-05	Limo
78	207.1	210.6	3.5	32	289	370	90	0.44	1.4e-06	Arena-Arcillosa
79	210.6	211.8	1.2	16	299	383	111	0.31	6.2e-04	Limo
80	211.8	214	2.2	19	299	383	98	0.39	2.2e-05	Limo
81	214	219.8	5.8	18	299	385	113	0.31	4.6e-04	Arena
82	219.8	221.2	1.4	25	295	378	120	0.29	1.2e-03	Arena
83	221.2	224.8	3.6	42	288	368	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
84	224.8	227.2	2.4	20	289	369	94	0.41	2.0e-06	Arena-Arcillosa
85	227.2	228.5	1.3	19	292	374	106	0.32	1.1e-04	Limo
86	228.5	231.2	2.7	34	292	374	84	0.47	6.3e-07	Arena-Arcillosa
87	231.2	232.5	1.3	14	302	389	101	0.36	6.4e-05	Limo
88	232.5	234.3	1.8	28	291	373	81	0.48	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
89	234.3	235.6	1.3	46	289	370	105	0.33	8.3e-05	Limo
90	235.6	236.8	1.2	28	291	373	79	0.49	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
91	236.8	238	1.2	31	286	365	100	0.38	2.2e-05	Limo
92	238	239.2	1.2	27	293	376	84	0.47	6.3e-07	Arena-Arcillosa
93	239.2	242	2.8	24	300	385	113	0.31	1.4e-04	Arena
94	242	243.9	1.9	33	290	372	76	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
95	243.9	247.2	3.3	21	347	452	116	0.30	1.1e-03	Arena
96	247.2	250.2	3	18	360	470	136	0.27	1.0e-02	Arena
97	250.2	251.5	1.3	28	308	397	113	0.31	4.6e-04	Arena
98	251.5	253.1	1.6	26	324	420	119	0.29	1.2e-03	Arena
99	253.1	255.5	2.4	36	296	380	79	0.49	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
100	255.5	257.5	2	30	310	399	115	0.30	6.2e-04	Arena
101	257.5	259.3	1.8	29	289	370	84	0.47	6.3e-07	Arena-Arcillosa
102	259.3	260.6	1.3	28	310	399	91	0.44	2.4e-06	Arena-Arcillosa
103	260.6	266.1	5.5	55	319	419	77	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
104	266.1	269.7	3.6	34	309	399	91	0.44	2.4e-06	Arena-Arcillosa
105	269.7	272.2	2.5	37	292	375	79	0.49	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
106	272.2	273.9	1.7	43	316	408	103	0.34	6.4e-05	Limo
107	273.9	276.1	2.2	33	284	362	79	0.49	3.3e-07	Arcilla-Arenosa

108	276.1	277.4	1.3	24	338	439	107	0.32	1.4e-04	Limo
109	277.4	278.9	1.5	26	287	366	75	0.50	3.3e-07	Arcilla
110	278.9	279.9	1	11	304	391	83	0.47	6.3e-07	Arcilla-Arenosa
111	279.9	280.9	1	20	303	390	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
112	280.9	282.1	1.2	44	334	434	91	0.44	2.0e-06	Arena-Arcillosa
113	282.1	285	2.9	44	292	374	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
114	285	286.3	1.3	42	346	450	92	0.43	3.4e-06	Arena-Arcillosa
115	286.3	289.5	3.2	18	346	450	112	0.31	6.0e-04	Limo
116	289.5	290.7	1.2	38	350	457	92	0.43	3.4e-06	Arena-Arcillosa
117	290.7	293.6	2.9	15	350	457	103	0.34	5.7e-05	Limo
118	293.6	296.9	3.3	30	360	471	133	0.28	1.0e-02	Arena
119	296.9	298.1	1.2	57	319	419	105	0.33	1.1e-04	Limo
120	298.1	299.6	1.5	22	344	447	119	0.29	1.2e-03	Arena
121	299.6	303.4	3.8	59	299	384	89	0.44	8.2e-07	Arena-Arcillosa
122	303.4	305.2	1.8	59	319	419	81	0.48	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
123	305.2	307.4	2.2	49	284	363	73	0.50	3.3e-07	Arcilla
124	307.4	308.6	1.2	45	365	477	81	0.47	3.3e-06	Arcilla-Arenosa
125	308.6	309.6	1	20	314	406	76	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
126	309.6	312.3	2.7	20	371	486	123	0.28	2.3e-03	Arena
127	312.3	313.8	1.5	22	372	487	115	0.30	6.0e-04	Arena
128	313.8	315.2	1.4	37	314	405	88	0.45	8.2e-07	Arena-Arcillosa
129	315.2	316.5	1.3	30	364	477	105	0.33	8.7e-05	Limo
130	316.5	320.1	3.6	55	319	419	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
131	320.1	321.7	1.6	24	371	486	100	0.36	2.8e-05	Limo
132	321.7	325.4	3.7	46	285	364	82	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
133	325.4	328.1	2.7	24	383	503	148	0.25	3.3e-03	Gravas
134	328.1	329.5	1.4	27	335	435	106	0.32	1.1e-04	Limo
135	329.5	334.3	4.8	17	380	498	140	0.28	1.8e-03	Gravas
136	334.3	337	2.7	36	344	448	92	0.43	3.4e-06	Arena-Arcillosa
137	337	338	1	16	339	441	103	0.34	7.1e-05	Limo
138	338	339.3	1.3	16	331	429	93	0.42	3.4e-06	Arena-Arcillosa
139	339.3	341	1.7	50	319	419	103	0.33	8.3e-05	Limo
140	341	342.4	1.4	21	286	366	82	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
141	342.4	343.6	1.2	64	319	419	90	0.44	1.8e-06	Arena-Arcillosa
142	343.6	345.9	2.3	48	309	398	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
143	345.9	347.8	1.9	45	319	413	90	0.44	1.7e-06	Arena-Arcillosa
144	347.8	351.1	3.3	62	319	419	77	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
145	351.1	353	1.9	25	383	503	133	0.28	1.0e-02	Arena
146	353	354.1	1.1	38	341	444	109	0.32	6.2e-04	Limo
147	354.1	357.7	3.6	28	381	500	123	0.28	1.0e-02	Arena
148	357.7	359.1	1.4	49	291	373	92	0.43	2.4e-06	Arena-Arcillosa
149	359.1	360.3	1.2	43	318	411	102	0.34	6.0e-05	Limo
150	360.3	361.9	1.6	62	319	419	82	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
151	361.9	363.6	1.7	72	319	419	77	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
152	363.6	366.2	2.6	14	381	500	91	0.43	1.1e-06	Arena-Arcillosa
153	366.2	368.8	2.6	36	381	500	143	0.26	2.2e-02	Gravas
154	368.8	372.3	3.5	10	391	514	171	0.25	8.8e-02	Gravas
155	372.3	375.3	3	50	319	419	94	0.40	2.4e-06	Arena-Arcillosa
156	375.3	377.3	2	26	402	530	155	0.25	8.8e-02	Gravas
157	377.3	379.2	1.9	53	319	419	109	0.32	6.0e-04	Limo
158	379.2	380.8	1.6	44	388	510	119	0.29	1.2e-03	Arena
159	380.8	382.7	1.9	86	319	419	85	0.46	6.3e-07	Arena-Arcillosa
160	382.7	384.1	1.4	67	319	419	87	0.46	9.4e-07	Arena-Arcillosa
161	384.1	388.1	4	55	319	419	78	0.49	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
162	388.1	390.7	2.6	35	327	423	98	0.38	2.2e-05	Limo

163	390.7	392.8	2.1	29	403	531	138	0.27	1.7e-02	Arena
164	392.8	394.9	2.1	61	319	419	93	0.42	3.4e-06	Arena-Arcillosa
165	394.9	397.4	2.5	30	415	549	115	0.30	8.7e-04	Arena
166	397.4	403.4	6	22	395	520	136	0.27	1.0e-02	Arena
167	403.4	405.4	2	22	387	508	148	0.25	3.3e-02	Gravas
168	405.4	409	3.6	23	360	471	118	0.29	1.1e-03	Arena
169	409	410.1	1.1	23	383	503	162	0.25	8.8e-02	Gravas
170	410.1	411.4	1.3	62	305	393	112	0.31	3.4e-04	Limo
171	411.4	413.6	2.2	20	394	518	139	0.26	1.5e-02	Arena
172	413.6	415.2	1.6	20	440	584	170	0.25	1.4e-01	Gravas
173	415.2	417.1	1.9	42	342	445	135	0.27	9.5e-03	Arena
174	417.1	418.5	1.4	57	319	419	104	0.33	7.1e-05	Limo
175	418.5	419.9	1.4	29	396	522	148	0.25	3.1e-02	Gravas
176	419.9	420.9	1	66	319	419	97	0.39	1.9e-05	Limo
177	420.9	421.9	1	66	319	419	101	0.36	5.7e-05	Limo
178	421.9	423.1	1.2	66	319	419	91	0.43	3.1e-06	Arena-Arcillosa
179	423.1	425.5	2.4	20	431	571	139	0.26	2.2e-02	Arena
180	425.5	427.2	1.7	76	319	419	96	0.40	2.2e-05	Limo
181	427.2	428.8	1.6	50	369	483	112	0.31	1.4e-04	Limo
182	428.8	430.8	2	69	319	419	92	0.43	2.0e-06	Arena-Arcillosa
183	430.8	433.4	2.6	69	319	419	83	0.47	5.6e-07	Arcilla-Arenosa
184	433.4	435.8	2.4	17	481	642	159	0.25	1.4e-01	Gravas
185	435.8	437.3	1.5	35	380	498	125	0.28	2.2e-02	Arena
186	437.3	438.9	1.6	23	411	543	155	0.25	1.4e-01	Gravas
187	438.9	441.2	2.3	72	319	419	89	0.44	1.1e-06	Arena-Arcillosa
188	441.2	442.5	1.3	62	319	419	106	0.32	1.3e-03	Limo
189	442.5	444.2	1.7	79	319	419	77	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
190	444.2	446	1.8	38	417	551	103	0.33	7.1e-05	Arena-Arcillosa
191	446	447	1	105	414	547	144	0.26	2.2e-02	Gravas
192	447	448.9	1.9	67	429	568	179	0.25	1.4e-01	Gravas
193	448.9	450.3	1.4	99	345	450	124	0.28	1.0e-02	Arena
194	450.3	452.5	2.2	26	423	560	189	0.25	1.4e-01	Gravas
195	452.5	454	1.5	90	319	419	84	0.46	5.6e-07	Arena-Arcillosa
196	454	455.3	1.3	62	319	419	93	0.41	2.0e-06	Arena-Arcillosa
197	455.3	457	1.7	77	319	419	78	0.49	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
198	457	458.8	1.8	19	407	537	109	0.32	3.4e-04	Limo
199	458.8	460.6	1.8	19	355	463	137	0.27	1.7e-02	Arena
200	460.6	462.5	1.9	19	437	580	194	0.25	1.4e-01	Gravas
201	462.5	464.3	1.8	63	319	419	91	0.43	3.4e-06	Arena-Arcillosa
202	464.3	467.2	2.9	35	319	419	117	0.36	6.4e-05	Arena
203	467.2	468.7	1.5	35	370	484	93	0.41	2.4e-06	Arena-Arcillosa
204	468.7	474.9	6.2	76	319	419	77	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
205	474.9	476.4	1.5	57	319	419	88	0.45	9.5e-07	Arena-Arcillosa
206	476.4	478.1	1.7	35	377	494	133	0.28	1.0e-02	Arena
207	478.1	480	1.9	57	319	419	92	0.43	1.1e-06	Arena-Arcillosa
208	480	481	1	67	319	419	107	0.32	1.4e-04	Limo
209	481	482.6	1.6	44	344	448	77	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
209	**30.6**	**482.6**	**2.2**	**36**	**323**	**420**	**107**	**0.39**	**1.3e-02**	

SONDEO SANTA MARÍA										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Rₒ (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	25	28.1	3.1	6	310	400	122	0.41	1.2e-03	Arena-Arcillosa
2	28.1	29.6	1.5	26	305	393	132	0.39	4.9e-03	Limo
3	29.6	31.1	1.5	6	279	356	105	0.45	5.4e-05	Arcilla-Arenosa
4	31.1	33.5	2.4	7	294	377	124	0.40	1.6e-03	Arena-Arcillosa
5	33.5	35.8	2.3	16	287	367	142	0.37	1.4e-02	Limo
6	35.8	37.2	1.4	2	280	357	213	0.25	6.4e-01	Gravas
7	37.2	39.2	2	19	287	367	131	0.38	4.3e-03	Limo
8	39.2	41.1	1.9	7	301	387	170	0.34	1.2e-01	Arena
9	41.1	43.2	2.1	11	297	381	182	0.25	2.0e-01	Gravas
10	43.2	44.6	1.4	28	306	394	112	0.43	2.3e-04	Arcilla-Arenosa
11	44.6	46.1	1.5	14	294	376	158	0.35	5.6e-02	Arena
12	46.1	47.9	1.8	21	283	361	129	0.38	3.3e-03	Limo
13	47.9	49.5	1.6	22	310	399	192	0.25	3.3e-01	Gravas
14	49.5	53.7	4.2	31	278	354	97	0.46	6.9e-06	Arcilla
15	53.7	54.9	1.2	22	287	366	155	0.35	4.5e-02	Arena
16	54.9	58.7	3.8	35	305	392	126	0.40	1.4e-03	Arena-Arcillosa
17	58.7	62.3	3.6	12	287	367	132	0.38	4.9e-03	Limo
18	62.3	64.6	2.3	9	310	400	206	0.25	5.3e-01	Gravas
19	64.6	66.4	1.8	37	279	356	108	0.44	1.1e-04	Arcilla-Arenosa
20	66.4	67.8	1.4	13	295	378	216	0.25	6.9e-01	Gravas
21	67.8	71.7	3.9	47	281	358	100	0.44	1.8e-05	Arcilla
22	71.7	73.7	2	10	301	387	187	0.25	2.7e-01	Gravas
23	73.7	82.1	8.4	45	301	387	87	0.48	2.1e-06	Arcilla-Arenosa
24	82.1	83.4	1.3	31	280	357	119	0.41	8.4e-04	Limo
25	83.4	84.6	1.2	43	288	369	97	0.46	7.3e-06	Arena-Arcillosa
26	84.6	86	1.4	28	286	366	120	0.41	9.8e-04	Limo
27	86	91.7	5.7	39	310	400	95	0.47	4.3e-06	Arena-Arcillosa
28	91.7	94.5	2.8	7	284	363	110	0.43	1.5e-04	Limo
29	94.5	99.3	4.8	71	313	416	91	0.48	1.3e-06	Arena-Arcillosa
30	99.3	101.2	1.9	57	353	461	125	0.39	2.1e-03	Arena
31	101.2	103.4	2.2	74	313	416	82	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
32	103.4	105.5	2.1	41	262	332	117	0.46	9.8e-06	Limo
33	105.5	110	4.5	64	326	422	85	0.49	3.2e-06	Arcilla-Arenosa
34	110	115	5	80	313	416	98	0.47	5.0e-07	Arena-Arcillosa
35	115	117.2	2.2	71	313	416	88	0.42	6.0e-04	Arcilla-Arenosa
36	117.2	118.8	1.6	20	331	429	117	0.41	1.5e-06	Limo
37	118.8	120.3	1.5	65	313	416	92	0.42	6.0e-04	Arena-Arcillosa
38	120.3	121.7	1.4	54	313	416	117	0.49	7.8e-07	Limo
39	121.7	124.2	2.5	69	313	416	90	0.35	5.0e-02	Arena-Arcillosa
40	124.2	125.7	1.5	43	353	461	157	0.50	3.7e-07	Arena
41	125.7	128.1	2.4	67	313	416	88	0.40	1.3e-03	Arcilla-Arenosa
42	128.1	129.8	1.7	10	267	339	122	0.41	8.4e-07	Limo
43	129.8	134.8	5	51	295	379	87	0.41	2.4e-02	Arena-Arcillosa
44	134.8	136.9	2.1	37	320	414	148	0.36	1.3e-06	Arena
45	136.9	139.7	2.8	34	311	400	91	0.41	2.8e-02	Arena-Arcillosa
46	139.7	142.7	3	35	335	435	149	0.50	3.3e-07	Arena
47	142.7	144.6	1.9	46	280	357	86	0.48	5.0e-06	Arcilla-Arenosa
48	144.6	146	1.4	26	334	433	116	0.37	1.0e-02	Limo
49	146	147.2	1.2	31	355	463	138	0.44	6.2e-05	Arena
50	147.2	148.6	1.4	18	279	355	105	0.50	3.3e-07	Limo
51	148.6	150.7	2.1	45	286	366	83	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
52	150.7	153.8	3.1	55	293	375	72	0.50	3.9e-06	Arcilla

53	153.8	155	1.2	46	353	460	95	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
54	155	157.6	2.6	34	272	346	74	0.50	3.3e-07	Arcilla
55	157.6	158.8	1.2	47	318	410	89	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
56	158.8	163.2	4.4	38	274	349	79	0.50	3.3e-07	Arcilla
57	163.2	164.5	1.3	30	358	468	154	0.35	4.0e-02	Arena
58	164.5	166.4	1.9	22	277	352	79	0.50	3.3e-07	Arcilla
59	166.4	167.4	1	50	313	416	95	0.47	5.1e-06	Arena-Arcillosa
60	167.4	169.4	2	45	275	349	74	0.50	3.3e-07	Arcilla
61	169.4	172.1	2.7	17	348	453	148	0.36	2.5e-02	Arena
62	172.1	177.1	5	50	288	368	84	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
63	177.1	178.8	1.7	45	321	416	77	0.50	3.3e-07	Arcilla
64	178.8	180	1.2	22	334	434	96	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
65	180	181	1	45	307	395	85	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
66	181	184.2	3.2	31	310	400	104	0.45	8.2e-06	Limo
67	184.2	185.4	1.2	4	280	357	86	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
68	185.4	188.3	2.9	4	302	389	120	0.41	9.2e-04	Limo
69	188.3	192.1	3.8	45	259	328	76	0.50	3.3e-07	Arcilla
70	192.1	193.5	1.4	40	329	427	95	0.47	5.1e-06	Arena-Arcillosa
71	193.5	194.5	1	68	313	416	79	0.50	3.3e-07	Arcilla
72	194.5	197.6	3.1	51	313	416	82	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
73	197.6	199.7	2.1	36	377	495	126	0.39	2.3e-03	Arena
74	199.7	202.5	2.8	57	289	369	82	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
75	202.5	203.8	1.3	17	284	362	124	0.40	1.8e-03	Limo
76	203.8	206.2	2.4	83	313	416	79	0.50	3.3e-07	Arcilla
77	206.2	208	1.8	70	313	416	97	0.45	8.4e-06	Arena-Arcillosa
78	208	210.6	2.6	77	313	416	81	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
79	210.6	212.5	1.9	2	268	341	146	0.37	2.2e-02	Arena
80	212.5	213.7	1.2	20	298	383	99	0.45	1.3e-05	Arena-Arcillosa
81	213.7	214.7	1	15	296	379	124	0.39	1.8e-03	Limo
82	214.7	217.7	3	57	313	416	83	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
83	217.7	219.1	1.4	29	300	385	98	0.45	9.7e-06	Arena-Arcillosa
84	219.1	221.1	2	82	313	416	80	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
85	221.1	223.1	2	44	301	387	98	0.45	9.4e-06	Arena-Arcillosa
86	223.1	224.4	1.3	78	313	416	82	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
87	224.4	226.4	2	12	280	357	126	0.39	2.4e-03	Arena
88	226.4	228.1	1.7	82	313	416	91	0.48	1.2e-06	Arena-Arcillosa
89	228.1	229.4	1.3	28	295	379	89	0.47	6.9e-07	Arcilla-Arenosa
90	229.4	230.6	1.2	28	298	383	103	0.46	3.8e-05	Arena-Arcillosa
91	230.6	235.3	4.7	75	313	416	79	0.50	3.3e-07	Arcilla
92	235.3	238	2.7	72	313	416	96	0.47	6.2e-06	Arena-Arcillosa
93	238	239.1	1.1	69	294	377	109	0.43	1.5e-04	Limo
94	239.1	240.5	1.4	9	270	343	135	0.38	6.8e-03	Arena
95	240.5	241.7	1.2	34	346	450	109	0.43	1.3e-04	Limo
96	241.7	246.8	5.1	11	346	451	161	0.34	7.0e-02	Arena
97	246.8	249.7	2.9	26	334	433	106	0.44	6.8e-05	Limo
98	249.7	251.2	1.5	39	335	435	125	0.39	2.0e-03	Arena
99	251.2	253.7	2.5	29	300	386	104	0.45	4.1e-05	Limo
100	253.7	256.9	3.2	12	347	451	151	0.35	3.2e-02	Arena
101	256.9	258.5	1.6	28	293	375	101	0.46	2.0e-05	Arena-Arcillosa
102	258.5	259.8	1.3	4	407	536	194	0.25	3.6e-01	Gravas
103	259.8	263.4	3.6	2	378	496	157	0.35	5.1e-02	Arena
104	263.4	265.9	2.5	22	298	382	95	0.47	4.4e-06	Arena-Arcillosa
105	265.9	267.4	1.5	16	356	465	118	0.41	7.3e-04	Limo
106	267.4	271.4	4	44	299	384	97	0.45	8.2e-06	Arena-Arcillosa
107	271.4	273	1.6	18	364	476	132	0.38	4.7e-03	Arena

