



El programa del Sondeo Profundo Continental (KTB) en la República Federal de Alemania: el sondeo previo KTB-Oberpfalz VB

The Continental Deep Drilling Program (KTB) in the Federal Republic of Germany: drill hole KTB-Oberpfalz VB

UHLIG, S.

En este trabajo se presenta el Programa del Sondeo Profundo Continental (KTB) en la República Federal de Alemania, sus objetivos y sus primeros pasos hasta la realización del sondeo previo KTB-Oberpfalz VB (NE de Baviera). Este sondeo corta rocas metamórficas del basamento cristalino en el noroeste del Macizo Variscico de Bohemia. En el perfil de los primeros 1.000 metros predominan paragneises y anfibolitas con notables mineralizaciones de sulfuros.

Palabras clave: Sondeo Profundo Continental, Variscico, cabalgamiento, rocas metamórficas, sulfuros.

An introduction is given into the Continental Deep Drilling Program (KTB) of the Federal Republic of Germany, the purpose of the KTB, and the first steps to the realization of the pre-drilling KTB-Oberpfalz VB (NE Bavaria). This borehole is situated in the metamorphic basement of the northwestern part of the Variscan Bohemian Massif. Within the first 1.000 meters paragneisses and amphibolites predominate and stockwork-like sulfide mineralizations are frequent.

Key words: Continental Deep Drilling, Variscan, overthrust, metamorphic rocks, sulfides.

UHLIG, S.

(KTB-Feldlabor, D-8486 Windischeschenbach. Alemania Federal)

INTRODUCCION

Desde el siglo XIX se intenta investigar el subsuelo por sondeos de exploración de sal, de hulla y de hidrocarburos. De una profundidad de pocos cientos de metros se llegó a unos miles de metros en nuestros tiempos. Pronto, en los años 60, se empezó a estudiar la corteza oceánica con el proyecto científico DEEP SEA DRILLING PROJECT (DSDP), seguido en 1985 por el OCEAN DRILLING PROGRAM (ODP) con el nuevo barco de perforación JOIDES RESOLUTION. Gracias a los estudios geofísicos y los sondeos profundos de exploración se creía conocer bien la corteza continental. Pero con las preguntas e interpretaciones que aparecieron como consecuencia de la Tectónica de Placas, que por supuesto se comprobó con el Programa de Perforaciones Submarinas, se llegó a la conclusión de que todavía se sabe demasiado poco de la corteza continental y de los procesos tectónicos y metamórficos que tienen lugar en ella. Actualmente los sondeos Kola SG-3 en la URSS (con una profundidad de 12.500 m) y Bertha Rogers en los EEUU (cerca de 9.600 m) son los sondeos científicos más profundos de los realizados en el mundo.

ESTUDIOS PREVIOS, HISTORIA DEL PROYECTO KTB

En 1981, la Comisión de la DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (Comunidad Alemana de Investigaciones Científicas) recomendó examinar la posibilidad de una contribución alemana respecto a la investigación de la corteza continental por medio de un sondeo «hiperprofundo». Con fondos del MINISTERIO FEDERAL DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA se formó el Grupo de Proyecto «Kontinentales Tiefbohren» para llegar a su realización en colaboración con representantes de Departamentos Universitarios de Ciencias Geológicas, de Instituciones Estatales de

Geología y de la Industria Minera. Después de 2 años de investigación, en 1983, este Grupo llegó a la conclusión de que existe el potencial científico y técnico para poder realizar un Sondeo Profundo de unos 10.000 metros con el fin «de una investigación inicial sobre condiciones y procesos físicos y químicos existentes en la corteza profunda para entender la dinámica y la evolución de la formación de estructuras intracontinentales». En la declaración del Grupo de Proyecto se presentaron 4 localidades para un futuro Sondeo Profundo (Fig. 1):

- ALBSTADT (en la Fosa de Hohenzollern (S. de Alemania), la zona de sismicidad más activa de Alemania, cerca de la anomalía térmica de Urach).
- HOHES VENN (zona de «prefosa» variscica caracterizada por amplios cabalgamientos que están relacionados con la reducción de la corteza continental durante la Orogénesis Variscica en Centro-Europa).
- OBERPFALZ (NE de Baviera, donde la Zona de Saxoturingia (en el norte) limita con la Zona Moldanubiana (en el sur), este borde es una zona tectónica muy importante en el macizo variscico de Centro-Europa; su situación geotectónica se podría comparar, tal vez, con el tránsito de la Zona de Ossa-Morena a la Zona Centro-Ibérica).
- SELVA NEGRA (SO de Alemania, macizo cristalino, Zona Central del Orógeno Variscico en Centro-Europa comparable con la Zona Centro-Ibérica en España; por la estructura de la Fosa del Rin la Discontinuidad de Mohorovicic alcanza unos 24 km de profundidad).