108	273	278.2	5.2	50	272	346	68	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
109	278.2	279.9	1.7	21	354	462	108	0.43	1.2e-04	Limo
110	279.9	281.7	1.8	26	308	397	98	0.45	1.1e-05	Arena-Arcillosa
111	281.7	285.3	3.6	10	366	479	161	0.34	6.6e-02	Arena
112	285.3	288	2.7	63	313	416	75	0.50	3.3e-07	Arcilla
113	288	289.7	1.7	3	348	543	130	0.38	3.9e-03	Arena
114	289.7	291.6	1.9	31	293	376	85	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
115	291.6	292.6	1	22	276	351	126	0.38	2.5e-03	Arena
116	292.6	293.6	1	34	326	422	96	0.45	5.4e-05	Arena-Arcillosa
117	293.6	294.6	1	13	274	349	147	0.37	2.3e-02	Arena
118	294.6	296.1	1.5	52	313	416	81	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
119	296.1	297.4	1.3	28	363	474	114	0.42	3.6e-04	Limo
120	297.4	302.4	5	51	313	416	88	0.47	5.0e-06	Arcilla-Arenosa
121	302.4	305.2	2.8	64	313	416	74	0.50	3.3e-07	Arcilla
122	305.2	306.6	1.4	32	403	532	116	0.42	5.2e-04	Limo
123	306.6	307.9	1.3	58	313	416	80	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
124	307.9	309.5	1.6	48	357	466	98	0.45	1.1e-05	Arena-Arcillosa
125	309.5	313.2	3.7	67	317	416	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
126	313.2	314.8	1.6	34	322	417	99	0.45	1.2e-05	Arena-Arcillosa
127	314.8	317.8	3	61	313	416	75	0.50	3.3e-07	Arcilla
128	317.8	321.6	3.8	81	313	416	88	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
129	321.6	323.1	1.5	32	421	558	109	0.43	1.4e-04	Limo
130	323.1	324.5	1.4	76	313	416	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
131	324.5	325.9	1.4	61	313	416	84	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
132	325.9	328.9	3	78	313	416	70	0.50	3.3e-07	Arcilla
133	328.9	330.9	2	44	320	414	98	0.45	1.1e-05	Arena-Arcillosa
134	330.9	334.1	3.2	71	313	416	77	0.50	3.3e-07	Arcilla
135	334.1	335.6	1.5	47	289	370	85	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
136	335.6	338.8	3.2	73	313	416	76	0.50	3.3e-07	Arcilla
137	338.8	341.4	2.6	25	404	533	143	0.37	1.7e-02	Arena
138	341.4	343.4	2	73	313	416	87	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
139	343.4	345.7	2.3	33	336	437	118	0.41	6.5e-04	Limo
140	345.7	347.4	1.7	88	313	416	82	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
141	347.4	348.8	1.4	62	313	416	98	0.45	1.1e-05	Arena-Arcillosa
142	348.8	350.3	1.5	94	313	416	87	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
143	350.3	351.8	1.5	34	283	361	147	0.36	2.4e-02	Arena
144	351.8	353.2	1.4	78	313	416	90	0.48	7.8e-06	Arena-Arcillosa
145	353.2	354.4	1.2	60	313	416	107	0.44	8.6e-05	Limo
146	354.4	355.9	1.5	85	313	416	92	0.44	1.8e-05	Arena-Arcillosa
147	355.9	357	1.1	52	313	416	116	0.42	5.0e-04	Limo
148	357	359.6	2.6	93	313	416	93	0.46	2.2e-05	Arena-Arcillosa
149	359.6	360.9	1.3	39	267	338	159	0.34	6.0e-02	Arena
150	360.9	362.2	1.3	61	490	655	120	0.41	9.3e-04	Limo
151	362.2	369.4	7.2	14	446	592	264	0.25	1.4e+00	Gravas
152	369.4	374.4	5	90	313	416	69	0.50	3.3e-07	Arcilla
153	374.4	377.2	2.8	55	313	416	105	0.45	5.2e-05	Limo
154	377.2	379.4	2.2	92	313	416	81	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
155	379.4	380.7	1.3	96	313	416	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
156	380.7	382.6	1.9	90	400	528	81	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
157	382.6	384.2	1.6	89	313	416	104	0.45	4.9e-05	Limo
158	384.2	385.5	1.3	82	313	416	84	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
159	385.5	388.6	3.1	83	313	416	96	0.47	5.9e-06	Arena-Arcillosa
160	388.6	390	1.4	28	291	373	184	0.25	2.4e-01	Gravas
161	390	393.3	3.3	78	313	416	94	0.47	3.1e-06	Arena-Arcillosa
162	393.3	394.9	1.6	39	280	357	155	0.35	4.4e-02	Arena

163	394.9	396.8	1.9	78	313	416	101	0.46	2.5e-05	Arena-Arcillosa
164	396.8	399.7	2.9	23	475	633	172	0.34	7.5e-02	Arena
165	399.7	402	2.3	31	373	489	163	0.34	1.3e-01	Gravas
166	402	403.1	1.1	23	426	563	154	0.37	1.0e-02	Arena
167	403.1	406.8	3.7	13	500	668	189	0.35	4.0e-02	Gravas
168	406.8	408.9	2.1	26	588	793	139	0.37	1.0e-02	Arena
169	408.9	412.4	3.5	23	588	794	190	0.25	3.1e-01	Gravas
170	412.4	416.1	3.7	22	397	523	157	0.35	5.0e-02	Arena
171	416.1	423.4	7.3	27	313	416	123	0.40	1.4e-03	Limo
172	423.4	426.6	3.2	22	562	757	167	0.34	9.7e-02	Arena
173	426.6	428.4	1.8	21	280	357	183	0.25	2.2e-01	Gravas
174	428.4	431.6	3.2	78	313	416	95	0.47	4.5e-06	Arena-Arcillosa
175	431.6	433.4	1.8	8	361	472	198	0.25	4.1e-01	Gravas
176	433.4	436.2	2.8	47	383	503	105	0.45	5.2e-05	Limo
177	436.2	437.4	1.2	40	284	363	137	0.37	8.9e-03	Arena
178	437.4	439.5	2.1	92	313	416	98	0.45	1.1e-05	Arena-Arcillosa
179	439.5	441.2	1.7	74	313	416	127	0.38	2.8e-03	Arena
180	441.2	443.8	2.6	98	313	416	99	0.44	1.5e-05	Arena-Arcillosa
180	**25**	**443.8**	**2.3**	**42**	**322**	**420**	**114**	**0.43**	**3.8e-02**	

SONDEO LA MERCED										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Rₒ (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	23	27.6	4.6	57	370	484	163	0.32	3.2e-01	Arena
2	27.6	30.3	2.7	7	370	484	214	0.25	1.3e+00	Gravas
3	30.3	33.3	3	5	356	464	127	0.34	5.8e-02	Limo
4	33.3	35	1.7	65	353	460	119	0.37	1.1e-02	Arena-Arcillosa
5	35	37.3	2.3	4	392	515	225	0.25	1.5e+00	Gravas
6	37.3	40.4	3.1	65	368	496	95	0.42	2.3e-04	Arcilla
7	40.4	42.8	2.4	19	387	508	210	0.25	1.2e+00	Gravas
8	42.8	46.1	3.3	70	338	439	116	0.37	8.2e-03	Arena-Arcillosa
9	46.1	48	1.9	72	375	492	169	0.32	4.2e-01	Arena
10	48	50.5	2.5	31	312	402	140	0.33	8.8e-02	Limo
11	50.5	52.4	1.9	87	357	466	106	0.40	1.8e-03	Arena-Arcillosa
12	52.4	54.5	2.1	48	362	474	128	0.35	3.1e-02	Limo
13	54.5	55.7	1.2	41	311	402	102	0.40	9.5e-04	Arcilla
14	55.7	57.8	2.1	32	311	402	116	0.36	8.1e-03	Arena-Arcillosa
15	57.8	59.3	1.5	31	371	485	125	0.35	2.2e-02	Limo
16	59.3	61.6	2.3	1	369	483	193	0.25	8.9e-01	Gravas
17	61.6	64.4	2.8	48	462	615	80	0.47	3.1e-06	Arena-Arcillosa
18	64.4	66	1.6	43	465	620	90	0.44	6.6e-05	Limo
19	66	67.5	1.5	65	368	496	88	0.45	3.7e-05	Arena-Arcillosa
20	67.5	68.8	1.3	38	363	474	91	0.43	1.0e-04	Limo
21	68.8	76.2	7.4	74	368	496	70	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
22	76.2	78.7	2.5	6	410	542	122	0.38	1.6e-02	Arena
23	78.7	81.9	3.2	64	451	599	81	0.46	5.0e-06	Arena-Arcillosa
24	81.9	84.7	2.8	11	415	548	126	0.35	2.7e-02	Arena
25	84.7	88.1	3.4	47	368	496	91	0.43	1.5e-04	Limo
26	88.1	91.5	3.4	66	368	496	77	0.49	9.2e-07	Arena-Arcillosa
27	91.5	94.9	3.4	23	308	397	97	0.42	3.7e-04	Limo
28	94.9	98.3	3.4	83	397	523	75	0.49	4.3e-07	Arcilla-Arenosa
29	98.3	100.7	2.4	10	443	588	104	0.40	1.3e-03	Limo
30	100.7	104	3.3	61	374	490	73	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
31	104	108.9	4.9	94	368	496	61	0.50	3.3e-07	Arcilla
32	108.9	112.1	3.2	67	307	396	86	0.45	2.2e-05	Arena-Arcillosa
33	112.1	113.7	1.6	6	424	562	91	0.43	9.5e-05	Limo
34	113.7	116.9	3.2	46	414	567	80	0.47	3.5e-06	Arena-Arcillosa
35	116.9	125.1	8.2	49	315	406	69	0.49	5.8e-07	Arcilla-Arenosa
36	125.1	128.7	3.6	51	322	496	81	0.46	5.6e-06	Arena-Arcillosa
37	128.7	131.4	2.7	53	368	496	72	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
38	131.4	135.9	4.5	89	368	496	82	0.46	7.3e-06	Arena-Arcillosa
39	135.9	140.2	4.3	14	372	487	99	0.41	5.3e-04	Limo
40	140.2	144.1	3.9	55	368	496	76	0.49	5.9e-07	Arena-Arcillosa
41	144.1	147.3	3.2	32	306	394	94	0.42	1.9e-04	Limo
42	147.3	149.3	2	2	306	394	109	0.39	3.1e-03	Arena
43	149.3	153	3.7	1	526	705	89	0.44	4.9e-05	Limo
44	153	155.8	2.8	95	368	496	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
45	155.8	158.8	3	4	494	660	130	0.34	4.0e-02	Arena
46	158.8	162.7	3.9	103	368	496	62	0.50	3.3e-07	Arcilla
47	162.7	164	1.3	30	308	396	78	0.48	1.8e-06	Arena-Arcillosa
48	164	165.3	1.3	65	368	496	73	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
49	165.3	167.5	2.2	18	354	462	84	0.46	1.3e-05	Arena-Arcillosa
50	167.5	169.9	2.4	72	368	496	73	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
51	169.9	172.4	2.5	46	380	499	78	0.48	1.6e-06	Arena-Arcillosa
52	172.4	176.8	4.4	72	346	496	66	0.50	3.3e-07	Arcilla

53	176.8	178.6	1.8	48	481	642	71	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
54	178.6	183.1	4.5	83	330	642	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
55	183.1	184.6	1.5	16	360	471	71	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
56	184.6	196.7	12.1	72	333	432	61	0.50	3.3e-07	Arcilla
57	196.7	199.3	2.6	26	441	585	80	0.47	3.5e-06	Arena-Arcillosa
58	199.3	201.7	2.4	24	353	461	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
59	201.7	205	3.3	43	372	487	72	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
60	205	208.1	3.1	35	376	494	78	0.48	1.4e-06	Arena-Arcillosa
61	208.1	215.9	7.8	54	398	525	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
62	215.9	217.1	1.2	64	327	424	74	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
63	217.1	219.3	2.2	64	389	512	66	0.50	3.3e-07	Arcilla
64	219.3	222.2	2.9	5	361	472	92	0.43	1.1e-04	Limo
65	222.2	226.2	4	23	486	650	70	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
66	226.2	228.1	1.9	20	339	440	99	0.41	5.4e-04	Limo
67	228.1	231.2	3.1	40	325	397	69	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
68	231.2	237.6	6.4	58	446	592	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
69	237.6	240.1	2.5	4	345	539	105	0.40	1.6e-03	Limo
70	240.1	246.2	6.1	42	298	383	66	0.50	3.3e-07	Arcilla
71	246.2	249.1	2.9	16	504	674	90	0.44	7.9e-05	Limo
72	249.1	252.7	3.6	16	399	525	118	0.37	1.1e-02	Arena
73	252.7	255.1	2.4	14	311	401	91	0.44	8.2e-05	Limo
74	255.1	258.9	3.8	69	311	478	86	0.45	2.6e-05	Arena-Arcillosa
75	258.9	261.3	2.4	17	383	504	110	0.39	3.7e-03	Arena
76	261.3	266.7	5.4	57	389	511	76	0.49	8.8e-07	Arena-Arcillosa
77	266.7	269.2	2.5	9	540	725	145	0.32	1.2e-01	Gravas
78	269.2	271.3	2.1	4	399	525	122	0.36	1.7e-02	Arena
79	271.3	275.5	4.2	8	461	613	98	0.41	4.9e-04	Limo
80	275.5	280.8	5.3	61	354	462	81	0.46	5.3e-06	Arena-Arcillosa
81	280.8	282.3	1.5	16	369	483	93	0.43	1.3e-04	Limo
82	282.3	285	2.7	71	334	433	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
83	285	286.5	1.5	36	394	518	72	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
84	286.5	289.1	2.6	65	394	518	67	0.50	3.3e-07	Arcilla
85	289.1	290.9	1.8	1	312	402	107	0.40	2.4e-03	Limo
86	290.9	292.5	1.6	41	335	435	87	0.45	3.2e-05	Arena-Arcillosa
87	292.5	296.8	4.3	30	317	503	92	0.44	7.7e-05	Limo
88	296.8	298.7	1.9	4	369	483	129	0.35	3.4e-02	Arena
89	298.7	302.4	3.7	0	384	504	97	0.42	3.5e-04	Limo
90	302.4	305.1	2.7	4	366	476	113	0.39	5.7e-03	Arena
91	305.1	309	3.9	70	399	525	76	0.49	8.8e-07	Arena-Arcillosa
92	309	311.7	2.7	37	370	485	66	0.50	3.3e-07	Arcilla
93	311.7	313.3	1.6	27	518	694	95	0.42	2.3e-04	Limo
94	313.3	315.3	2	84	518	694	70	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
95	315.3	321.5	6.2	72	360	470	76	0.44	4.2e-05	Arena-Arcillosa
96	321.5	323.8	2.3	100	310	399	60	0.50	3.3e-07	Arcilla
97	323.8	325.3	1.5	54	310	399	77	0.48	1.1e-06	Arena-Arcillosa
98	325.3	330.9	5.6	89	441	585	61	0.50	3.3e-07	Arcilla
99	330.9	332.3	1.4	70	337	437	80	0.47	3.9e-06	Arena-Arcillosa
100	332.3	336.6	4.3	82	624	845	70	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
101	336.6	338.5	1.9	84	368	496	61	0.50	3.3e-07	Arcilla
102	338.5	341	2.5	41	381	500	78	0.48	1.5e-06	Arena-Arcillosa
103	341	343.6	2.6	57	368	496	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
104	343.6	345.8	2.2	39	449	597	73	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
105	345.8	347.9	2.1	81	368	496	64	0.50	3.3e-07	Arcilla
106	347.9	349.7	1.8	55	358	467	73	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
107	349.7	352.1	2.4	67	368	496	65	0.50	3.3e-07	Arcilla

108	352.1	354.2	2.1	68	334	473	75	0.49	5.7e-07	Arcilla-Arenosa
109	354.2	355.6	1.4	50	357	466	78	0.45	1.4e-06	Arena-Arcillosa
110	355.6	359.3	3.7	96	368	496	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
111	359.3	362.2	2.9	62	303	440	83	0.46	8.9e-06	Arena-Arcillosa
112	362.2	364.2	2	70	316	408	70	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
113	364.2	366.7	2.5	89	489	653	78	0.48	1.7e-06	Arena-Arcillosa
114	366.7	372.3	5.6	91	359	454	69	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
115	372.3	379.6	7.3	3	558	751	178	0.32	5.8e-01	Gravas
116	379.6	383.6	4	67	368	496	58	0.50	3.3e-07	Arcilla
117	383.6	387.8	4.2	101	368	496	70	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
118	387.8	389.3	1.5	3	432	572	83	0.46	1.0e-05	Arena-Arcillosa
119	389.3	391.4	2.1	82	368	496	60	0.50	3.3e-07	Arcilla
120	391.4	394.1	2.7	101	368	496	69	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
121	394.1	398.4	4.3	72	382	502	81	0.46	4.5e-06	Arena-Arcillosa
122	398.4	400.1	1.7	105	368	496	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
123	400.1	402.9	2.8	81	293	375	73	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
124	402.9	406.2	3.3	77	406	536	67	0.50	3.3e-07	Arcilla
125	406.2	408.4	2.2	48	359	469	69	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
126	408.4	410.2	1.8	34	368	482	121	0.38	1.6e-02	Arena
127	410.2	413.3	3.1	39	447	594	93	0.43	1.4e-04	Limo
128	413.3	417.8	4.5	28	562	757	130	0.34	3.8e-02	Arena
129	417.8	419.4	1.6	54	382	502	98	0.41	4.7e-04	Limo
130	419.4	421.8	2.4	0	314	405	127	0.35	2.9e-02	Arena
131	421.8	425.2	3.4	25	462	615	101	0.41	7.9e-04	Limo
132	425.2	427.6	2.4	77	349	456	72	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
133	427.6	429.2	1.6	16	306	394	92	0.43	1.2e-04	Limo
134	429.2	431.1	1.9	71	402	530	87	0.45	2.8e-05	Arena-Arcillosa
135	431.1	433	1.9	28	319	413	120	0.38	1.3e-02	Arena
136	433	436.9	3.9	50	377	495	93	0.43	1.5e-04	Limo
137	436.9	439.1	2.2	27	357	466	115	0.39	7.4e-03	Arena
138	439.1	441.3	2.2	37	512	686	77	0.47	2.3e-06	Arena-Arcillosa
138	**23**	**441.3**	**3.0**	**47**	**381**	**507**	**91**	**0.44**	**5.0e-02**	

SONDEO LA CABAÑA										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Rₒ (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	25.6	27.2	1.6	1	302	389	152	0.26	1.3e-01	Arena
2	27.2	28.8	1.6	65	288	369	110	0.28	1.8e-03	Limo
3	28.8	30.1	1.3	19	365	478	204	0.25	9.3e-01	Gravas
4	30.1	31.7	1.6	65	365	478	162	0.26	2.2e-01	Arena
5	31.7	34	2.3	7	374	491	235	0.25	1.5e+00	Gravas
6	34	35.2	1.2	58	342	445	150	0.26	1.1e-01	Arena
7	35.2	38.6	3.4	12	342	446	208	0.25	1.0e+00	Gravas
8	38.6	40.6	2	51	317	410	104	0.29	5.9e-04	Limo
9	40.6	43.4	2.8	43	331	429	150	0.26	1.1e-01	Arena
10	43.4	46.4	3	61	352	470	115	0.35	3.1e-05	Arcilla-Arenosa
11	46.4	47.8	1.4	31	348	454	145	0.27	7.9e-02	Arena
12	47.8	50.5	2.7	52	352	470	91	0.35	3.1e-05	Arcilla-Arenosa
13	50.5	52.9	2.4	53	352	470	81	0.42	1.2e-06	Arcilla
14	52.9	54.3	1.4	6	286	366	126	0.27	1.5e-02	Limo
15	54.3	56.1	1.8	32	371	486	97	0.32	1.4e-04	Arcilla-Arenosa
16	56.1	59	2.9	49	299	383	100	0.32	2.5e-04	Arena-Arcillosa
17	59	61.6	2.6	17	421	557	178	0.27	4.4e-02	Gravas
18	61.6	66.7	5.1	74	374	490	93	0.35	5.4e-05	Arcilla-Arenosa
19	66.7	67.9	1.2	33	350	456	101	0.30	3.1e-04	Arena-Arcillosa
20	67.9	71.4	3.5	37	404	533	83	0.40	2.4e-06	Arcilla
21	71.4	72.7	1.3	22	378	496	105	0.29	6.9e-04	Arena
22	72.7	77.7	5	50	302	389	80	0.43	7.8e-07	Arena-Arcillosa
23	77.7	79.4	1.7	18	383	503	113	0.28	2.6e-03	Arena
24	79.4	80.6	1.2	0	373	488	151	0.26	1.2e-01	Grava
25	80.6	85.8	5.2	33	406	535	71	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
26	85.8	88.2	2.4	62	352	470	88	0.37	1.3e-05	Limo
27	88.2	90.2	2	46	313	403	71	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
28	90.2	91.7	1.5	18	330	428	101	0.30	3.5e-04	Arena
29	91.7	93.1	1.4	43	289	367	71	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
30	93.1	95.5	2.4	24	345	449	84	0.40	3.5e-06	Arena-Arcillosa
31	95.5	97.2	1.7	0	367	480	103	0.29	4.6e-04	Arena
32	97.2	101.9	4.7	20	334	434	82	0.40	2.0e-06	Arena-Arcillosa
33	101.9	103.5	1.6	9	367	480	87	0.38	8.6e-06	Limo
34	103.5	108.1	4.6	57	288	369	75	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
35	108.1	110	1.9	63	352	470	73	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
36	110	111	1	31	339	441	108	0.28	1.2e-03	Arena
37	111	113.7	2.7	37	307	395	74	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
38	113.7	114.9	1.2	46	328	425	76	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
39	114.9	118.4	3.5	49	359	469	69	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
40	118.4	120.5	2.1	18	366	480	76	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
41	120.5	121.9	1.4	34	285	364	68	0.50	3.3e-07	Arcilla
42	121.9	125.2	3.3	54	372	488	83	0.40	2.7e-06	Arena-Arcillosa
43	125.2	126.4	1.2	28	343	446	94	0.33	6.1e-05	Limo
44	126.4	128.2	1.8	53	352	470	71	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
45	128.2	129.6	1.4	41	364	476	83	0.40	2.4e-06	Arena-Arcillosa
46	129.6	130.9	1.3	41	385	506	89	0.37	2.0e-05	Limo
47	130.9	133.9	3	52	287	367	76	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
48	133.9	135.8	1.9	34	374	490	106	0.29	8.4e-04	Arena
49	135.8	138.9	3.1	20	359	469	85	0.38	5.4e-06	Limo
50	138.9	140	1.1	46	368	482	70	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
51	140	141	1	31	345	449	85	0.38	4.6e-06	Limo
52	141	142.1	1.1	24	366	478	76	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa

53	142.1	144	1.9	39	352	470	92	0.35	3.8e-05	Limo
54	144	145.9	1.9	49	326	422	78	0.43	4.8e-07	Arena-Arcillosa
55	145.9	147.1	1.2	41	352	470	69	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
56	147.1	149.2	2.1	38	306	394	81	0.43	1.1e-06	Arena-Arcillosa
57	149.2	152.2	3	51	352	470	71	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
58	152.2	156	3.8	1	401	528	111	0.28	2.0e-03	Arena
59	156	158.6	2.6	8	367	480	76	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
60	158.6	162.2	3.6	46	311	401	74	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
61	162.2	163.6	1.4	22	364	476	91	0.50	3.3e-07	Limo
62	163.6	165	1.4	30	286	366	68	0.50	3.3e-07	Arcilla
63	165	166.4	1.4	20	401	528	86	0.38	7.0e-06	Limo
64	166.4	167.6	1.2	28	392	516	120	0.28	7.3e-03	Grava
65	167.6	169.1	1.5	14	433	574	88	0.37	1.2e-05	Limo
66	169.1	170.4	1.3	29	325	421	104	0.29	6.5e-04	Arena
67	170.4	172.9	2.5	53	378	495	75	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
68	172.9	174.2	1.3	53	352	470	86	0.38	7.9e-06	Limo
69	174.2	176.2	2	32	411	543	78	0.43	4.4e-07	Arena-Arcillosa
70	176.2	177.6	1.4	21	399	525	93	0.33	5.9e-05	Limo
71	177.6	180.9	3.3	77	298	383	63	0.50	3.3e-07	Arcilla
72	180.9	182.3	1.4	44	364	476	86	0.38	8.4e-06	Limo
73	182.3	186.7	4.4	65	352	470	65	0.50	3.3e-07	Arcilla
74	186.7	188.5	1.8	23	352	470	95	0.33	9.4e-05	Limo
75	188.5	189.5	1	51	352	470	70	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
76	189.5	190.8	1.3	48	451	599	81	0.41	1.4e-06	Arena-Arcillosa
77	190.8	192.4	1.6	46	352	470	73	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
78	192.4	193.5	1.1	59	352	470	77	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
79	193.5	195.1	1.6	40	352	470	69	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
80	195.1	196.4	1.3	82	352	470	77	0.48	3.3e-07	Arena-Arcillosa
81	196.4	199.1	2.7	59	352	470	63	0.48	3.3e-07	Arcilla
82	199.1	202.1	3	36	443	589	84	0.40	3.4e-06	Arcilla-Arenosa
83	202.1	203.6	1.5	59	352	470	67	0.48	3.3e-07	Arcilla
84	203.6	205.2	1.6	48	418	553	80	0.43	9.1e-07	Arena-Arcillosa
85	205.2	206.3	1.1	19	286	365	85	0.38	5.7e-06	Limo
86	206.3	212.7	6.4	94	286	365	71	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
87	212.7	215.3	2.6	88	352	470	67	0.48	3.3e-07	Arcilla
88	215.3	216.9	1.6	35	355	463	82	0.40	2.1e-06	Arena-Arcillosa
89	216.9	218.3	1.4	60	352	470	69	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
90	218.3	220.3	2	18	419	554	90	0.37	2.7e-05	Limo
91	220.3	223.1	2.8	68	352	470	66	0.48	3.3e-07	Arcilla
92	223.1	224.1	1	31	352	470	69	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
93	224.1	225.4	1.3	45	352	470	65	0.48	3.3e-07	Arcilla
94	225.4	226.8	1.4	14	375	492	76	0.48	3.3e-07	Arena-Arcillosa
95	226.8	240.4	13.6	81	352	470	67	0.48	3.3e-07	Arcilla
96	240.4	241.7	1.3	53	352	470	70	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
97	241.7	245.8	4.1	70	352	470	63	0.48	3.3e-07	Arcilla
98	245.8	247.1	1.3	53	352	470	72	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
99	247.1	248.5	1.4	75	352	470	67	0.47	3.3e-07	Arcilla
100	248.5	249.6	1.1	75	352	470	84	0.47	3.3e-07	Arena-Arcillosa
101	249.6	251.5	1.9	57	352	470	63	0.47	3.3e-07	Arcilla
102	251.5	252.7	1.2	49	352	470	76	0.47	3.3e-07	Arena-Arcillosa
103	252.7	253.7	1	75	352	470	68	0.47	3.3e-07	Arcilla
104	253.7	255.3	1.6	75	352	470	70	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
105	255.3	259.1	3.8	56	352	470	65	0.47	3.3e-07	Arcilla
106	259.1	261.1	2	21	420	555	88	0.37	1.3e-05	Limo
107	261.1	263.1	2	71	352	470	76	0.47	3.3e-07	Arena-Arcillosa

108	263.1	266.8	3.7	10	427	566	91	0.37	2.8e-05	Limo
109	266.8	267.9	1.1	16	424	561	111	0.28	2.0e-03	Arena
110	267.9	269.8	1.9	9	433	574	134	0.27	3.1e-02	Grava
111	269.8	271.8	2	30	374	490	111	0.33	6.4e-05	Arena
112	271.8	272.8	1	48	332	431	82	0.40	2.2e-06	Arena-Arcillosa
113	272.8	273.9	1.1	27	427	565	118	0.28	5.7e-03	Arena
114	273.9	275.1	1.2	38	286	365	73	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
115	275.1	279.6	4.5	17	460	612	97	0.32	1.5e-04	Limo
116	279.6	281.1	1.5	51	352	470	101	0.30	3.5e-04	Arena
117	281.1	282.5	1.4	18	381	500	74	0.47	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
118	282.5	286.5	4	36	507	680	98	0.32	1.6e-04	Limo
119	286.5	287.9	1.4	5	413	546	101	0.30	3.6e-04	Arena
120	287.9	289.7	1.8	5	411	543	120	0.28	7.0e-03	Grava
121	289.7	293	3.3	10	434	575	103	0.29	5.4e-04	Arena
122	293	294.8	1.8	66	352	470	72	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
123	294.8	296.5	1.7	37	431	571	97	0.32	1.5e-04	Limo
124	296.5	300.4	3.9	10	445	592	101	0.30	3.6e-04	Arena
125	300.4	302.5	2.1	78	352	470	94	0.33	7.1e-05	Limo
126	302.5	316.7	14.2	60	352	470	73	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
127	316.7	319.4	2.7	1	425	563	149	0.26	1.0e-01	Grava
128	319.4	321.6	2.2	48	278	354	73	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
129	321.6	323	1.4	53	352	470	100	0.30	2.5e-04	Arena
130	323	324.2	1.2	82	352	470	71	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
131	324.2	325.2	1	71	322	470	84	0.38	4.1e-06	Arena-Arcillosa
132	325.2	327.1	1.9	75	352	470	73	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
133	327.1	328.3	1.2	45	352	470	68	0.46	3.3e-07	Arcilla
134	328.3	329.7	1.4	80	352	470	75	0.46	3.3e-07	Arena-Arcillosa
135	329.7	332.5	2.8	59	352	470	68	0.46	3.3e-07	Arcilla
136	332.5	334.4	1.9	59	352	470	96	0.33	1.0e-04	Limo
137	334.4	335.9	1.5	31	352	470	74	0.45	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
138	335.9	337	1.1	58	352	470	77	0.45	3.3e-07	Arena-Arcillosa
139	337	338.3	1.3	47	352	470	67	0.45	3.3e-07	Arcilla
140	338.3	339.3	1	62	352	470	72	0.45	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
141	339.3	340.3	1	52	352	470	68	0.45	3.3e-07	Arcilla
142	340.3	342.7	2.4	61	352	470	100	0.32	2.4e-04	Arena
143	342.7	344.6	1.9	60	352	470	65	0.45	3.3e-07	Arcilla
144	344.6	345.7	1.1	60	352	470	85	0.38	4.8e-06	Limo
145	345.7	346.7	1	77	352	470	67	0.45	3.3e-07	Arcilla
146	346.7	347.9	1.2	44	341	443	85	0.38	4.8e-06	Limo
147	347.9	351.2	3.3	88	352	470	64	0.45	3.3e-07	Arcilla
148	351.2	353.2	2	57	352	470	78	0.43	4.7e-07	Arena-Arcillosa
149	353.2	358.4	5.2	74	352	470	69	0.45	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
150	358.4	362.6	4.2	89	352	470	67	0.45	3.3e-07	Arcilla
151	362.6	364	1.4	53	352	470	75	0.44	3.3e-07	Arena-Arcillosa
152	364	365.7	1.7	97	352	470	65	0.44	3.3e-07	Arcilla
153	365.7	368	2.3	62	352	470	74	0.44	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
154	368	371.6	3.6	72	352	470	65	0.44	3.3e-07	Arcilla
154	**25.6**	**371.6**	**2.2**	**44**	**358**	**473**	**89**	**0.40**	**2.9e-02**	

SONDEO SANTA RITA										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Rₒ (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	24	28.9	4.9	65	237	297	181	0.37	1.8e-02	Arena-Arcillosa
2	28.9	32.7	3.8	16	286	366	228	0.31	2.0e-01	Arena
3	32.7	34	1.3	87	281	359	201	0.33	6.6e-02	Limo
4	34	35.7	1.7	17	295	378	269	0.29	6.7e-01	Gravas
5	35.7	36.8	1.1	47	237	296	239	0.31	3.2e-01	Arena
6	36.8	38.3	1.5	2	239	299	328	0.25	1.5e+00	Gravas
7	38.3	40.3	2	2	230	287	262	0.30	4.5e-01	Arena
8	40.3	42.2	1.9	98	229	284	166	0.38	5.3e-03	Arena-Arcillosa
9	42.2	45.1	2.9	32	261	330	207	0.33	9.1e-02	Limo
10	45.1	47.9	2.8	39	296	379	309	0.26	1.2e+00	Gravas
11	47.9	49.4	1.5	133	269	341	181	0.35	1.9e-02	Arena-Arcillosa
12	49.4	52.2	2.8	24	288	369	217	0.32	1.4e-01	Limo
13	52.2	54.2	2	20	224	278	139	0.43	1.9e-04	Arcilla
14	54.2	55.5	1.3	8	274	349	167	0.38	5.9e-03	Arena-Arcillosa
15	55.5	58.2	2.7	43	253	318	145	0.45	5.0e-05	Arcilla
16	58.2	61.1	2.9	31	302	388	331	0.25	1.5e+00	Gravas
17	61.1	67.5	6.4	43	236	295	150	0.41	9.1e-04	Arcilla-Arenosa
18	67.5	69.2	1.7	48	230	286	141	0.42	2.6e-04	Arcilla
19	69.2	70.4	1.2	10	261	329	179	0.37	1.6e-02	Arena-Arcillosa
20	70.4	71.5	1.1	28	244	306	147	0.42	6.1e-04	Arcilla
21	71.5	72.8	1.3	23	285	364	227	0.31	2.1e-01	Arena
22	72.8	74.9	2.1	40	240	301	149	0.41	8.1e-04	Arcilla-Arenosa
23	74.9	76.2	1.3	19	284	363	184	0.35	2.3e-02	Limo
24	76.2	77.7	1.5	48	245	308	142	0.42	3.0e-04	Arcilla
25	77.7	81.3	3.6	17	303	389	291	0.26	9.7e-01	Gravas
26	81.3	85.9	4.6	52	227	282	105	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
27	85.9	88.2	2.3	31	250	315	133	0.44	7.4e-05	Arena
28	88.2	90.4	2.2	63	239	299	104	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
29	90.4	91.9	1.5	33	238	297	109	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
30	91.9	93.3	1.4	62	234	297	102	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
31	93.3	94.4	1.1	29	260	329	123	0.46	1.1e-05	Limo
32	94.4	95.5	1.1	46	245	307	106	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
33	95.5	96.8	1.3	17	284	363	155	0.40	1.6e-03	Arena
34	96.8	107.8	11	25	277	353	131	0.44	5.1e-05	Limo
35	107.8	110.5	2.7	30	226	280	106	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
36	110.5	111.8	1.3	28	281	358	129	0.45	3.9e-05	Limo
37	111.8	113.1	1.3	47	237	296	115	0.48	1.7e-06	Arena-Arcillosa
38	113.1	114.6	1.5	29	283	362	151	0.40	1.0e-03	Arena
39	114.6	118.5	3.9	40	227	282	114	0.48	1.1e-06	Arena-Arcillosa
40	118.5	120.3	1.8	26	285	364	156	0.40	1.8e-03	Arena
41	120.3	121.6	1.3	19	231	287	121	0.47	7.4e-06	Limo
42	121.6	122.9	1.3	28	273	347	134	0.44	9.6e-05	Arena
43	122.9	125.9	3	11	223	277	110	0.49	4.0e-07	Arena-Arcillosa
44	125.9	127.6	1.7	19	264	335	118	0.48	3.3e-06	Limo
45	127.6	137.1	9.5	7	223	276	115	0.48	1.5e-06	Arena-Arcillosa
46	137.1	138.9	1.8	6	228	283	117	0.48	2.4e-06	Limo
47	138.9	140.7	1.8	27	256	323	111	0.49	5.0e-07	Arena-Arcillosa
48	140.7	144.9	4.2	10	235	293	119	0.47	4.1e-06	Limo
49	144.9	154.1	9.2	42	225	278	114	0.48	1.3e-06	Arena-Arcillosa
50	154.1	156.9	2.8	30	297	381	104	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
51	156.9	161.5	4.6	41	257	325	109	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
52	161.5	163.9	2.4	36	287	367	129	0.45	3.6e-05	Limo

53	163.9	167.7	3.8	18	226	280	134	0.44	9.6e-05	Arena
54	167.7	171.3	3.6	34	235	294	115	0.48	1.6e-06	Arena-Arcillosa
55	171.3	173.2	1.9	31	283	361	129	0.45	3.5e-05	Limo
56	173.2	174.6	1.4	51	231	287	112	0.49	7.6e-07	Arena-Arcillosa
57	174.6	176.4	1.8	45	288	369	124	0.45	1.5e-05	Limo
58	176.4	177.8	1.4	53	234	292	114	0.48	1.2e-06	Arena-Arcillosa
59	177.8	180.8	3	34	296	380	126	0.45	1.9e-05	Limo
60	180.8	182.2	1.4	40	227	282	111	0.49	6.1e-07	Arena-Arcillosa
61	182.2	183.2	1	40	259	327	121	0.47	7.1e-06	Limo
62	183.2	184.7	1.5	50	227	282	109	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
63	184.7	186.5	1.8	17	324	419	158	0.39	2.5e-03	Arena
64	186.5	190	3.5	55	235	294	121	0.47	7.4e-06	Limo
65	190	191.2	1.2	61	222	275	106	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
66	191.2	192.4	1.2	65	222	275	93	0.50	3.3e-07	Arcilla
67	192.4	194.9	2.5	58	238	298	106	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
68	194.9	198.4	3.5	87	297	382	98	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
69	198.4	200.6	2.2	67	236	295	91	0.50	3.3e-07	Arcilla
70	200.6	203.3	2.7	6	286	365	119	0.47	4.3e-06	Limo
71	203.3	205.2	1.9	61	236	294	96	0.50	3.3e-07	Arcilla
72	205.2	206.3	1.1	17	305	392	107	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
73	206.3	208.2	1.9	25	257	325	147	0.50	3.3e-07	Arena
74	208.2	214.1	5.9	32	245	307	118	0.48	3.3e-06	Limo
75	214.1	215.8	1.7	50	240	300	109	0.49	3.5e-07	Arena-Arcillosa
76	215.8	217.6	1.8	28	308	397	131	0.44	5.4e-05	Limo
77	217.6	219.3	1.7	44	224	277	111	0.48	1.6e-06	Arena-Arcillosa
78	219.3	220.4	1.1	66	224	277	97	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
79	220.4	221.6	1.2	30	298	383	117	0.48	2.6e-06	Limo
80	221.6	223.9	2.3	67	245	307	100	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
81	223.9	225.4	1.5	24	323	418	125	0.45	1.6e-05	Limo
82	225.4	229.3	3.9	40	239	298	106	0.49	5.0e-07	Arena-Arcillosa
83	229.3	230.7	1.4	69	228	283	97	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
84	230.7	232	1.3	42	275	349	111	0.49	5.1e-07	Arena-Arcillosa
85	232	233.5	1.5	54	227	282	96	0.50	3.3e-07	Arcilla
86	233.5	234.6	1.1	69	227	282	112	0.49	7.0e-07	Arena-Arcillosa
87	234.6	238.7	4.1	78	222	274	85	0.50	3.3e-07	Arcilla
88	238.7	240.3	1.6	64	241	302	101	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
89	240.3	242.1	1.8	88	228	284	96	0.50	3.3e-07	Arcilla
90	242.1	243.4	1.3	56	301	386	112	0.49	6.8e-07	Arena-Arcillosa
91	243.4	246	2.6	64	228	284	97	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
92	246	249.4	3.4	64	240	301	91	0.50	3.3e-07	Arcilla
93	249.4	251.6	2.2	26	271	344	112	0.49	7.2e-07	Arena-Arcillosa
94	251.6	254.5	2.9	74	229	285	94	0.50	3.3e-07	Arcilla
95	254.5	257.6	3.1	71	233	290	102	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
96	257.6	259.9	2.3	87	227	281	92	0.50	3.3e-07	Arcilla
97	259.9	261.5	1.6	38	278	354	100	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
98	261.5	262.7	1.2	50	238	297	91	0.50	3.3e-07	Arcilla
99	262.7	263.7	1	43	241	302	101	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
100	263.7	264.7	1	57	234	292	92	0.50	3.3e-07	Arcilla
101	264.7	266.7	2	62	236	295	101	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
102	266.7	269	2.3	44	253	319	109	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
103	269	270.4	1.4	54	233	290	98	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
104	270.4	271.8	1.4	30	243	305	104	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
105	271.8	273.6	1.8	66	237	296	97	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
106	273.6	276.6	3	72	258	326	91	0.50	3.3e-07	Arcilla
107	276.6	277.8	1.2	40	232	289	97	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa

108	277.8	279.5	1.7	74	230	286	95	0.50	3.3e-07	Arcilla
109	279.5	281.1	1.6	39	277	353	100	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
110	281.1	283.7	2.6	69	241	302	94	0.50	3.3e-07	Arcilla
111	283.7	285	1.3	34	227	282	99	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
112	285	286	1	64	227	282	91	0.50	3.3e-07	Arcilla
113	286	287.1	1.1	64	227	282	105	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
114	287.1	291.7	4.6	61	245	308	94	0.50	3.3e-07	Arcilla
115	291.7	293.1	1.4	14	284	363	110	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
116	293.1	294.6	1.5	87	243	305	89	0.50	3.3e-07	Arcilla
117	294.6	295.9	1.3	28	281	359	103	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
118	295.9	301	5.1	79	229	285	93	0.50	3.3e-07	Arcilla
119	301	305	4	64	286	365	97	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
120	305	307.9	2.9	60	319	413	106	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
121	307.9	312	4.1	81	240	300	94	0.50	3.3e-07	Arcilla
122	312	314	2	70	237	296	105	0.50	3.3e-07	Arena-Arcillosa
122	**24**	**314**	**2.4**	**44**	**253**	**319**	**130**	**0.46**	**6.1e-02**	

SONDEO SANTA ELENA										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Rₒ (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	40	44	4	2	294	377	178	0.26	2.5e-01	Arena
2	44	46.4	2.4	42	286	365	121	0.30	2.1e-03	Arcilla
3	46.4	49.1	2.7	40	319	412	169	0.26	1.6e-01	Limo
4	49.1	51.4	2.3	55	330	428	254	0.25	1.2e+00	Gravas
5	51.4	53.3	1.9	45	308	396	190	0.26	4.0e-01	Arena
6	53.3	57	3.7	37	359	469	255	0.25	1.5e+00	Gravas
7	57	58.4	1.4	46	308	397	173	0.26	1.9e-01	Limo
8	58.4	59.4	1	49	342	445	204	0.25	6.1e-01	Arena
9	59.4	61.5	2.1	40	337	438	166	0.27	1.4e-01	Limo
10	61.5	64.2	2.7	11	370	485	238	0.25	1.2e+00	Gravas
11	64.2	65.5	1.3	41	342	445	162	0.27	1.0e-01	Limo
12	65.5	67.3	1.8	13	365	477	216	0.25	8.4e-01	Gravas
13	67.3	68.7	1.4	24	317	409	162	0.27	1.0e-01	Limo
14	68.7	71.3	2.6	1	367	480	214	0.25	7.9e-01	Gravas
15	71.3	73.5	2.2	57	282	360	103	0.33	8.6e-05	Limo
16	73.5	74.5	1	29	310	399	124	0.28	3.4e-03	Arena
17	74.5	76.3	1.8	70	310	399	112	0.33	7.2e-05	Limo
18	76.3	77.8	1.5	70	283	361	95	0.35	1.1e-05	Arena-Arcillosa
19	77.8	80.1	2.3	33	308	397	111	0.30	4.2e-04	Limo
20	80.1	82	1.9	6	307	395	201	0.25	5.6e-01	Gravas
21	82	83.5	1.5	29	311	401	151	0.28	5.0e-02	Arena
22	83.5	84.8	1.3	28	326	422	170	0.26	1.6e-01	Gravas
23	84.8	86.3	1.5	42	296	380	109	0.32	2.8e-04	Limo
24	86.3	87.7	1.4	7	345	449	145	0.28	3.2e-02	Arena
25	87.7	90.8	3.1	32	319	413	114	0.30	7.4e-04	Limo
26	90.8	92.2	1.4	25	335	434	146	0.28	3.7e-02	Arena
27	92.2	94.7	2.5	6	288	368	115	0.32	8.9e-05	Limo
28	94.7	96.8	2.1	4	319	413	87	0.44	1.0e-06	Arena-Arcillosa
29	96.8	100.1	3.3	0	341	443	149	0.28	2.9e-03	Arena
30	100.1	101.1	1	27	285	365	94	0.38	9.5e-06	Arena-Arcillosa
31	101.1	102.2	1.1	27	312	402	128	0.28	5.3e-03	Arena
32	102.2	103.7	1.5	9	285	364	84	0.46	3.5e-07	Arcilla-Arenosa
33	103.7	106.3	2.6	3	329	364	116	0.30	1.0e-03	Limo
34	106.3	111.7	5.4	33	285	365	91	0.40	3.3e-06	Arena-Arcillosa
35	111.7	112.9	1.2	30	287	368	105	0.32	1.4e-04	Limo
36	112.9	114	1.1	62	325	427	83	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
37	114	115.9	1.9	38	321	416	112	0.30	5.2e-04	Limo
38	115.9	117.1	1.2	62	325	427	84	0.46	3.8e-07	Arcilla-Arenosa
39	117.1	118.2	1.1	46	322	417	103	0.33	8.5e-05	Limo
40	118.2	119.7	1.5	46	304	391	81	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
41	119.7	122.9	3.2	67	325	427	90	0.40	2.4e-06	Arena-Arcillosa
42	122.9	124	1.1	57	325	427	110		3.5e-04	Limo
43	124	125	1	57	325	427	79	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
44	125	126.6	1.6	51	337	438	98	0.35	2.9e-05	Arena-Arcillosa
45	126.6	127.7	1.1	46	337	438	101	0.33	4.9e-05	Limo
46	127.7	132.2	4.5	73	325	427	80	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
47	132.2	133.8	1.6	26	370	484	101	0.33	5.5e-05	Limo
48	133.8	134.8	1	57	346	450	89	0.40	2.3e-06	Arena-Arcillosa
49	134.8	135.8	1	31	371	486	129	0.28	6.3e-03	Arena
50	135.8	137.7	1.9	71	325	427	84	0.46	3.7e-07	Arcilla-Arenosa
51	137.7	139	1.3	36	281	359	91	0.40	3.4e-06	Arena-Arcillosa
52	139	141	2	36	281	359	77	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa

53	141	142.4	1.4	67	325	427	90	0.40	2.8e-06	Arena-Arcillosa
54	142.4	144.3	1.9	67	325	427	78	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
55	144.3	145.5	1.2	15	284	363	87	0.44	1.1e-06	Arena-Arcillosa
56	145.5	147.5	2	6	284	363	78	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
57	147.5	149.4	1.9	38	362	473	94	0.38	9.5e-06	Arena-Arcillosa
58	149.4	152.3	2.9	51	285	364	84	0.50	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
59	152.3	153.3	1	42	312	402	95	0.35	1.2e-05	Arena-Arcillosa
60	153.3	155.6	2.3	55	325	427	82	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
61	155.6	160.1	4.5	58	325	427	95	0.35	1.0e-05	Arena-Arcillosa
62	160.1	161.2	1.1	49	296	380	85	0.46	4.3e-07	Arcilla-Arenosa
63	161.2	162.2	1	64	325	427	88	0.44	1.5e-06	Arena-Arcillosa
64	162.2	169.8	7.6	56	325	427	81	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
65	169.8	170.9	1.1	41	358	468	93	0.38	6.0e-06	Arena-Arcillosa
66	170.9	172.6	1.7	42	335	435	85	0.46	4.7e-07	Arcilla-Arenosa
67	172.6	173.7	1.1	34	292	374	94	0.38	9.0e-06	Arena-Arcillosa
68	173.7	176.2	2.5	37	328	425	79	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
69	176.2	177.5	1.3	5	366	478	105	0.32	1.3e-04	Limo
70	177.5	178.8	1.3	35	348	454	81	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
71	178.8	180.1	1.3	21	323	418	88	0.44	1.5e-06	Arena-Arcillosa
72	180.1	183	2.9	42	303	389	79	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
73	183	185.5	2.5	47	366	479	95	0.35	1.2e-05	Arena-Arcillosa
74	185.5	188.2	2.7	22	377	495	107	0.32	2.0e-04	Limo
75	188.2	189.3	1.1	44	280	358	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
76	189.3	190.6	1.3	29	367	481	88	0.44	1.4e-06	Arena-Arcillosa
77	190.6	195.9	5.3	54	325	427	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
78	195.9	197.2	1.3	41	378	495	87	0.44	1.0e-06	Arena-Arcillosa
79	197.2	200.7	3.5	53	325	427	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
80	200.7	202.5	1.8	43	287	368	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
81	202.5	205.5	3	37	370	484	85	0.46	4.6e-07	Arcilla-Arenosa
82	205.5	206.8	1.3	81	384	504	99	0.46	3.3e-07	Arena-Arcillosa
83	206.8	209.1	2.3	80	325	427	83	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
84	209.1	213.3	4.2	80	282	359	70	0.50	3.3e-07	Arcilla
85	213.3	214.3	1	23	407	537	83	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
86	214.3	217.7	3.4	18	407	538	157	0.26	7.9e-02	Gravas
87	217.7	220.4	2.7	88	325	427	91	0.38	4.0e-06	Arena-Arcillosa
88	220.4	222	1.6	72	325	427	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
89	222	226.7	4.7	65	325	427	76	0.50	3.3e-07	Arcilla
90	226.7	231.4	4.7	29	301	387	85	0.44	5.5e-07	Arcilla-Arenosa
91	231.4	234.2	2.8	12	375	491	93	0.38	7.4e-06	Arena-Arcillosa
92	234.2	237.2	3	37	289	370	76	0.50	3.3e-07	Arcilla
93	237.2	239	1.8	25	381	501	92	0.38	4.8e-06	Arena-Arcillosa
94	239	241.5	2.5	37	381	501	83	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
95	241.5	242.7	1.2	3	400	527	106	0.32	1.6e-04	Limo
96	242.7	244	1.3	24	324	420	84	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
97	244	246.6	2.6	1	432	573	121	0.30	2.1e-03	Limo
98	246.6	247.8	1.2	24	410	541	123	0.28	2.7e-03	Arena
99	247.8	249.7	1.9	53	325	427	74	0.50	3.3e-07	Arcilla
100	249.7	251.5	1.8	74	325	427	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
101	251.5	253.9	2.4	68	325	427	73	0.50	3.3e-07	Arcilla
102	253.9	255.1	1.2	32	338	439	79	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
103	255.1	256.1	1	61	325	427	76	0.50	3.3e-07	Arcilla
104	256.1	261.7	5.6	81	339	440	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
105	261.7	263	1.3	69	325	427	75	0.50	3.3e-07	Arcilla
106	263	271.1	8.1	83	325	427	79	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
107	271.1	273.9	2.8	84	325	427	67	0.50	3.3e-07	Arcilla

108	273.9	276.4	2.5	43	286	366	79	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
109	276.4	292	15.6	109	325	427	70	0.50	3.3e-07	Arcilla
110	292	295.2	3.2	53	313	404	79	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
111	295.2	309.1	13.9	61	325	427	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
112	309.1	313.6	4.5	50	410	541	86	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
113	313.6	317.5	3.9	66	325	427	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
114	317.5	320.8	3.3	44	367	480	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
115	320.8	321.8	1	57	325	427	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
116	321.8	323.3	1.5	59	314	406	80	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
117	323.3	324.6	1.3	18	380	498	81	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
118	324.6	338	13.4	70	325	427	75	0.50	3.3e-07	Arcilla
119	338	339.2	1.2	23	395	520	85	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
120	339.2	340.7	1.5	79	325	427	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
121	340.7	342.2	1.5	42	363	475	78	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
122	342.2	344.4	2.2	83	325	427	71	0.50	3.3e-07	Arcilla
123	344.4	346.9	2.5	53	380	499	78	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
124	346.9	349	2.1	57	418	553	95	0.35	1.2e-05	Arena-Arcillosa
125	349	350.4	1.4	30	288	368	107	0.32	1.9e-04	Limo
126	350.4	354.6	4.2	85	325	427	77	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
127	354.6	362.3	7.7	101	325	427	70	0.50	3.3e-07	Arcilla
128	362.3	363.7	1.4	47	285	365	77	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
129	363.7	365	1.3	61	325	427	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
130	365	366.3	1.3	42	360	471	85	0.46	5.2e-07	Arcilla-Arenosa
131	366.3	368	1.7	41	331	430	90	0.40	2.6e-06	Arena-Arcillosa
132	368	369.9	1.9	100	325	427	78	0.48	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
133	369.9	373.1	3.2	89	435	576	96	0.35	1.6e-05	Arena-Arcillosa
134	373.1	376	2.9	89	325	427	77	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
135	376	378.1	2.1	29	393	518	92	0.38	5.5e-06	Arena-Arcillosa
136	378.1	379.4	1.3	50	325	427	83	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
137	379.4	380.7	1.3	20	417	551	110	0.32	3.5e-04	Limo
138	380.7	382	1.3	47	417	551	99	0.35	3.4e-05	Arena-Arcillosa
139	382	383.7	1.7	8	409	541	130	0.28	6.6e-03	Arena
140	383.7	387	3.3	9	421	556	197	0.25	5.0e-01	Gravas
141	387	389.1	2.1	45	407	536	98	0.35	2.3e-05	Arena-Arcillosa
142	389.1	392.8	3.7	11	407	536	136	0.28	1.3e-02	Arena
143	392.8	394.4	1.6	65	325	427	93	0.38	5.9e-06	Arena-Arcillosa
144	394.4	395.8	1.4	19	282	360	118	0.30	1.3e-03	Limo
145	395.8	398.8	3	99	325	427	89	0.44	2.2e-06	Arena-Arcillosa
146	398.8	404.9	6.1	88	287	367	72	0.50	3.3e-07	Arcilla
147	404.9	406.6	1.7	26	297	382	95	0.35	1.2e-05	Arena-Arcillosa
148	406.6	408.9	2.3	111	325	427	80	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
149	408.9	414.1	5.2	93	325	427	70	0.50	3.3e-07	Arcilla
150	414.1	416.5	2.4	46	496	664	99	0.46	3.3e-07	Arena-Arcillosa
151	416.5	418.8	2.3	3	285	364	155	0.26	6.9e-02	Gravas
152	418.8	424.6	5.8	74	325	427	80	0.46	3.3e-07	Arcilla-Arenosa
152	**40**	**424.6**	**2.5**	**45**	**335**	**436**	**103**	**0.40**	**5.9e-02**	

ANEXO 3:

INTERVALOS ÓPTIMOS DE TUBERÍA FILTRANTE

En este anexo se presentan en forma de tabla y para cada uno de los sondeos estudiados los intervalos óptimos de tubería filtrante.

Con la interpretación litológica resultante del conjunto de los registros se ha llegado a establecer los niveles permeables de cada sondeo. En base a esa distribución, a las muestras extraídas del sondeo y a características constructivas del sondeo (longitud de los filtros, cámara de bombeo, resistencia de la tubería y soldaduras,..) se deciden los intervalos más interesantes para la colocación de la tubería filtrante.

La longitud del los filtros es de 1,5 metros por lo que los intervalos de tubería filtrante oscilan entre 1,5 y 6 metros, además normalmente se suele dejar los primeros metros sin filtros para prevenir la entrada al pozo de infiltraciones de aguas superficiales susceptibles de contaminación y también por evitar que queden niveles colgados durante el bombeo.

Como puede observarse la proporción de tubería filtrante oscila entre el 13 y 22% con un valor medio del 18% lo que indica buenas características para el aprovechamiento hidrológico

En estas tablas se presentan ademas del intervalo de tubería filtrante definido, el espesor, los resultados de la interpretación cuantitativa así como la litología para cada uno de los filtros. Además se presenta una media del conjunto de los niveles permeables en cada uno de los sondeos.

SONDEO CB-7										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	105.5	111.5	6	37	95	94	596	0.32	1.7e-01	Arena
2	144.5	147.5	3	47	94	94	656	0.30	4.1e-01	Arena
3	173	174.5	1.5	73	93	92	600	0.32	1.7e-01	Arena
4	186.5	188	1.5	81	97	98	545	0.34	5.8e-02	Arena
5	202	205	3	41	107	111	561	0.33	1.3e-01	Arena
6	222	223.5	1.5	30	97	97	664	0.30	4.1e-01	Gravas
7	236.5	238	1.5	31	103	106	554	0.33	1.3e-01	Arena
8	242.5	245.5	3	37	112	120	662	0.30	4.1e-01	Gravas
9	254	257	3	30	84	80	554	0.33	1.3e-01	Arena
10	265	271	6	26	110	115	865	0.25	1.4e+00	Gravas
11	277	281.5	4.5	37	112	118	594	0.32	1.7e-01	Arena
12	283	289	6	31	105	109	660	0.30	4.1e-01	Arena
13	289	290.5	1.5	38	104	107	693	0.29	6.0e-01	Gravas
14	294.5	297.5	3	41	91	89	548	0.34	5.8e-02	Arena
15	304	307	3	24	114	122	577	0.33	1.3e-01	Arena
16	307.5	313.5	6	28	125	138	803	0.26	1.2e+00	Gravas
17	329	330.5	1.5	48	110	116	525	0.35	3.9e-02	Arena
18	332	335	3	36	111	118	851	0.26	1.2e+00	Gravas
19	335	338	3	46	106	111	560	0.33	1.3e-01	Arena
20	338	342.5	4.5	43	111	118	840	0.26	1.2e+00	Gravas
21	350	356	6	27	113	121	834	0.26	1.2e+00	Gravas
22	355.5	358.5	3	66	110	117	590	0.32	1.7e-01	Arena
23	362	366.5	4.5	30	109	115	713	0.29	6.0e-01	Gravas
23	**105.5**	**366.5**	**79.5**	**40**	**105**	**109**	**654**	**0.31**	**4.6e-01**	

SONDEO CB-8										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	105	106.5	1.5	56	369	483	121	0.35	4.7e-02	Arena
2	122	125	3	18	446	592	138	0.32	1.7e-01	Arena
3	136.5	138	1.5	33	438	581	125	0.34	8.1e-01	Arena
4	140	141.5	1.5	71	387	509	121	0.35	4.5e-02	Arena
5	150	151.5	1.5	44	325	421	126	0.34	8.1e-01	Arena
6	167.5	170.5	3	25	406	536	139	0.32	1.6e-01	Arena
7	180	184.5	4.5	44	448	596	122	0.35	4.6e-02	Arena
8	217.5	222	4.5	55	388	511	123	0.35	4.6e-02	Arena
9	239	240.5	1.5	60	445	591	133	0.33	1.2e-01	Arena
10	264.5	267.5	3	25	528	708	162	0.29	6.2e-01	Gravas
11	273.5	275	1.5	61	524	703	154	0.30	4.1e-01	Gravas
12	284.5	287.5	3	78	478	638	150	0.30	4.2e-01	Arena
13	304	308.5	4.5	45	498	666	135	0.33	1.1e-01	Arena
14	312	316.5	4.5	25	461	613	136	0.32	1.7e-01	Arena
15	322.5	324	1.5	77	548	737	144	0.31	2.8e-01	Arena
16	325	329.5	4.5	40	556	748	159	0.29	6.1e-01	Gravas
17	330	336	6	16	478	638	201	0.25	1.4e+00	Gravas
18	344	350	6	6	606	819	202	0.25	1.4e+00	Gravas
19	353.5	356.5	3	0	567	763	142	0.32	1.9e-01	Arena
20	358.5	361.5	3	13	539	724	128	0.34	8.0e-01	Arena
21	362	365	3	14	607	821	175	0.28	8.3e-01	Gravas
22	367.5	373.5	6	17	658	892	189	0.26	1.3e+00	Gravas
23	379	380.5	1.5	42	724	986	156	0.30	4.2e-01	Gravas
24	386.5	389.5	3	46	572	771	205	0.25	1.4e+00	Gravas
24	**105**	**389.5**	**76.5**	**38**	**500**	**669**	**149**	**0.31**	**5.3e-01**	

SONDEO CB-9										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	130.5	133.5	3	20	488	653	91	0.36	4.1e-02	Arena
2	137.5	142	4.5	25	474	632	101	0.34	6.0e-02	Arena
3	147	150	3	18	489	653	101	0.34	7.4e-02	Arena
4	168	171	3	25	528	708	98	0.34	6.0e-02	Arena
5	188	191	3	31	564	760	113	0.31	3.2e-01	Arena
6	195.5	197	1.5	25	518	695	105	0.33	1.5e-01	Arena
7	221	225.5	4.5	12	485	648	95	0.35	3.2e-02	Arena
8	236.5	239.5	3	43	516	691	102	0.34	7.9e-02	Arena
9	272.5	275.5	3	22	571	769	112	0.32	1.7e-01	Arena
10	278.5	280	1.5	37	578	779	100	0.34	7.4e-02	Arena
11	285	289.5	4.5	18	544	731	99	0.34	7.4e-02	Arena
12	303.5	305	1.5	52	585	789	111	0.32	2.0e-01	Arena
13	308.5	313	4.5	15	597	807	114	0.31	2.8e-01	Arena
14	317	318.5	1.5	48	599	809	121	0.30	4.2e-01	Arena
15	323.5	325	1.5	36	602	813	104	0.33	1.3e-01	Arena
16	326	332	6	10	609	823	110	0.32	1.9e-01	Arena
17	331.5	333	1.5	50	606	820	136	0.28	7.4e-01	Gravas
18	348.5	354.5	6	1	610	824	134	0.25	1.4e+00	Gravas
19	359	360.5	1.5	33	642	871	129	0.29	5.8e-01	Arena
20	361	364	3	39	643	871	160	0.25	1.4e+00	Gravas
21	372	375	3	29	656	891	163	0.25	1.4e+00	Gravas
22	375.5	378.5	3	26	603	814	94	0.35	4.1e-02	Arena
23	387	393	6	25	620	839	162	0.25	1.4e+00	Gravas
24	394	398.5	4.5	27	537	721	97	0.35	4.3e-02	Arena
25	401.5	404.5	3	0	743	1013	136	0.28	7.1e-01	Gravas
25	**133.5**	**404.5**	**81**	**27**	**576**	**777**	**116**	**0.31**	**4.0e-01**	

SONDEO CB-4										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	101	102.5	1.5	59	303	390	168	0.33	1.4e-01	Arena
2	114.5	117.5	3.0	26	288	369	154	0.34	7.3e-02	Arena
3	123.5	125.0	1.5	26	289	370	152	0.35	7.3e-02	Arena
4	143	144.0	1.0	27	302	388	156	0.34	7.3e-02	Arena
5	154	158.5	4.5	11	337	438	174	0.32	1.9e-01	Arena
6	174	175.5	1.5	43	322	417	152	0.35	7.3e-02	Arena
7	197	200.0	3.0	45	304	391	174	0.32	1.9e-01	Arena
8	224.5	229.0	4.5	36	300	386	168	0.33	1.4e-01	Arena
9	236.5	241.0	4.5	47	317	409	170	0.32	1.9e-01	Arena
10	245	246.5	1.5	24	324	420	153	0.35	7.3e-02	Arena
11	269	272.0	3.0	7	338	439	186	0.31	3.3e-01	Arena
12	273	274.5	1.5	30	336	437	162	0.33	1.4e-01	Arena
13	282	283.5	1.5	55	351	458	164	0.33	1.4e-01	Arena
14	285	286.5	1.5	75	333	432	172	0.32	1.9e-01	Arena
15	306	310.5	4.5	8	360	471	159	0.34	7.3e-02	Arena
16	314.5	317.5	3.0	7	404	533	171	0.32	1.9e-01	Arena
17	318	319.5	1.5	11	396	521	168	0.33	1.4e-01	Arena
18	326.5	332.5	6.0	7	374	490	186	0.31	3.3e-01	Arena
19	332	333.5	1.5	41	362	473	243	0.26	1.3e+00	Gravas
20	339	342.0	3.0	42	362	473	160	0.34	7.3e-02	Arena
21	345	346.5	1.5	87	339	440	158	0.34	7.3e-02	Arena
22	349	355.0	6.0	7	407	537	249	0.25	1.4e+00	Gravas
23	360.5	366.5	6.0	22	428	567	257	0.25	1.4e+00	Gravas
24	373.5	378.0	4.5	26	564	759	250	0.25	1.4e+00	Gravas
25	378	379.5	1.5	34	408	538	180	0.31	3.3e-01	Arena
26	379.5	382.5	3.0	5	597	806	219	0.28	8.6e-01	Gravas
27	389	395.0	6.0	18	495	662	252	0.25	1.4e+00	Gravas
28	400	404.5	4.5	6	489	653	188	0.40	2.1e-03	Arena
29	405	406.5	1.5	12	479	640	213	0.28	8.6e-01	Gravas
30	411	414.0	3.0	44	372	487	230	0.27	1.1e+00	Gravas
30	**101**	**414**	**91.0**	**31**	**389**	**510**	**193**	**0.32**	**4.5e-01**	

SONDEO CB-11										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	129.5	135.5	6	31	401	528	118	0.35	4.1e-02	Arena
2	161	162.5	1.5	20	423	560	120	0.35	3.8e-02	Arena
3	170.5	175	4.5	33	430	569	138	0.32	1.8e-01	Arena
4	179.5	182.5	3	8	428	567	142	0.31	2.9e-01	Arena
5	190	193	3	5	409	539	149	0.30	3.3e-01	Arena
6	213.5	216.5	3	43	378	496	122	0.34	6.8e-02	Arena
7	231	232.5	1.5	27	406	535	167	0.28	6.8e-01	Gravas
8	242.5	247	4.5	43	508	680	128	0.34	8.2e-02	Arena
9	253.5	255	1.5	58	406	535	118	0.35	4.1e-02	Arena
10	264.5	266	1.5	10	407	536	139	0.32	1.8e-01	Arena
11	270	276	6	6	391	514	145	0.31	2.9e-01	Arena
12	298.5	303	4.5	19	492	658	158	0.29	6.0e-01	Gravas
13	305	308	3	27	532	714	192	0.26	1.2e+00	Gravas
14	317.5	319	1.5	2	437	579	150	0.30	3.3e-01	Arena
15	321.5	323	1.5	18	415	548	151	0.30	3.6e-01	Arena
16	326.5	328	1.5	27	403	532	146	0.31	2.5e-01	Arena
17	330	333	3	29	504	674	127	0.34	8.2e-02	Arena
18	341.5	343	1.5	6	445	592	118	0.35	3.8e-02	Arena
19	348	354	6	7	579	780	184	0.27	1.0e+00	Gravas
20	359.5	361	1.5	71	514	689	133	0.33	1.3e-01	Arena
21	369	375	6	32	650	882	201	0.25	1.5e+00	Gravas
22	381	382.5	1.5	53	492	657	145	0.31	2.5e-01	Arena
23	383.5	386.5	3	21	589	796	136	0.32	1.8e-01	Arena
24	386.5	388	1.5	48	627	849	145	0.31	2.2e-01	Arena
25	389	392	3	37	572	771	165	0.29	5.6e-01	Gravas
26	398	402.5	4.5	27	420	556	204	0.25	1.5e+00	Gravas
26	**129.5**	**402.5**	**79.5**	**27**	**471**	**628**	**148**	**0.31**	**4.0e-01**	

SONDEO CB-12										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	125	128	3	30	395	520	121	0.33	1.1e-01	Arena
2	153.5	155	1.5	28	465	619	126	0.32	1.6e-01	Arena
3	161	165.5	4.5	27	487	651	132	0.30	2.4e-01	Arena
4	169	175	6	13	546	734	122	0.32	1.2e-01	Arena
5	182.5	185.5	3	1	479	639	129	0.31	2.0e-01	Arena
6	193.5	195	1.5	28	416	550	120	0.45	3.5e-06	Arena
7	232.5	234	1.5	20	484	647	121	0.33	1.1e-01	Arena
8	241.5	246	4.5	20	757	1033	169	0.30	3.3e-01	Gravas
9	252	256.5	4.5	7	460	612	146	0.29	4.9e-01	Gravas
10	264.5	267.5	3	7	498	666	109	0.35	3.5e-02	Arena
11	271	272.5	1.5	36	462	615	121	0.33	1.1e-01	Arena
12	289.5	291	1.5	14	655	889	180	0.26	1.3e+00	Gravas
13	305.5	311.5	6	5	450	597	183	0.26	1.4e+00	Gravas
14	317	320	3	22	567	764	178	0.27	1.2e+00	Gravas
15	329	330.5	1.5	18	386	507	121	0.33	1.1e-01	Arena
16	332	333.5	1.5	38	524	703	157	0.28	7.5e-01	Gravas
17	336.5	341	4.5	11	420	556	134	0.30	2.7e-01	Arena
18	351.5	354.5	3	16	856	1174	175	0.27	1.2e+00	Gravas
19	362	365	3	1	599	809	185	0.26	1.4e+00	Gravas
20	374.5	377.5	3	16	495	662	146	0.29	4.9e-01	Gravas
21	378	381	3	7	429	568	173	0.27	1.1e+00	Gravas
22	389	392	3	8	794	1085	189	0.25	1.5e+00	Gravas
23	395	398	3	33	612	828	190	0.25	1.5e+00	Gravas
23	**125**	**398**	**70.5**	**18**	**532**	**714**	**149**	**0.30**	**6.1e-01**	