De estas cuatro localidades, dos zonas, una en la parte central de la Selva Negra y otra en la Oberpafalz, fueron elegidas para

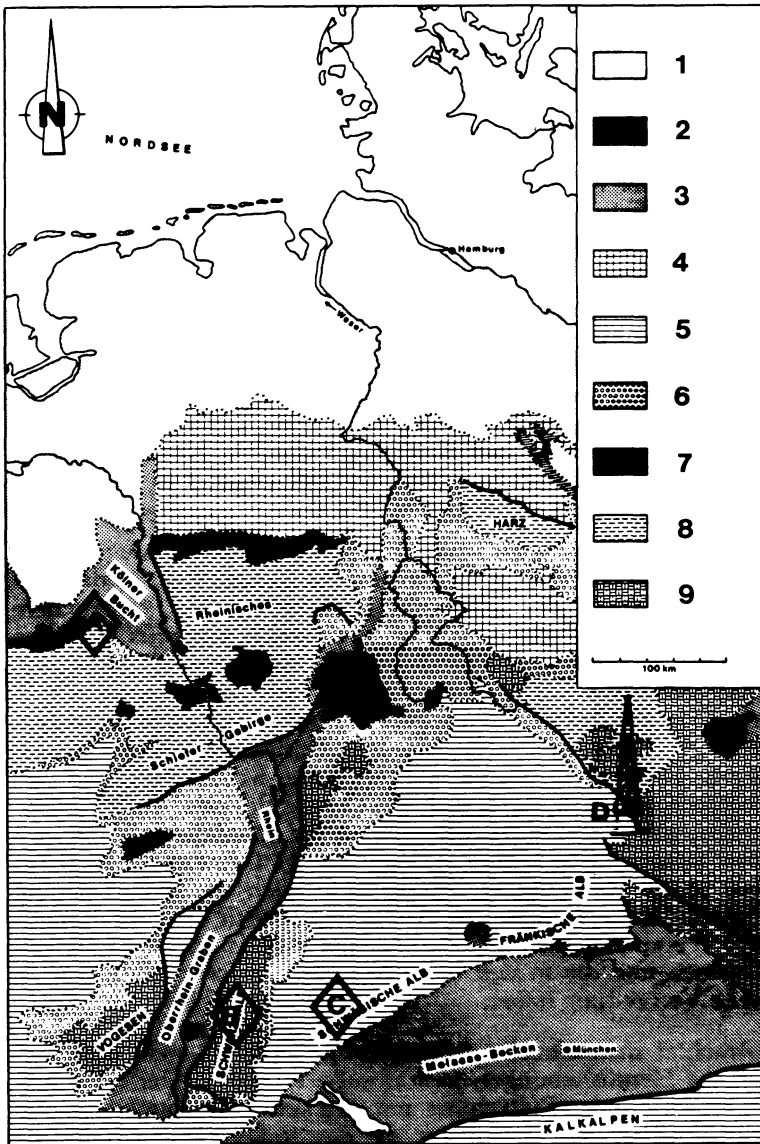


Fig. 1. Sinopsis geológica de la República Federal de Alemania (HENNINGSEN 1976) con las 4 localidades del KTB (propuestas en 1983).

- 1 - Sedimentos del Cuaternario.
- 2 - Basaltos del Terciario.
- 3 - Sedimentos del Terciario.
- 4 - Rocas sedimentarias del Mesozoico en el Norte y en el Centro de la Rep. Fed. de Alemania.
- 5 - Rocas sedimentarias del Mesozoico en el Parte Sur de la Rep. Fed. de Alemania.
- 6 - Areniscas y conglomerados del Rotliegendes y del Buntsandstein
- 7 - Carbonífero Superior con capas de hulla
- 8 - Devónico y Carbonífero Inferior
- 9 - Rocas magmáticas y metamórficas del Paleozoico Inferior y del Precámbrico

Localidades: A: Hohes Venn, B: Selva Negra; D: Oberpfalz; E: Fosa de Hohenzollern.

realizar estudios detallados durante los próximos dos años (1984-1986). EL MINISTERIO FEDERAL DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA suministró los fondos para estos estudios bajo la administración de la DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT. En otoño de 1986 se presentaron los resultados de las investigaciones geofísicas, geológicas y geoquímicas de estas dos zonas en el Segundo Coloquio de Seeheim. La localidad Oberpfalz se eligió como sitio atractivo y apropiado para garantizar la realización de los estudios previstos con un bajo riesgo técnico y financiero para llegar a una profundidad de unos 12-14 km.

En detalle los objetivos más importantes del Programa del Sondeo Profundo en la Corteza Continental (Kontinentales Tiefbohrprogramm KTB) son:

- Estudiar las condiciones físicas y químicas, la distribución de tensiones y los procesos geoquímicos actuales en un perfil continuo de la corteza continental como también la producción y el flujo de calor a grandes profundidades.
- Investigar estructuras profundas que sólo se conocen por estudios geofísicos. Para la interpretación realista de datos geofísicos habría que conocer bien los cambios en la velocidad sísmica y en la conductibilidad eléctrica con la profundidad.
- En la evolución dinámica de la corteza móvil, las inclusiones fluidas son de gran importancia para conocer el transporte convectivo de calor, los procesos de deformación así como también la formación y transformación de depósitos minerales; por esta razón hay que estudiar la circulación y el efecto de los fluidos en la corteza terrestre.
- Además se investigará la intensidad y la composición de la degasificación del manto y la corteza terrestre.

- Una vez realizado, la perforación del sondeo puede servir como estación fija de geofísica para explorar el límite entre la corteza y el manto terrestre que se encuentra a una profundidad de unos 35 km (en la zona elegida de la Oberpfalz) y para poder estudiar fenómenos relacionados con sismos.

GEOLOGIA REGIONAL DE LA LOCALIDAD OBERPFALZ

Por la actividad minera que empezó tan temprano como la Edad Media, se conoce bien la importancia metalogenética de esta parte de la Oberpfalz que se encuentra en el NO del Macizo Variscico de Bohemia (Fig. 2). Hacia el norte la Fosa de Eger (de edad Terciario-Pleistocena) y en el oeste el Lineamiento de Franconia (de edad Mesozoico-Cenozoico) demarcan el límite con la cobertera mesozoica y cenozoica. En la zona del sondeo la litosfera llega a tener un espesor de cerca de 100 km debido a la colisión de dos placas continentales hace unos 390 a 320 millones de años. Las unidades tectónicas que corresponden a estas placas son la Zona de Saxoturingia (en el norte) y la Zona Moldanubiana (en el sur). Una intensa tectónica de cabalgamientos variscicos caracteriza estas zonas. A consecuencia de estos procesos tectónicos la Zona Moldanubiana se encuentra empujada, hacia el norte, encima de la Zona de Saxoturingia (Fig. 3). Los resultados de las investigaciones previas de la localidad OBERPFALZ, están reunidos en un informe que se presentó en el Coloquio de Seeheim (editado por WEBER & VOLLBRECHT, 1986).

En la Zona de Saxoturingia el metamorfismo es monofásico de baja presión subiendo de intensidad del norte hacia el sur donde alcanza la zona de sillimanita-moscovita (a 2 kbar y cerca de 550 °C). A diferencia de la Zona Moldanubiana se conservaron estructuras sedimentarias en la Zona de Saxo-