SONDEO CB-13										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	110.5	113.5	3.0	16	418	552	128	0.33	9.2e-02	Arena
2	143.0	146.0	3.0	28	393	517	117	0.35	3.4e-02	Arena
3	164.0	168.5	4.5	20	431	571	158	0.33	9.2e-02	Gravas
4	170.5	176.5	6.0	7	435	576	115	0.35	3.8e-02	Arena
5	176.5	178.0	1.5	11	419	554	128	0.33	9.2e-02	Arena
6	212.5	215.5	3.0	34	482	644	124	0.34	8.7e-02	Arena
7	217.0	220.0	3.0	19	433	573	156	0.29	6.0e-01	Gravas
8	227.5	233.5	6.0	23	406	536	189	0.26	1.1e+00	Gravas
9	239.5	242.5	3.0	5	432	572	193	0.25	1.4e+00	Gravas
10	251.0	257.0	6.0	0	404	533	193	0.25	1.4e+00	Gravas
11	261.0	264.0	3.0	12	397	523	193	0.25	1.4e+00	Gravas
12	265.5	268.5	3.0	9	450	598	166	0.28	7.2e-01	Gravas
13	275.0	276.5	1.5	20	531	713	123	0.34	8.7e-02	Arena
14	287.0	293.0	6.0	9	618	836	174	0.30	3.7e-01	Gravas
15	300.5	303.5	3.0	8	599	809	132	0.32	1.5e-01	Arena
16	330.5	332.0	1.5	63	650	882	198	0.25	1.4e+00	Gravas
17	336.0	339.0	3.0	15	567	763	184	0.26	1.3e+00	Gravas
18	342.0	343.5	1.5	35	597	807	131	0.32	1.5e-01	Arena
19	350.0	353.0	3.0	27	596	806	198	0.25	1.4e+00	Gravas
20	357.5	359.0	1.5	24	779	1065	112	0.36	2.3e-02	Arena
21	360.5	365.0	4.5	3	580	782	124	0.34	8.7e-02	Arena
22	375.0	381.0	6.0	15	615	832	159	0.29	6.0e-01	Gravas
23	394.0	398.5	4.5	15	615	832	159	0.29	6.0e-01	Gravas
23	**110.5**	**398.5**	**81.0**	**18**	**515**	**690**	**155**	**0.30**	**5.7e-01**	

SONDEO LA CONCEPCIÓN										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	95.5	97	1.5	21	303	390	119	0.40	7.4e-04	Arena
2	107	113	6	14	288	369	117	0.32	1.1e-04	Arena
3	117.5	120.5	3	10	306	394	122	0.28	1.8e-03	Arena
4	185.5	188.5	3	27	323	418	120	0.29	1.2e-03	Arena
5	195.5	197	1.5	21	312	403	124	0.28	1.0e-02	Arena
6	198	199.5	1.5	21	307	395	132	0.28	1.0e-02	Arena
7	214	220	6	18	299	385	113	0.31	4.6e-04	Arena
8	220	221.5	1.5	25	295	378	120	0.29	1.2e-03	Arena
9	239	242	3	24	300	385	113	0.31	1.4e-04	Arena
10	244	248.5	4.5	18	360	470	136	0.27	1.0e-02	Arena
11	250	253	3	26	324	420	119	0.29	1.2e-03	Arena
12	255.5	257	1.5	30	310	399	115	0.30	6.2e-04	Arena
13	293.5	296.5	3	30	360	471	133	0.28	1.0e-02	Arena
14	298	299.5	1.5	22	344	447	119	0.29	1.2e-03	Arena
15	309.5	314	4.5	20	371	486	123	0.28	2.3e-03	Arena
16	325.5	328.5	3	24	383	503	148	0.25	3.3e-03	Gravas
17	329.5	334	4.5	17	380	498	140	0.28	1.8e-03	Gravas
18	351	352.5	1.5	25	383	503	133	0.28	1.0e-02	Arena
19	354.5	357.5	3	28	381	500	123	0.28	1.0e-02	Arena
20	366	372	6	10	391	514	171	0.25	8.8e-02	Gravas
21	375.5	377	1.5	26	402	530	155	0.25	8.8e-02	Gravas
22	379	380.5	1.5	44	388	510	119	0.29	1.2e-03	Arena
23	391	392.5	1.5	29	403	531	138	0.27	1.7e-02	Arena
24	395	401	6	22	395	520	136	0.27	1.0e-02	Arena
25	404	410	6	22	387	508	148	0.25	3.3e-02	Gravas
26	412.5	417	4.5	20	440	584	170	0.25	1.4e-01	Gravas
27	418.5	420	1.5	29	396	522	148	0.25	3.1e-02	Gravas
28	423	426	3	20	431	571	139	0.26	2.2e-02	Arena
29	433.5	436.5	3	17	481	642	159	0.25	1.4e-01	Gravas
30	436	439	3	23	411	543	155	0.25	1.4e-01	Gravas
31	446	452	6	67	429	568	179	0.25	1.4e-01	Gravas
32	458.5	463	4.5	19	437	580	194	0.25	1.4e-01	Gravas
33	464	467	3	35	319	419	117	0.36	6.4e-05	Arena
34	476.5	478	1.5	35	377	494	133	0.28	1.0e-02	Arena
34	**95.5**	**478**	**109.5**	**25**	**365**	**478**	**136**	**0.28**	**3.2e-02**	

SONDEO SANTA MARIA										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	99.5	101	1.5	27	353	461	125	0.39	2.1e-03	Arena
2	124	125.5	1.5	43	353	461	157	0.50	3.7e-07	Arena
3	135	136.5	1.5	37	320	414	148	0.36	1.3e-06	Arena
4	139.5	142.5	3	35	335	435	149	0.50	3.3e-07	Arena
5	146	147.5	1.5	31	355	463	138	0.44	6.2e-05	Arena
6	163	164.5	1.5	30	358	468	154	0.35	4.0e-02	Arena
7	169.5	172.5	3	17	348	453	148	0.36	2.5e-02	Arena
8	198	199.5	1.5	36	377	495	126	0.39	2.3e-03	Arena
9	211	212.5	1.5	2	268	341	146	0.37	2.2e-02	Arena
10	224.5	226	1.5	12	280	357	126	0.39	2.4e-03	Arena
11	239	240.5	1.5	9	270	343	135	0.38	6.8e-03	Arena
12	242	246.5	4.5	11	346	451	161	0.34	7.0e-02	Arena
13	249.5	251	1.5	39	335	435	125	0.39	2.0e-03	Arena
14	254	257	3	12	347	451	151	0.35	3.2e-02	Arena
15	258.5	263	4.5	4	407	536	194	0.25	3.6e-01	Gravas
16	271.5	273	1.5	18	364	476	132	0.38	4.7e-03	Arena
17	282	285	3	10	366	479	161	0.34	6.6e-02	Arena
18	288	289.5	1.5	3	348	543	130	0.38	3.9e-03	Arena
19	338.5	341.5	3	25	404	533	143	0.37	1.7e-02	Arena
20	350.5	352	1.5	34	283	361	147	0.36	2.4e-02	Arena
21	359.5	361	1.5	39	267	338	159	0.34	6.0e-02	Arena
22	362.5	368.5	6	14	446	592	264	0.25	1.4e+00	Gravas
23	388.5	390	1.5	28	291	373	184	0.25	2.4e-01	Gravas
24	393.5	395	1.5	39	280	357	155	0.35	4.4e-02	Arena
25	396.5	402.5	6	23	373	489	163	0.34	1.3e-01	Gravas
26	403	406	3	13	500	668	189	0.35	4.0e-02	Gravas
27	409	415	6	23	588	794	190	0.25	3.1e-01	Gravas
28	423.5	428	4.5	21	280	357	183	0.25	2.2e-01	Arena
29	431.5	433	1.5	8	361	472	198	0.25	4.1e-01	Gravas
30	436	437.5	1.5	40	284	363	137	0.37	8.9e-03	Arena
31	439.5	441	1.5	24	313	416	127	0.38	2.8e-03	Arena
31	**99.5**	**441**	**78**	**23**	**348**	**457**	**156**	**0.35**	**1.1e-01**	

SONDEO LA MERCED										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (: É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	76	79	3	6	410	542	122	0.38	1.6e-02	Arena
2	81.5	84.5	3	11	415	548	126	0.35	2.7e-02	Arena
3	112	113.5	1.5	6	424	562	91	0.43	9.5e-05	Limo
4	136	139	3	14	372	487	99	0.41	5.3e-04	Limo
5	147	150	3	2	306	394	109	0.39	3.1e-03	Arena
6	156	159	3	4	494	660	130	0.34	4.0e-02	Arena
7	219	222	3	5	361	472	92	0.43	1.1e-04	Limo
8	237	240	3	4	345	539	105	0.40	1.6e-03	Limo
9	248.5	253	4.5	16	399	525	118	0.37	1.1e-02	Arena
10	258.5	261.5	3	17	383	504	110	0.39	3.7e-03	Arena
11	266.5	271	4.5	9	540	725	145	0.32	1.2e-01	Gravas
12	296.5	298.5	2	4	369	483	129	0.35	3.4e-02	Arena
13	302.5	305.5	3	4	366	476	113	0.39	5.7e-03	Arena
14	372.5	378.5	6	3	558	751	178	0.32	5.8e-01	Gravas
15	408.5	410.5	2	34	368	482	121	0.38	1.6e-02	Arena
16	413	417.5	4.5	28	562	757	130	0.34	3.8e-02	Arena
17	419.5	422.5	3	0	314	405	127	0.35	2.9e-02	Arena
18	431	433	2	28	319	413	120	0.38	1.3e-02	Arena
19	436.5	439.5	3	27	357	466	115	0.39	7.4e-03	Arena
19	**76**	**439.5**	**60**	**12**	**403**	**536**	**120**	**0.37**	**5.0e-02**	

SONDEO LA CABAÑA										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	71.5	73	1.5	22	378	496	105	0.29	6.9e-03	Arena
2	77.5	82	4.5	18	383	503	151	0.26	2.3e-03	Grava
3	90	91.5	1.5	18	330	428	101	0.30	3.5e-03	Arena
4	95.5	97	1.5	0	367	480	103	0.29	4.6e-04	Arena
5	110	111.5	1.5	31	339	441	108	0.28	1.2e-03	Arena
6	133.5	136.5	3	34	374	490	106	0.29	8.4e-04	Arena
7	152	156.5	4.5	1	401	528	111	0.28	2.0e-03	Arena
8	166	172	6	28	392	516	120	0.28	7.3e-03	Grava
9	267	273	6	9	424	561	134	0.27	3.1e-02	Grava
10	272.5	274	1.5	27	427	565	118	0.28	5.7e-03	Arena
11	279.5	281	1.5	51	352	470	101	0.30	3.5e-04	Arena
12	286.5	291	4.5	5	413	546	120	0.28	7.0e-03	Grava
13	289.5	294	4.5	10	434	575	103	0.29	5.4e-04	Arena
14	296.5	301	4.5	10	445	592	101	0.30	3.6e-04	Arena
15	316.5	319.5	3	1	425	563	149	0.26	1.0e-01	Grava
16	321.5	323	1.5	39	352	470	100	0.30	2.5e-04	Arena
17	340	343	3	48	352	470	100	0.32	2.4e-04	Arena
17	**71.5**	**343**	**54**	**21**	**388**	**511**	**114**	**0.29**	**1.0e-02**	

SONDEO SANTA RITA										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	45	48	3	39	296	379	309	0.26	1.2e+00	Gravas
2	49.5	52.5	3	24	288	369	217	0.32	1.4e-01	Limo
3	58	61	3	31	302	388	331	0.25	1.5e+00	Gravas
4	71.5	73	1.5	23	285	364	227	0.31	2.1e-01	Arena
5	74.5	76	1.5	19	284	363	184	0.35	2.3e-02	Limo
6	78	81	3	17	303	389	291	0.26	9.7e-01	Gravas
7	85.5	88.5	3	31	250	315	133	0.27	7.4e-05	Arena
8	93	94.5	1.5	29	260	329	123	0.46	1.1e-05	Limo
9	95.5	97	1.5	17	284	363	155	0.35	1.6e-03	Arena
10	97	100	3	25	277	353	131	0.44	5.1e-05	Limo
11	113	114.5	1.5	29	283	362	151	0.35	1.0e-03	Arena
12	118.5	120	1.5	26	285	364	156	0.36	1.8e-03	Arena
13	121.5	123	1.5	28	273	347	134	0.30	9.6e-05	Arena
14	126	127.5	1.5	19	264	335	118	0.48	3.3e-06	Limo
15	141	144	3	10	235	293	119	0.47	4.1e-06	Limo
16	161.5	167.5	6	36	287	367	129	0.45	3.6e-05	Limo
17	174.5	176	1.5	45	288	369	124	0.45	1.5e-05	Limo
18	177.5	180.5	3	34	296	380	126	0.45	1.9e-05	Limo
19	184.5	186	1.5	17	324	419	158	0.32	2.5e-03	Arena
20	200.5	203.5	3	6	286	365	119	0.47	4.3e-06	Limo
21	206.5	208	1.5	25	257	325	147	0.35	3.3e-07	Arena
22	209	212	3	32	245	307	118	0.48	3.3e-06	Limo
23	216	217.5	1.5	28	308	397	131	0.44	5.4e-05	Limo
24	224	225.5	1.5	24	323	418	125	0.45	1.6e-05	Limo
24	**45**	**226**	**49.5**	**26**	**283**	**361**	**165**	**0.38**	**1.7e-01**	

SONDEO SANTA ELENA										
Nº	**TECHO (m)**	**MURO (m)**	**ESP. (m)**	**ARCILLA (%)**	**F (:É/cm)**	**T.S.D. (ppm)**	**Ro (S/m)**	**N (%)**	**K (cm/sg)**	**LITOLOGÍA**
1	80	86	6	6	307	395	201	0.25	5.6e-01	Gravas
2	87	93	6	7	345	449	145	0.28	3.2e-02	Arena
3	96.5	99.5	3	0	341	443	149	0.28	2.9e-03	Arena
4	101	102.5	1.5	27	312	402	128	0.28	5.3e-03	Arena
5	103.5	106.5	3	3	329	364	116	0.30	1.0e-03	Limo
6	114	115.5	1.5	38	321	416	112	0.30	5.2e-04	Limo
7	122.5	124	1.5	57	325	427	110	0.32	3.5e-04	Limo
8	132.5	134	1.5	26	370	484	101	0.33	5.5e-05	Limo
9	134.5	136	1.5	31	371	486	129	0.28	6.3e-03	Arena
10	176	177.5	1.5	5	366	478	105	0.32	1.3e-04	Limo
11	185.5	188.5	3	22	377	495	107	0.32	2.0e-04	Limo
12	214	217	3	18	407	538	157	0.26	7.9e-02	Gravas
13	241.5	243	1.5	3	400	527	106	0.32	1.6e-04	Limo
14	244	248.5	4.5	1	432	573	123	0.30	2.1e-03	Arena
15	349	350.5	1.5	30	288	368	107	0.32	1.9e-04	Limo
16	379.5	381	1.5	20	417	551	110	0.32	3.5e-04	Limo
17	382	383.5	1.5	8	409	541	130	0.28	6.6e-03	Arena
18	384	387	3	9	421	556	197	0.25	5.0e-01	Gravas
19	389	393.5	4.5	11	407	536	136	0.28	1.3e-02	Arena
20	416.5	419.5	3	3	285	364	155	0.26	6.9e-02	Gravas
20	**80**	**419.5**	**54**	**16**	**362**	**470**	**131**	**0.29**	**6.4e-02**	

ANEXO 4:

DETERMINACIÓN DE TRAMOS

En este anexo se presentan en forma de tabla y para cada uno de los sondeos estudiados los tramos definidos tras el proceso automático descrito en función de:

- El valor medio de los parámetros registrados que, por su relación con la porosidad y el contenido en arcillas, indica la litología predominante.

- La frecuencia de la curva de cada tramo que hace referencia al espesor de las distintas capas, así como a su periodicidad de aparición.

- La diferencia entre valores máximos y mínimos de los registros que define, si la alternancia de niveles en cada tramo corresponde a litologías parecidas (arcillas y arcillas arenosas) o muy dispares (gravas y arcillas).

SONDEO CB-7		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-70	Corresponde a una alternancia de limos y arenas con algun nivel de gravas que alternan con arcillas y arcillas arenosas
Tramo 2	70-145	Se presenta como una alternancia rápida de arenas y limos con algunos niveles intercalados de arcillas arenosas
Tramo 3	145-164	Tramo arcilloso e impermeable
Tramo 4	164-232	Alternancia rápida de niveles de limos y arcillas arenosas con niveles aislados de arenas y gravas.
Tramo 5	232-244	Tramo predominantemente arcilloso con un importante nivel de gravas
Tramo 6	244-330	Alternancia de niveles de arenas y gravas con arcillas y arenas arcillosas .
Tramo 7	330-369	Alternancia de niveles de gravas de gran potencia con algún nivel intercalado de arena arcillosa

SONDEO CB-8		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-84	Se trata de alternancias de gravas y arcillas ambas de gran potencia
Tramo 2	84-154	Corresponde a una sucesión de capas de arenas y limos con intercalaciones de arenas arcillosas
Tramo 3	154-166	Tramo arcilloso e impermeable. Presenta un nivel de arenas finas hacia el centro del tramo.
Tramo 4	166-241	Corresponde a una sucesión de capas de arenas y limos con intercalaciones de arenas arcillosas
Tramo 5	241-264	Es un tramo básicamente arcilloso e impermeable.
Tramo 6	264-322	Son alternancias de arenas gruesas y arcillas siendo las capas similares y de espesor medio
Tramo 7	322-393	Corresponde a alternancias de arenas gruesas de gran potencia y arcillas.

SONDEO CB-9		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-80	Arenas gruesas con algún nivel arcilloso.
Tramo 2	80-171	Es una alternancia rápida de arenas finas y medias con niveles arcillosos
Tramo 3	171-187	Alternancia muy rápida de arcillas y arenas finas. Es un tramo impermeable
Tramo 4	187-245	Aparecen niveles de arenas de grano medio con intercalaciones arcillosas de espesores medios
Tramo 5	245-266	Tramo predominantemente arcilloso con algunos niveles de arenas finas..
Tramo 6	266-248	Son secuencias de arenas medias y arcillas. Las capas son de espesor medio, estando los niveles arenosos más gruesos hacia la base.
Tramo 7	348-409	Se trata de alternancias de arenas gruesas y arcillas en gruesos niveles.

SONDEO CB-4		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-83	Esencialmente compuesto por arenas gruesas con algunos niveles arcillosos de importancia, siendo mayor el espesor de las capas arenosas y el tamaño de grano de estas arenas hacia techo del tramo
Tramo 2	83-168	Se trata de alternancias de arenas medias y arcillas, donde los niveles permeables (arenosos) son más gruesos hacia el muro del tramo.
Tramo 3	168-190	Tramo muy arcilloso
Tramo 4	190-246	Son alternancias de potentes niveles de arenas medias con niveles de arenas finas y niveles arcillosos
Tramo 5	246-268	Tramo predominantemente arcilloso e impermeable. Presenta alguna intercalación de arenas
Tramo 6	268-348	Alternancias de arenas medias y arcillas en capas de espesor medio
Tramo 7	345-414	Alternancias de arenas gruesas y arcillas en capas muy potentes y de igual espesor, donde el tamaño de grano de las arenas es mucho mayor que el de arenas localizadas en cualquier otro tramo del sondeo

SONDEO CB-11		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-93	Alternancia de niveles arenosos y niveles arcillosos en capas similares de espesor medio.
Tramo 2	93-106	Se trata de un tramo arcilloso e impermeable con intercalaciones de arcillas arenosas
Tramo 3	106-139	Fundamentalmente se trata de alternancias de arenas medias y arcillas de espesores similares y crecientes con la profundidad.
Tramo 4	139-163	Tramo básicamente arcilloso e impermeable.
Tramo 5	163-194	Se trata de alternancias de arenas medias y arcillas-arenosas en capas de espesor medio.
Tramo 6	194-212	Tramo básicamente arcilloso e impermeable.
Tramo 7	212-276	Alternancia de arenas medias de gran espesor con niveles arcillosos.
Tramo 8	276-299	Tramo básicamente arcilloso e impermeable.
Tramo 9	299-360	Alternancia de arenas medias y arenas arcillosas
Tramo 10	360-407	Alternancia de arenas y arenas gruesas con alguna intercalación de niveles arcillosos.

SONDEO CB-12		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-68	Se trata de un tramo muy permeable, compuesto de arenas y gravas alternando con limos y arenas arcillosas de espesor considerable.
Tramo 2	68-97	Se trata de un tramo arcilloso e impermeable con alguna intercalación arenosa
Tramo 4	100-130	Fundamentalmente se trata de alternancias de arenas medias y arenas arcillosas de espesores similares y crecientes con la profundidad.
Tramo 5	130-155	Tramo básicamente arcilloso e impermeable. Contiene un nivel de arenas medias hacia el centro..
Tramo 6	1557-185	Se trata de alternancias de arenas de gran potencia y arcillas en capas de espesor medio.
Tramo 7	185-203	Tramo básicamente arcilloso e impermeable. Contiene un nivel arenoso hacia el centro.
Tramo 8	203-278	Alternancia de arenas medias y gruesas con niveles arcillosos todos ellos de poco espesor.
Tramo 9	278-316	Tramo básicamente arcilloso e impermeable. Contiene un nivel de arenas gruesas hacia el centro..
Tramo 10	316-365	Alternancia de arenas finas medias y gruesas con algún nivel arcilloso
Tramo 11	365-416	Zona de potentes niveles de arenas gruesas que alternan con niveles arcillosos de igual espesor.

SONDEO CB-13		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-83	Se trata de un tramo muy permeable, esencialmente arenoso, sobre todo hacia techo
Tramo 2	83-98	Se trata de un tramo arcilloso e impermeable.
Tramo 4	98-145	Fundamentalmente se trata de alternancias de arenas medias y arcillas de espesores similares
Tramo 5	145-163	Tramo básicamente arcilloso e impermeable.
Tramo 6	163-180	Se trata de alternancias de arenas medias y limos arcillas en capas de espesor medio.
Tramo 7	180-203	Tramo básicamente arcilloso e impermeable.
Tramo 8	203-308	Alternancia de arenas medias y gruesas con niveles arcillosos.
Tramo 9	308-330	Tramo arcilloso e impermeable.
Tramo 10	330-390	Alternancia de arenas medias y gruesas con niveles arcillosos. Las capas son similares y de espesores medios.
Tramo 11	390-414	Zona de potentes niveles de arenas gruesas que alternan con niveles arcillosos de igual espesor.

SONDEO LA CONCEPCIÓN		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0 - 366	Alternancia de arenas y limos con arcillas y arcillas arenosas de espesor considerable
Tramo 2	366 - 483	Predominio de capas de arenas y gravas con algunas intercalaciones de arenas arcillosas y arcillas arenosas

SONDEO SANTA MARÍA		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-72	Alternancia de capas de gravas y arenas con arcillas y arcillas arenosas
Tramo 2	72-149	Predominantemente arenoso con intercalaciones de limos y arenas arcillosas
Tramo 3	149-236	Predominio de arcillas y arcillas arenosas con alguna intercalación de niveles de arenas y limos
Tramo 4	236-293	Arenas y limos de unos 3 metros de espesor. A muro de tramo aparecen algunas pasadas de arcillas.
Tramo 5	293-360	Marcadamente arcilloso con intercalaciones de arenas arcillosas y limos fundamentalmente en el muro del tramo
Tramo 6	360-448	Alternancia de gravas con limos y arenas arcillosa.

SONDEO LA MERCED		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-85	Alternancia de gravas y limos con arenas arcillosas
Tramo 2	80-160	Predominan los limos con intercalaciones de arenas arcillosas y arcillas arenosas. Hacia la base del tramo se va haciendo mas arenoso
Tramo 3	160-238	Tramo predominantemente arcilloso con intercalaciones de arenas arcillosas.
Tramo 4	238-310	Alternancia de arenas con arcillas arenosas e intercalaciones de limos y arcillas
Tramo 5	310-370	Marcadamente arcilloso con intercalaciones de poco espesor de arenas arcillosas y arcillas arenosas
Tramo 6	370-448	Alternancia de gravas con arenas y limos. En el techo aparece un potente paquete de arenas arcillosas y arcillas arenosas.

SONDEO LA CABAÑA		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-80	Niveles de gravas y arenas con algunos niveles intercalados de arcillas arenosas de espesor considerable.
Tramo 2	80-177	Tramo areno-arcilloso con niveles de arenas gruesas de poco espesor
Tramo 3	178-260	Predominantemente arcilloso con algunas intercalaciones de poco espersor de arenas arcillosas
Tramo 4	260-320	Nivel fundamentalmente arenoso- limoso con alguna intercalacion de gravas
Tramo 5	300-375	Alternancia de arcillas y arenas arcillosas con intercalaciones de limos

SONDEO SANTA RITA		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-80	Aparecen niveles de arenas y gravas con espesores en torno a 3 m. y algunas intercalaciones arcillosas sobre todo a muro del tramo
Tramo 2	80-225	Alternancia de niveles de limos y arcillas arenosas con algunos niveles intercalado de arenas de poco espesor.
Tramo 3	225-250	Marcadamente arcilloso con apariciones de arenas arcillosas

SONDEO SANTA ELENA		
TRAMOS	**PROFUNDIDAD (m)**	**LITOLOGÍAS**
Tramo 1	0-84	Alternancia de gravas con intercalaciones de limos y arenas
Tramo 2	84-247	Alternancia de arenas arcillosas y arcillas arenosas de elevado espesor con algunas intercalaciones esporádicas de limos y arenas
Tramo 3	247-346	Paquetes arcillosos de gran espesor con intercalaciones de arenas arcillosas.
Tramo 4	346-425	Niveles de arenas y gravas con intercalaciones de arenas arcillosas. En la base del tramo aparecen niveles arcillosos de espesor considerable.

ANEXO 5:

SECCIONES DE CORRELACIÓN

En este anexo se presentan las secciones resultantes de la correlación de los tramos definidos en cada sondeo. Se presenta además el mapa de situación de los sondeos donde se observan los perfiles de correlación seguidos.

El perfil norte sigue una dirección norte-sur y tiene una longitud de 6 Km, la sección oeste sigue una dirección Noroeste-Sureste y tiene una longitud de 7 Km. Se han obtenido dos secciones de correlación, una para cada zona.

Los perfiles sísmicos realizados en este área sugieren que todos los sedimentos de la cuenca tienen una disposición horizontal o subhorizontal, por lo que la correlación se llevará a cabo en base a este criterio, teniendo en cuenta que niveles de arenas gruesas en zonas proximales pueden pasar a arenas medias y estas a finas según nos alejemos del área fuente.

Aunque el acuífero terciario de Madrid, a gran escala ha sido definido como libre heterogéneo y anisótropo, localmente se puede considerar como un acuífero multicapa. En este tipo de acuíferos y especialmente los que corresponden a depósitos de abanicos aluviales con frecuentes cambios laterales de facies, como es este caso, al intentar correlacionar tramos litológicos se deben extremar las precauciones, puesto que el factor distancia influye contundentemente a la hora de extrapolar columnas litológicas tipo definidas para sondeos próximos, a áreas más alejadas geográficamente.

Un claro ejemplo de la influencia de la distancia se observa en la sección oeste ya que el sondeo La Concepción está alejado del resto de los sondeos por lo que este sondeo presenta características claramente distintas del resto.

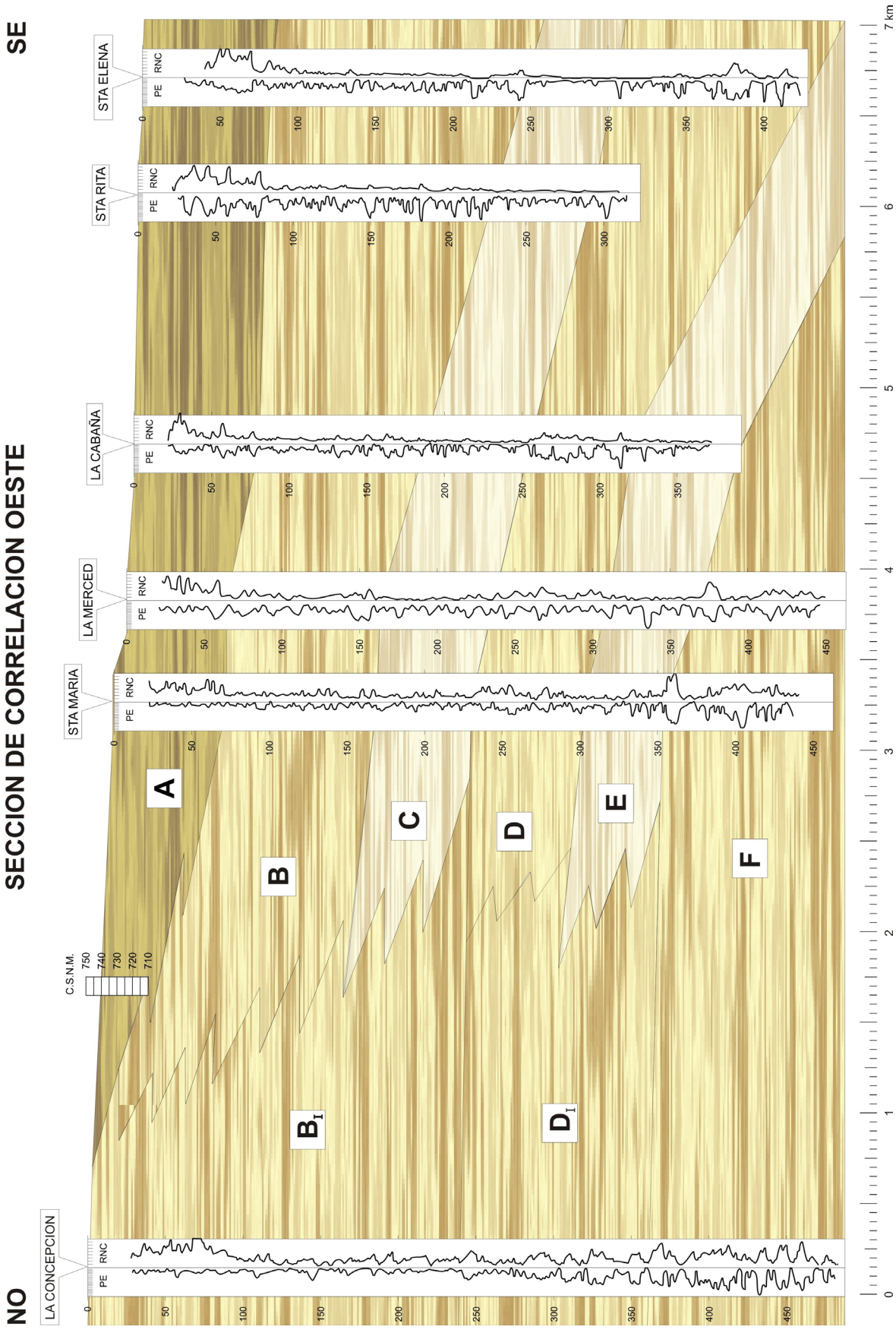
Para realizar la correlación se han analizado pormenorizadamente el conjunto de registros, aunque en las secciones sólo aparecen las curvas del resistividad y potencial espontáneo por ser las más definitorias.

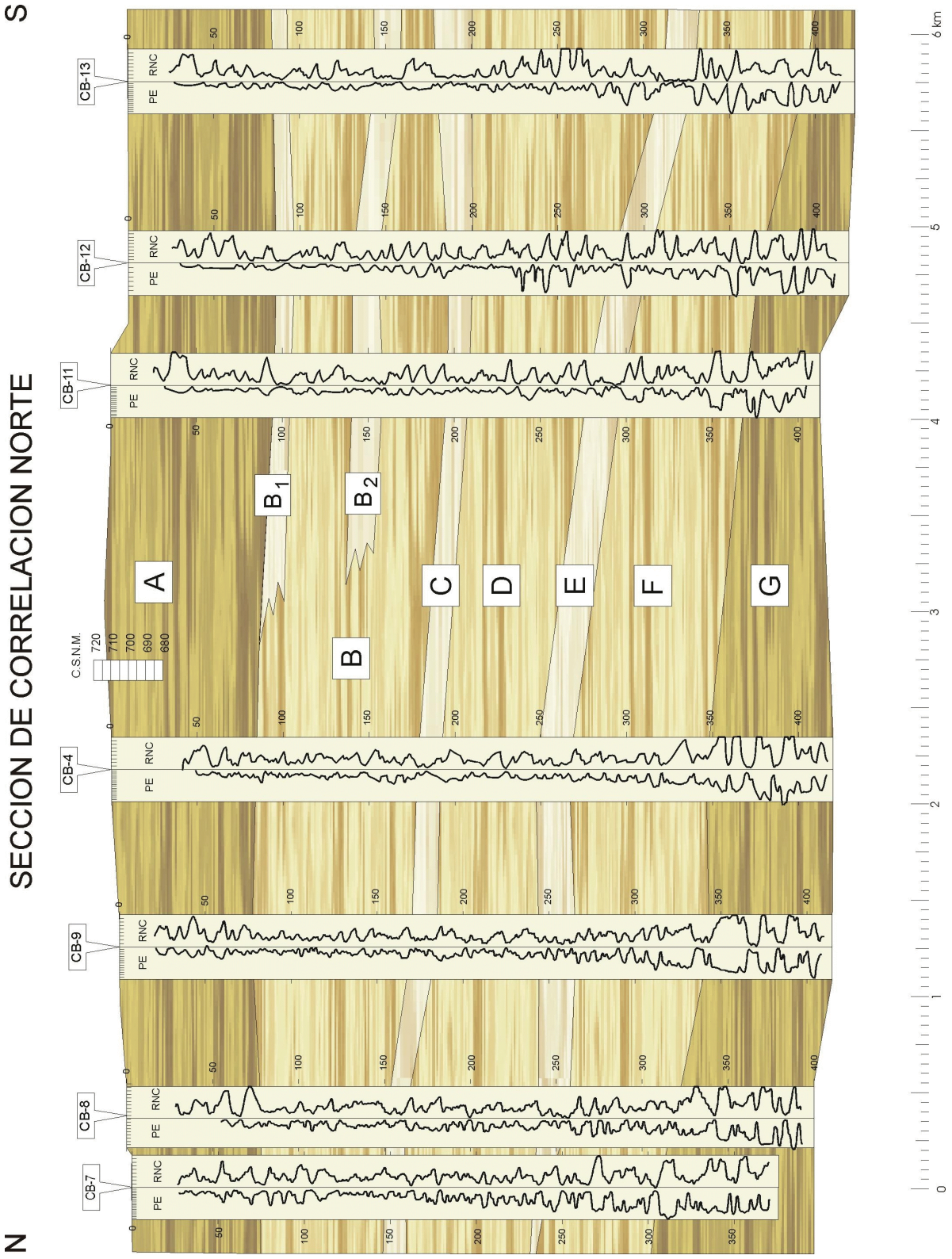
Se han identificado y correlacionado un total de 7 tramos en la sección norte y 6 en la oeste, dada la semejanza geofísica y litológica (no así los espesores) entre los tramos de ambas zonas se ha seguido la misma nomenclatura para ambas denominandose los tramos de A a G de techo a muro. A grandes rasgos se pueden definir tres grupos litológicos:

1) Los tramos muy permeables con predominio de niveles de gravas de gran potencia que alternan con niveles arcillosos (tramos A y G).

2) Los tramos permeables compuestos por alternancia de niveles arenosos y arcillosos de potencia similar (tramos B, D y F). En la zona oeste se observa que el tamaño de grano y el espesor de los niveles arenosos disminuyen hacia el SE a medida que aumentan las arcillas. En la zona norte se observa que hacia el sur los niveles de arenas aumentan en espesor y tamaño de grano. Estos hechos sugieren la existencia de cambios laterales de facies

3) Tramos impermeables compuestos por arcillas y arcillas arenosas con intercalaciones de arenas arcillosas de poco espesor (tramos B1, B2, C y E). Al igual que para los tramos anteriores se observa una disminución de las arenas arcillosas hacia el SE.


SECCION DE CORRELACION OESTE
NO
SE
LA CONCEPCION
STA MARIA
LA MERCED
LA CABAÑA
STA RITA
STA ELENA
RNC
PE
C.S.N.M.
750
740
730
720
710
A
B
C
D
E
F
B_I
D_I
0
1
2
3
4
5
6
7 km


SECCION DE CORRELACION NORTE
S
N
CB-13
CB-12
CB-11
CB-4
CB-9
CB-8
CB-7
RNC
PE
C.S.N.M.
720
710
700
690
680
A
B
B1
B2
C
D
E
F
G
0
50
100
150
200
250
300
350
400
0
1
2
3
4
5
6 km

ANEXO 6:

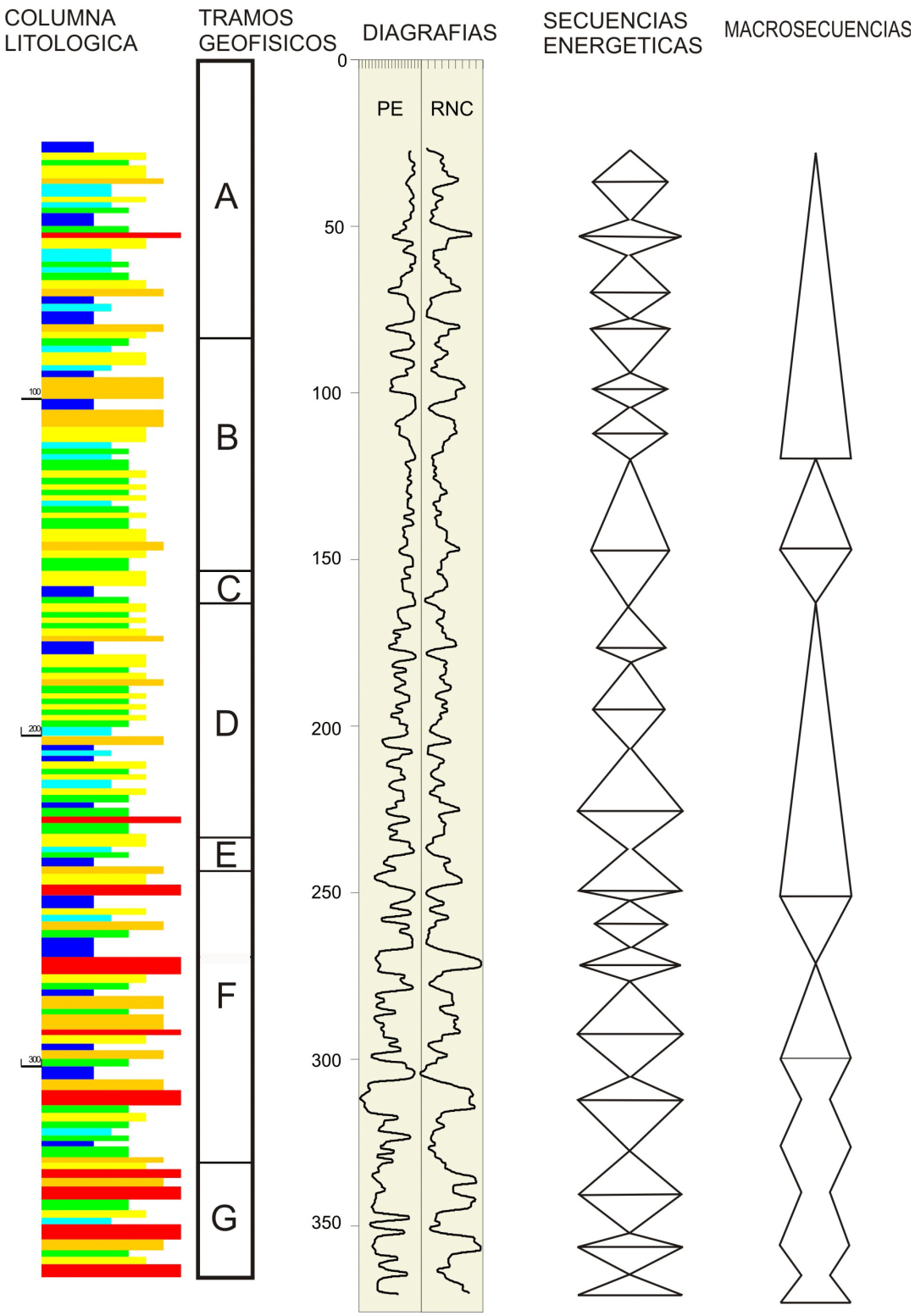
ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

En este anexo se recogen en forma de figuras los resultados obtenidos tras realizar el análisis sedimentológico.

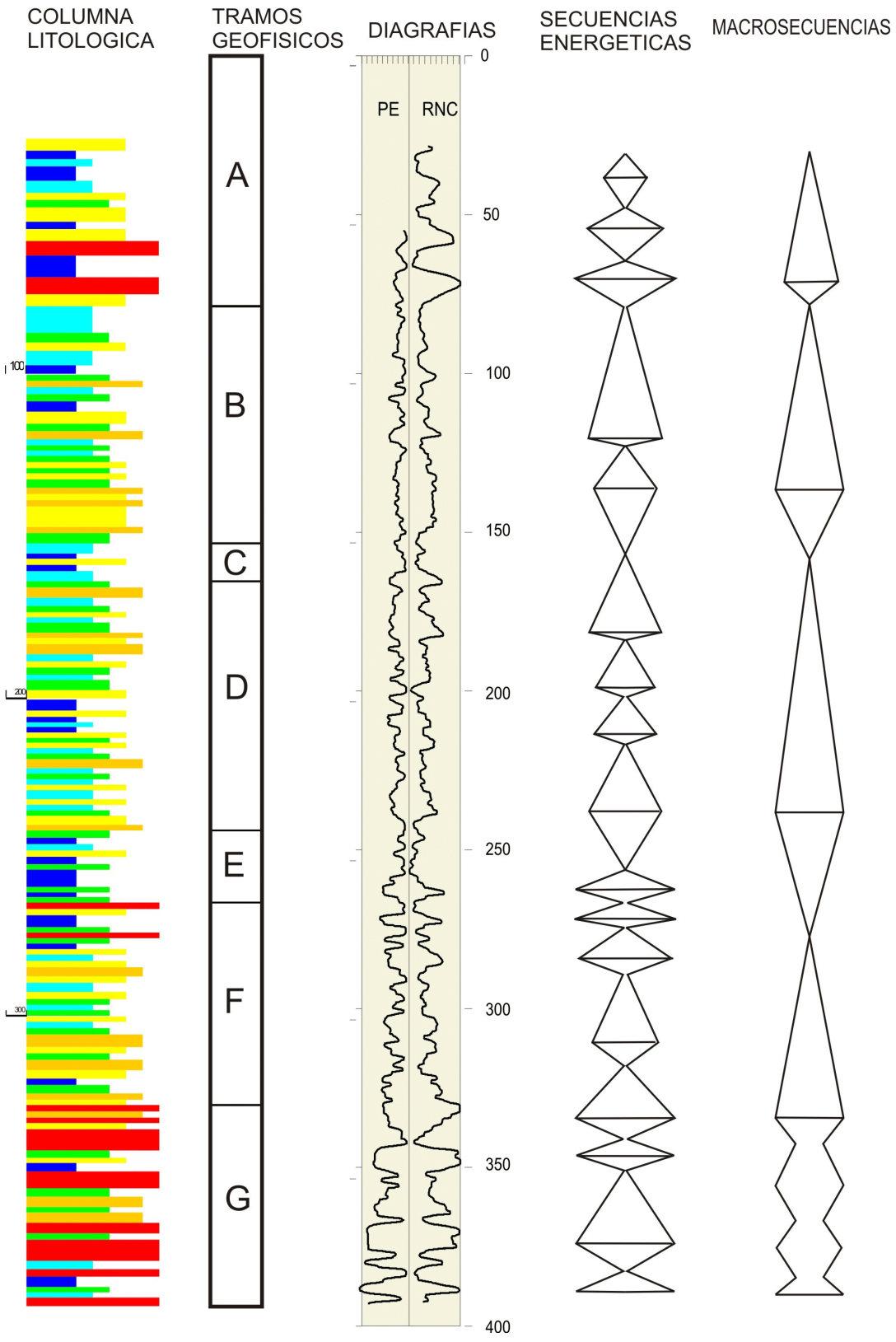
Tras el proceso de Secuencialización descrito en el capitulo 6 se tiene el sondeo dividido en secuencias lito-energéticas. Para el conjunto de sondeos se ha obtenido una media de 15 secuencias energéticas con espesores que varían de 10 a 20 metros.

Analizando los patrones de aparición de las secuencias energéticas se han agrupado en secuencias de orden mayor o macrosecuencias, para el total de los sondeos se ha definido 7 macrosecuencias.