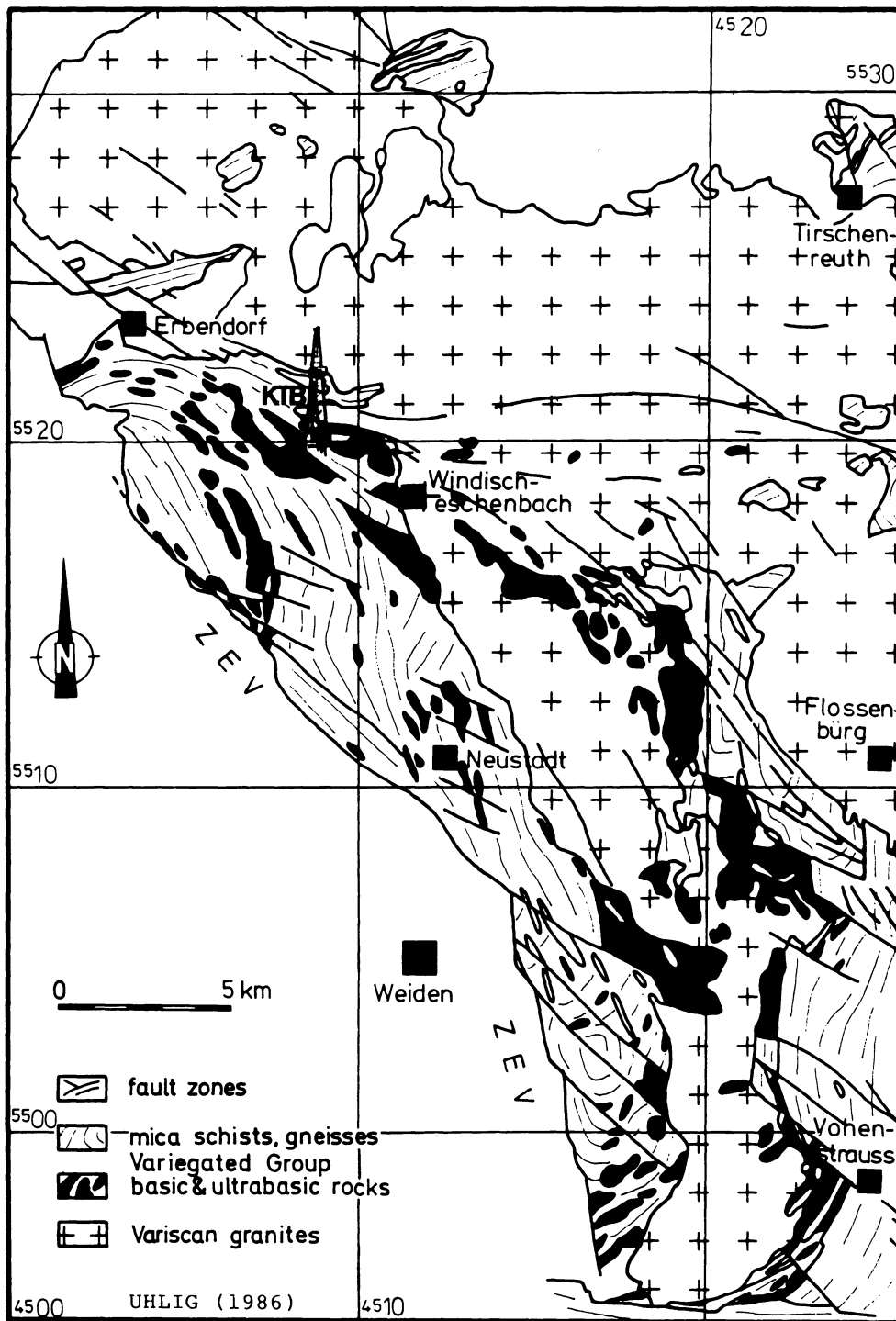


Fig. 2. Situación geológica de la Oberpfalz.

turingia. En los gneises polimetamórficos de la Zona Moldanubiana se observan aparte del metamorfismo de baja presión (gneises de cordierita y sillimanita, con un máximo de 3-4,5 kbar y 600-700 °C, + / - 380 Ma) relictos de un metamorfismo de presión intermedia más antiguo y a veces otro, más antiguo todavía (560 Ma), de alta presión. Encima de estas dos zonas se encuentran restos de un manto de corrimiento (el Macizo gneísico de Münchberg y la Zona de Erbsdorf-Vohenstrauß ZEV). En las rocas de este manto el metamorfismo es de presión intermedia (+ / - 8 kb, 610 °C). En eclogitas se pueden observar aquí también relictos de un metamorfismo de alta presión (por encima de 14 kbar y + / - 620 °C).

En el perfil sísmico de la localidad Oberpfalz se observan bien reflectores inclinados hacia el sur que corresponden a los planos de cabalgamiento donde el conjunto de Saxoturingia desaparece debajo del conjunto Moldanubiana (Fig. 3). Estas estructuras continúan hasta el límite corteza/manto. Los relictos de un manto de corrimiento (la ZEV y la Münchberger Gneismasse) se ven en el perfil sísmico en forma de estructuras cóncavas. En la parte norte de la ZEV, donde está localizado el sondeo, el magnetismo terrestre y la gravimetría llegan a tener un máximo debido a las intercalaciones de rocas básicas (anfíbolitas), véase Figuras 4 y 5. Estos métodos geofísicos como también la sismología de reflexión indican un espesor de la ZEV en la zona del sondeo de unos 4-5 km.