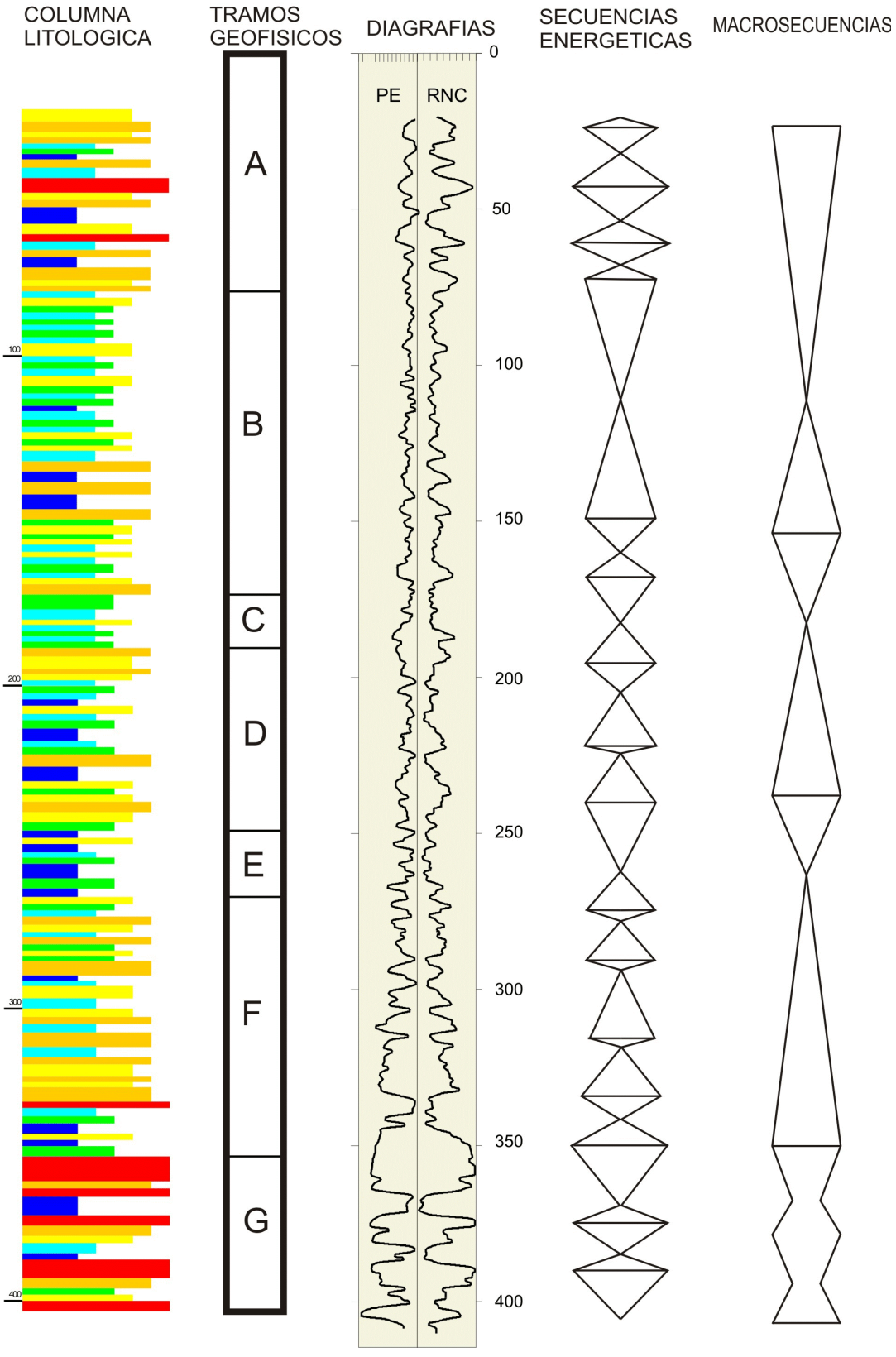
SONDEO CB 7


COLUMNA LITOLOGICA
TRAMOS GEOFISICOS
DIAGRAFIAS
SECUENCIAS ENERGETICAS
MACROSECUENCIAS
PE
RNC
A
B
C
D
E
F
G
0
50
100
150
200
250
300
350

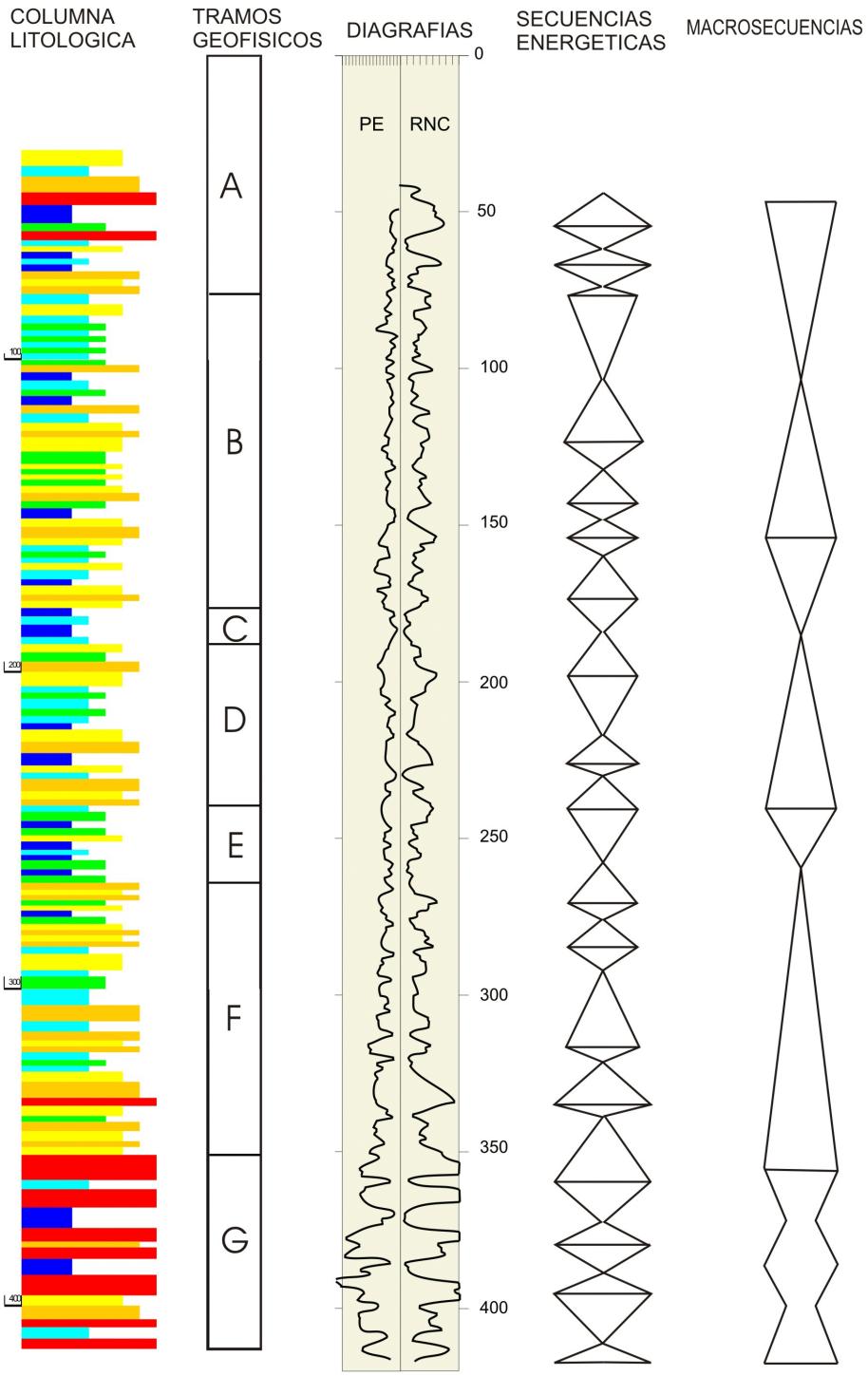
SONDEO CB 8


COLUMNA LITOLOGICA
TRAMOS GEOFISICOS
DIAGRAFIAS
SECUENCIAS ENERGETICAS
MACROSECUENCIAS
A
B
C
D
E
F
G
PE
RNC
0
50
100
150
200
250
300
350
400
100
200
300

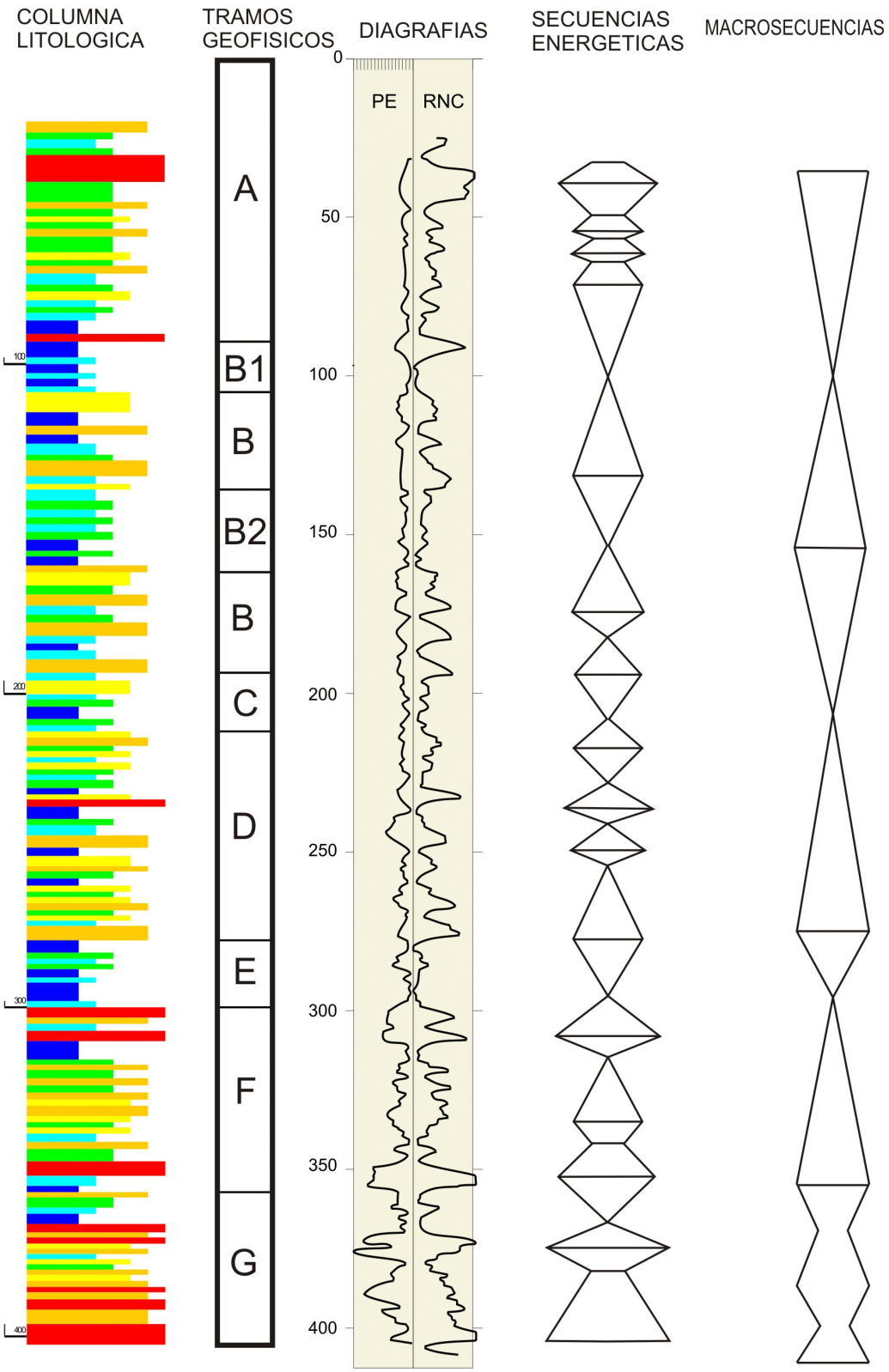
SONDEO CB 9


COLUMNA LITOLOGICA
TRAMOS GEOFISICOS
DIAGRAFIAS
SECUENCIAS ENERGETICAS
MACROSECUENCIAS
PE
RNC
A
B
C
D
E
F
G
0
50
100
150
200
250
300
350
400

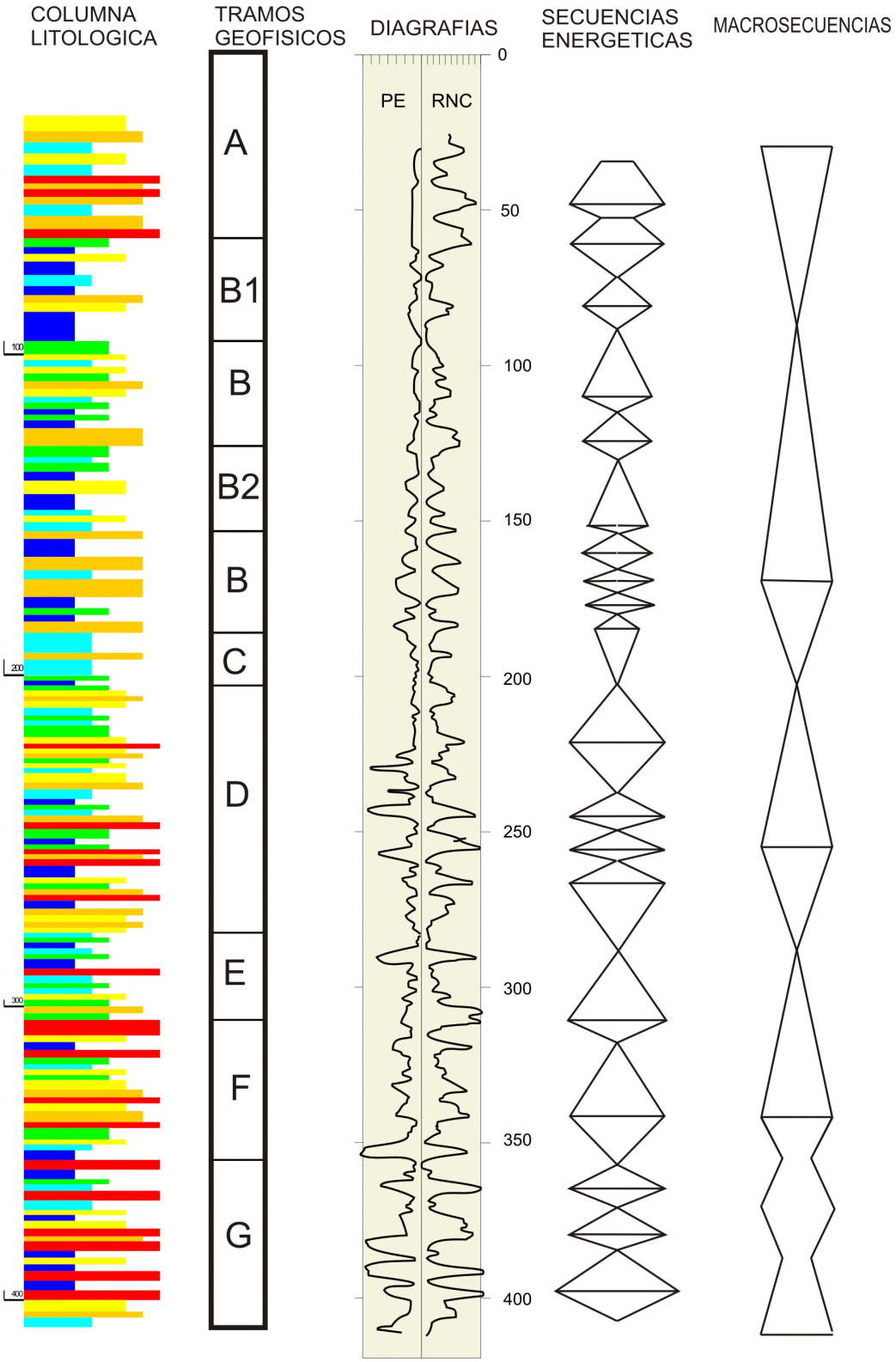
SONDEO CB 4


COLUMNA LITOLOGICA
TRAMOS GEOFISICOS
DIAGRAFIAS
SECUENCIAS ENERGETICAS
MACROSECUENCIAS
PE
RNC
A
B
C
D
E
F
G
0
50
100
150
200
250
300
350
400

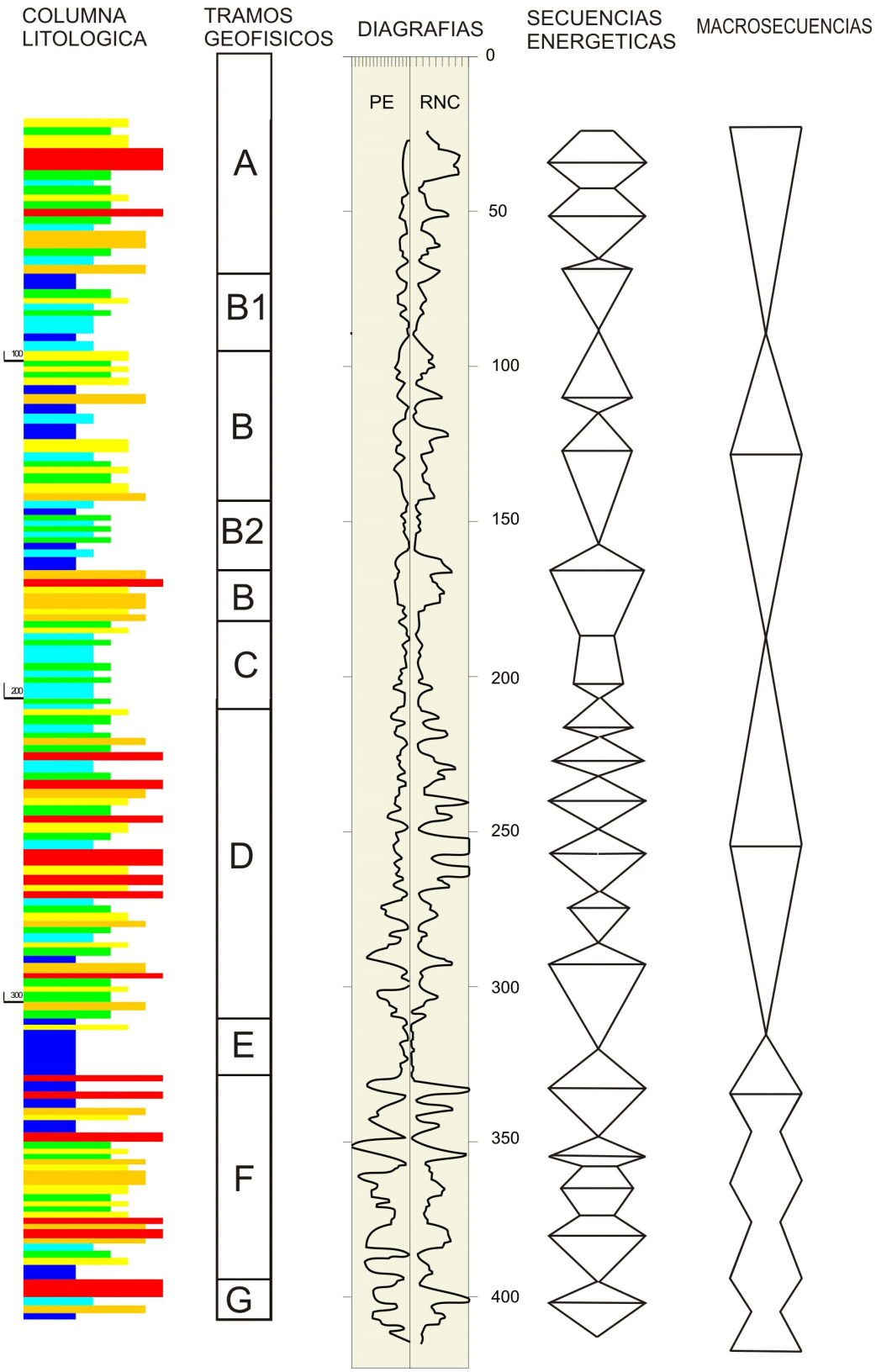
SONDEO CB 11


COLUMNA LITOLOGICA
TRAMOS GEOFISICOS
DIAGRAFIAS
SECUENCIAS ENERGETICAS
MACROSECUENCIAS
PE
RNC
A
B1
B
B2
B
C
D
E
F
G
0
50
100
150
200
250
300
350
400

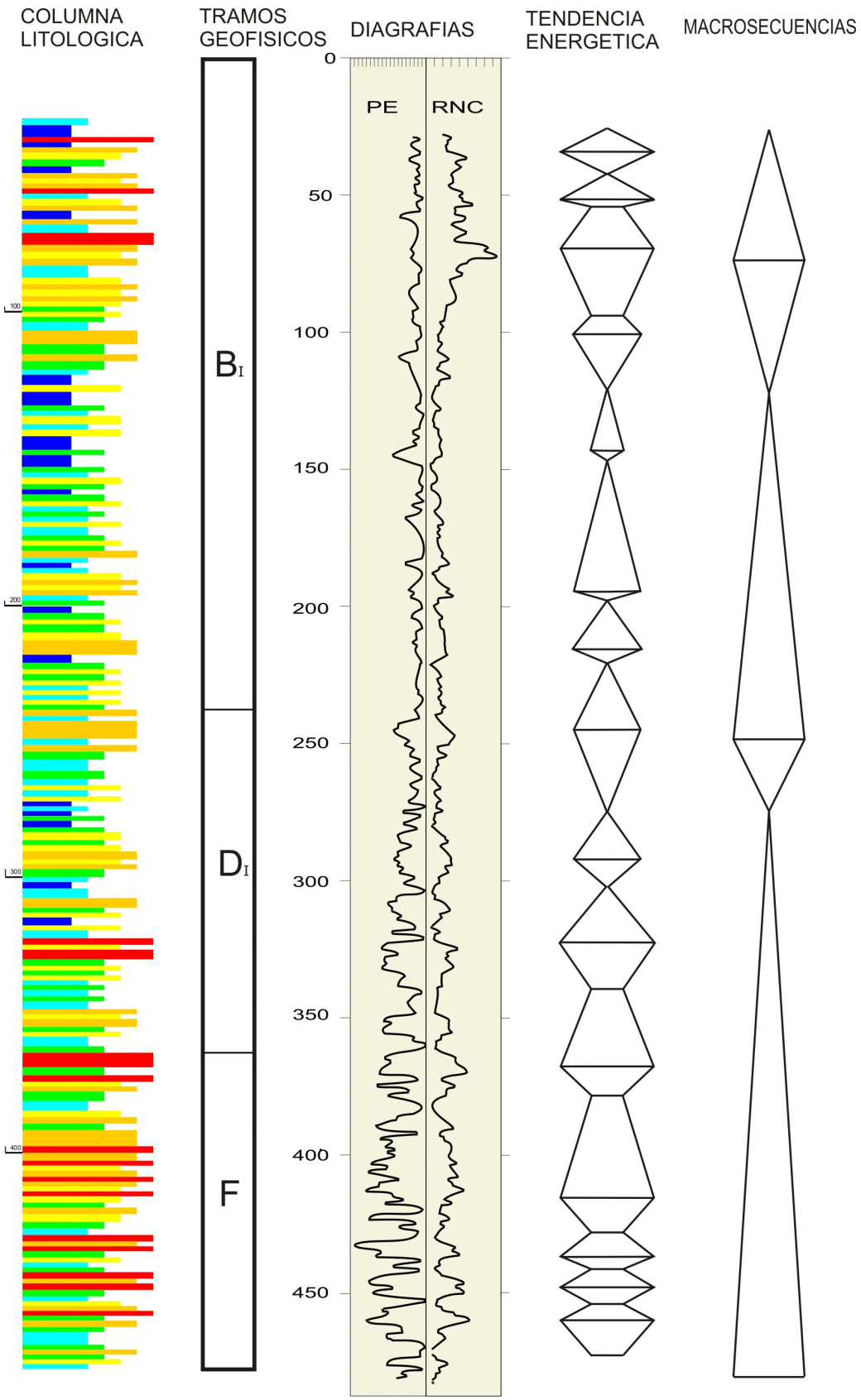
SONDEO CB 12


COLUMNA LITOLOGICA
TRAMOS GEOFISICOS
DIAGRAFIAS
SECUENCIAS ENERGETICAS
MACROSECUENCIAS
A
B1
B
B2
B
C
D
E
F
G
PE
RNC
0
50
100
150
200
250
300
350
400

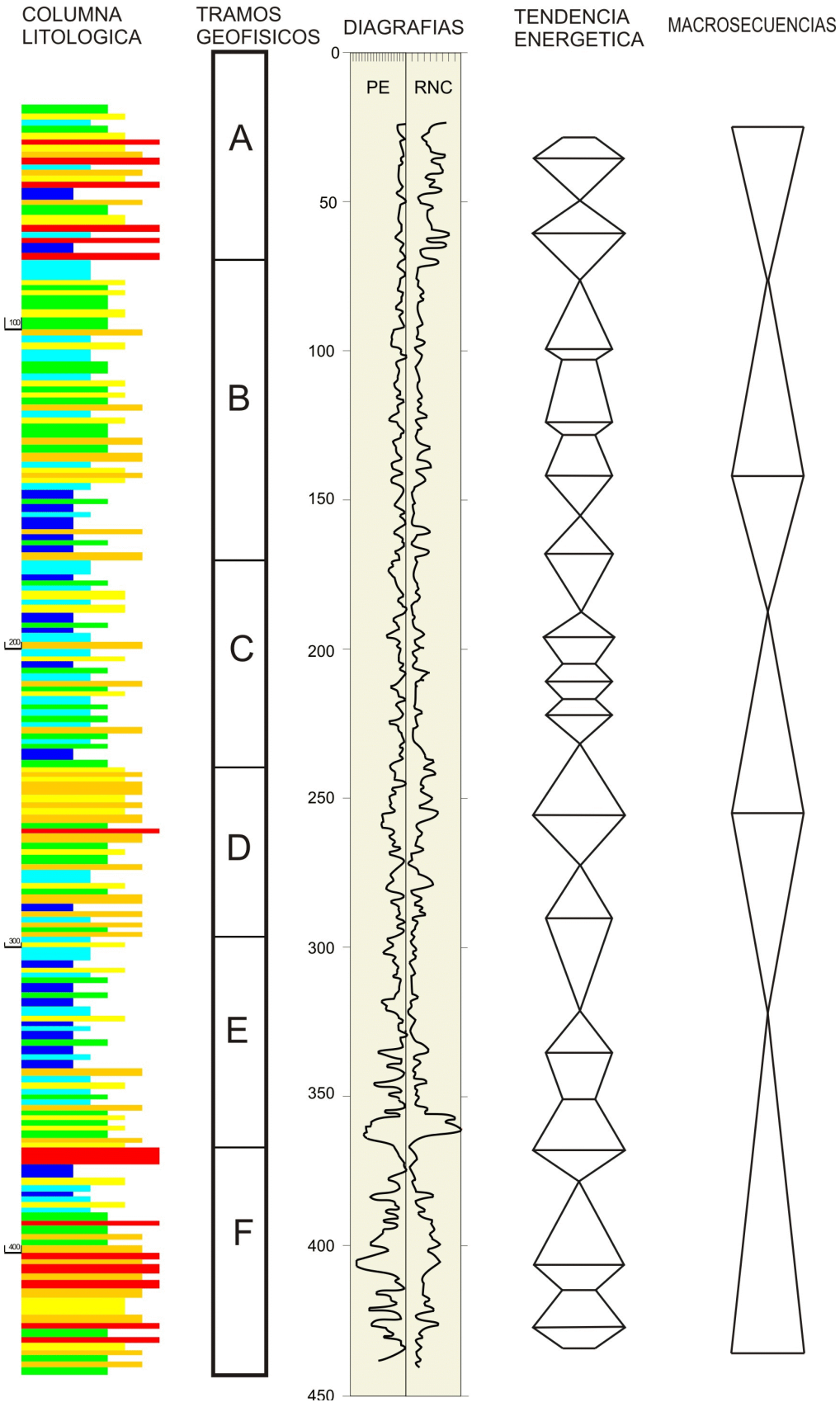
SONDEO CB 13


COLUMNA LITOLOGICA
TRAMOS GEOFISICOS
DIAGRAFIAS
SECUENCIAS ENERGETICAS
MACROSECUENCIAS
PE
RNC
A
B1
B
B2
B
C
D
E
F
G
0
50
100
150
200
250
300
350
400

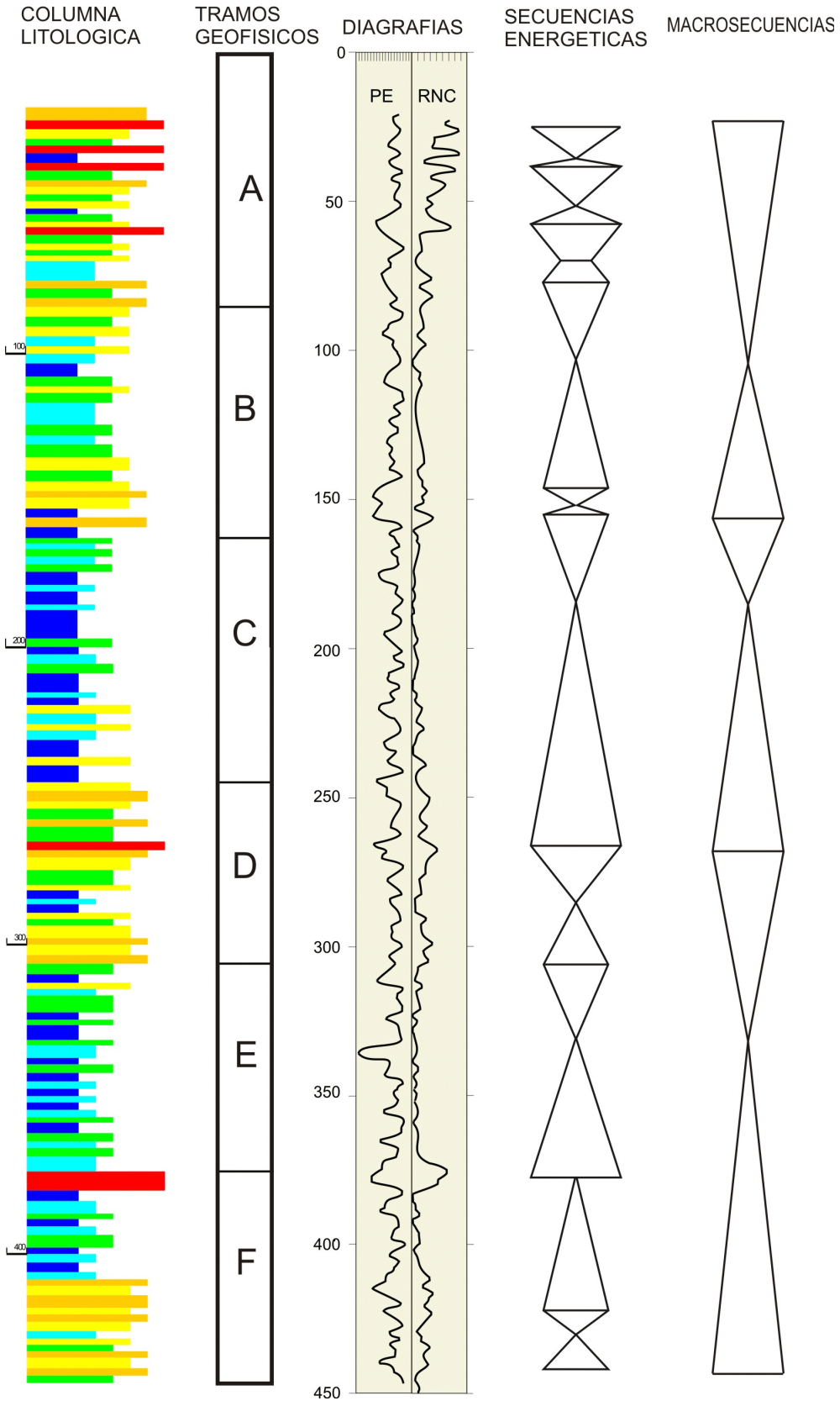
SONDEO LA CONCEPCION



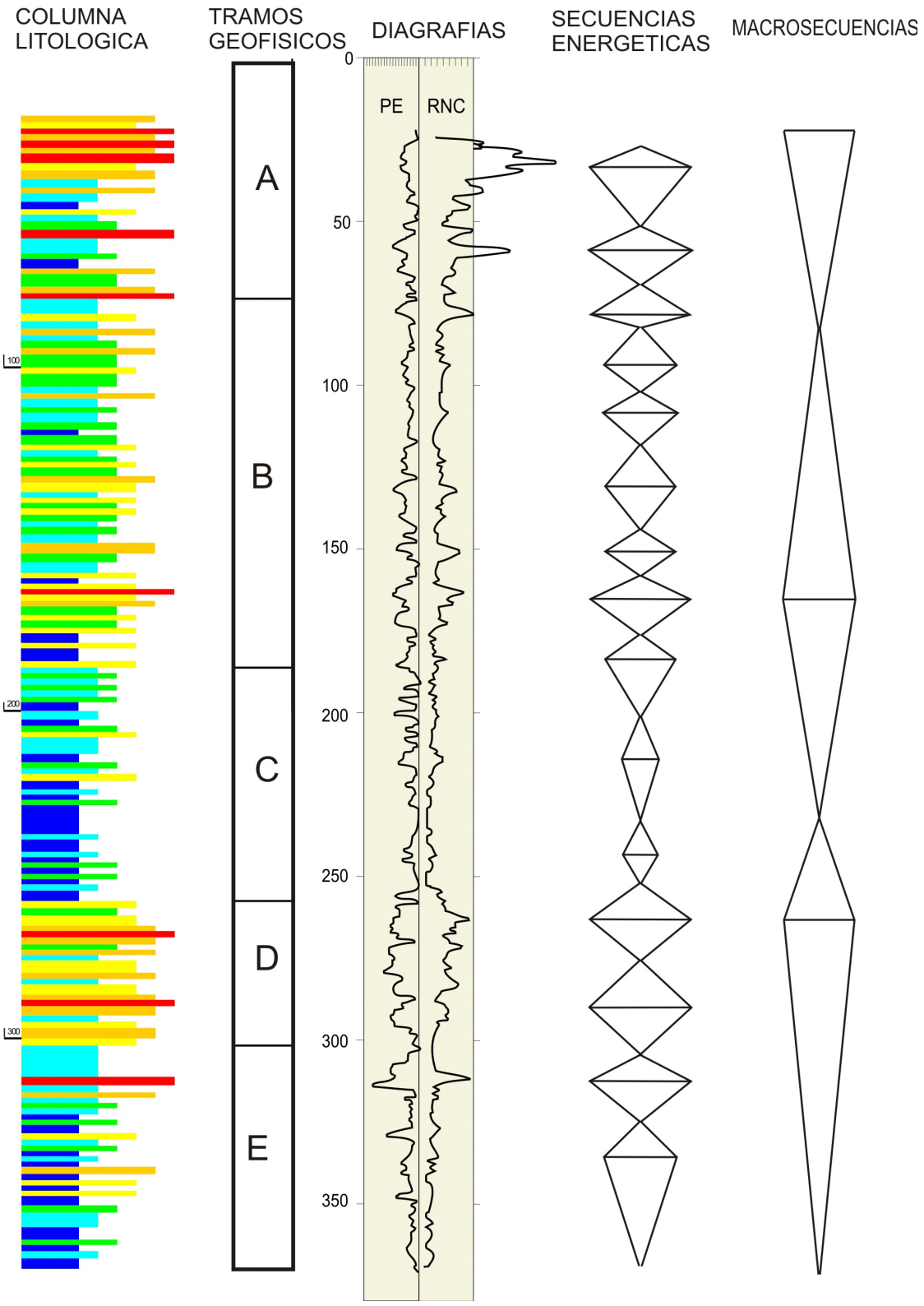
SONDEO SANTA MARIA



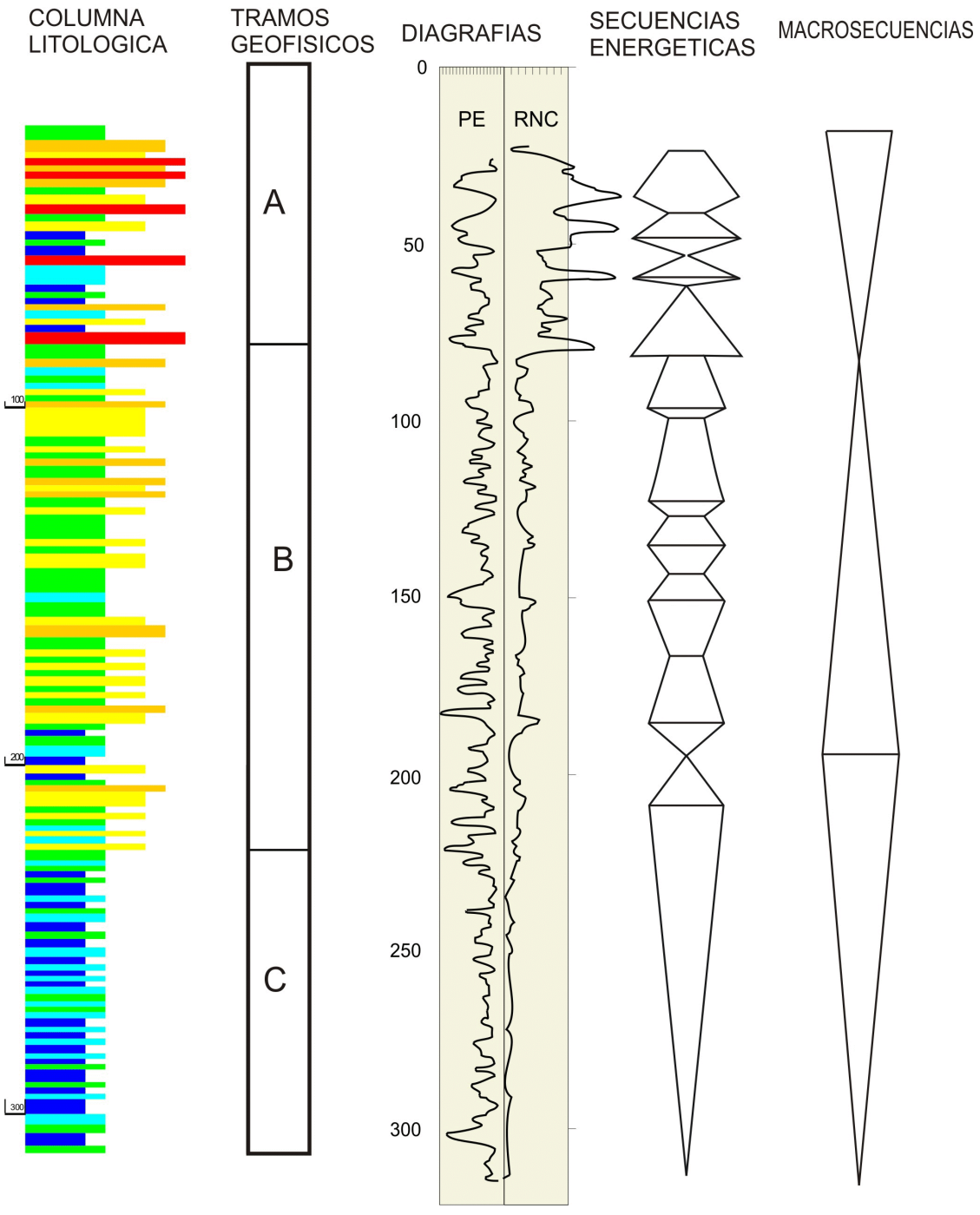
SONDEO LA MERCED



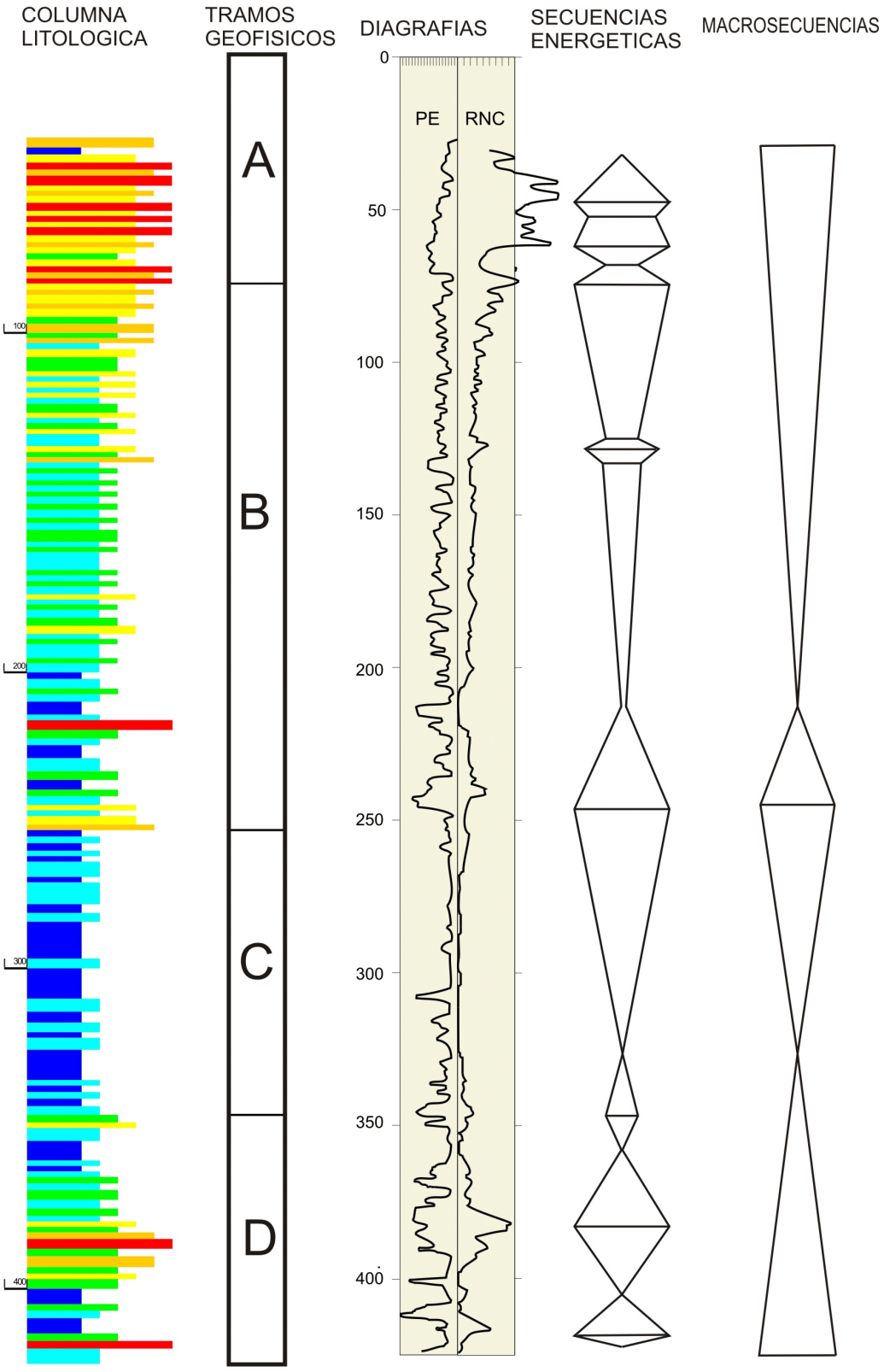
SONDEO LA CABAÑA



SONDEO SANTA RITA



SONDEO SANTA ELENA



ANEXO 7:

DIAGRAFÍAS

En este anexo se presentan las salidas gráficas de las diagrafías realizadas para cada uno de los sondeos a escala vertical 1:200.

El primer paso fue realizar la conversión de los registros analógicos a registros digitales discretizados a intervalos equidistantes de profundidad para su posterior tratamiento. Éste consistió por un lado en eliminar las variaciones de carácter global de las líneas base de potencial espontáneo en todos los sondeos y de gamma natural en los casos en los que existía un desplazamiento de la misma debido a la emisión que provocan las arcillas presentes en el lodo de perforación al ir decantándose en el fondo del sondeo. Por otro lado se compararon dos a dos los registros de cada sondeo para evaluar el decalaje medio y corregirlo.

Como puede observarse tras el proceso de digitalización y tratamiento se obtienen curvas de muy buena calidad, en las que no se aprecian decalajes significativos aunque como se comentó al no ser éste igual en todos los tramos del registro se arrastran ciertos decalajes locales. Por otro lado también hay que destacar la ausencia de variaciones globales de las lineas base de potencial espontáneo y de gamma natural.

En algunos registros de Gamma Natural se observa un desplazamiento de la linea base que no se ha corregido ya que éste es debido a las variaciones del diámetro de perforación a lo largo del sondeo y como se comentó esta corrección se realiza posteriormente al proceso de segmentación en la interpretación de los registros de G.N. para la determinación del indice de arcilla.

En la parte central de cada registro aparecen las columnas litológicas obtenidas como resultado de la interpretación y asignación realizada.