La intrusión de una serie de granitos posttectónicos (variscos) caracterizan la zona estudiada (Fig. 6). Se pueden diferenciar dos grandes macizos: en el norte los plutones siguen a las estructuras de pliegues amplios, de la Orogénesis Variscica (F3) de dirección SO-NE; en la parte sur la orientación N-S de los plutones corresponde a las estructuras de la ZEV, y parece que los granitos ascendieron siguiendo una zona débil entre el manto de la ZEV y el conjunto Mol-

danubiano. En los dos macizos se observa una tendencia de diferenciación geoquímica desde granitos con una edad de 320-300 Ma, a granitos jóvenes de 300-290 Ma de edad que se supone proceden de un mismo magma granítico. En relación con la metalogénesis, los granitos más jóvenes son los más importantes.

EL SONDEO PREVIO KTB-OBERPFALZ VB

Los objetivos del Sondeo Profundo son diferentes a los sondeos de exploración. Para obtener un perfil continuo de la corteza sondeada se da gran importancia a un alto porcentaje de recuperación de testigos. Con el fin de ahorrar tiempo y dinero se realizan dos sondeos: en el sondeo previo (VB) se quiere llegar a una profundidad mínima de 3.000 (hasta finales de 1988) o máxima de 5.000 m (hasta primavera de 1989) usando sondas sacamuestras. Después del sondeo previo VB se empezará con el sondeo mayor (HB) a unos 200 m de distancia del sondeo VB para llegar a la profundidad proyectada de 14.000 m. El diámetro del Sondeo Profundo será 60 cm (17 ½") al principio para poder llegar a un diámetro de 22 cm (8 ½") en la profundidad de 14 km. A esta profundidad se espera encontrar temperaturas de 250-300 °C. Como ya se conocerá la litología de los primeros 3-5 km por el sondeo VB, se podría utilizar una «sonda rotary», sin sacar testigos continuos para perforar los primeros 3-5 km del sondeo HB. También se piensa utilizar sondeos de turbina a profundidades por debajo de los 5.000 m. Para el sondeo previo se utiliza una torre de sondeo normal de exploración petrolera (de la DEUTSCHE SCHACHTBAU UND TIEFBORHRGESELLSCHAFT, SA). Se está construyendo una torre nueva automática (con forro) para el Sondeo Mayor HB (Fig. 7). Para mantener un nivel bajo a ruidos y evitar gases de escape se usan motores eléctricos en ambos sondeos. Otros detalles de la tecnología de perforación utilizada en el

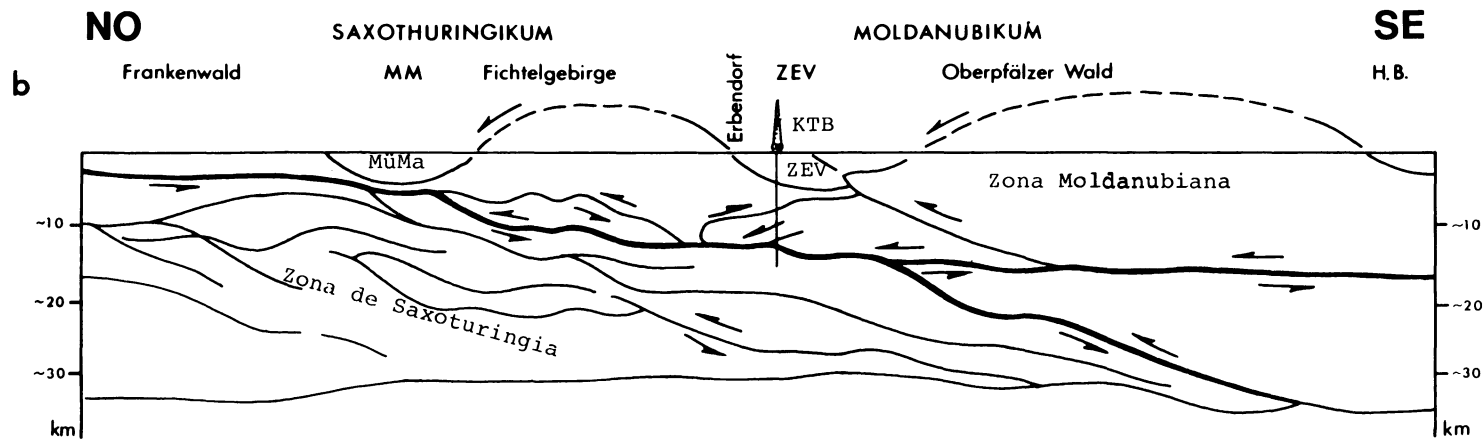
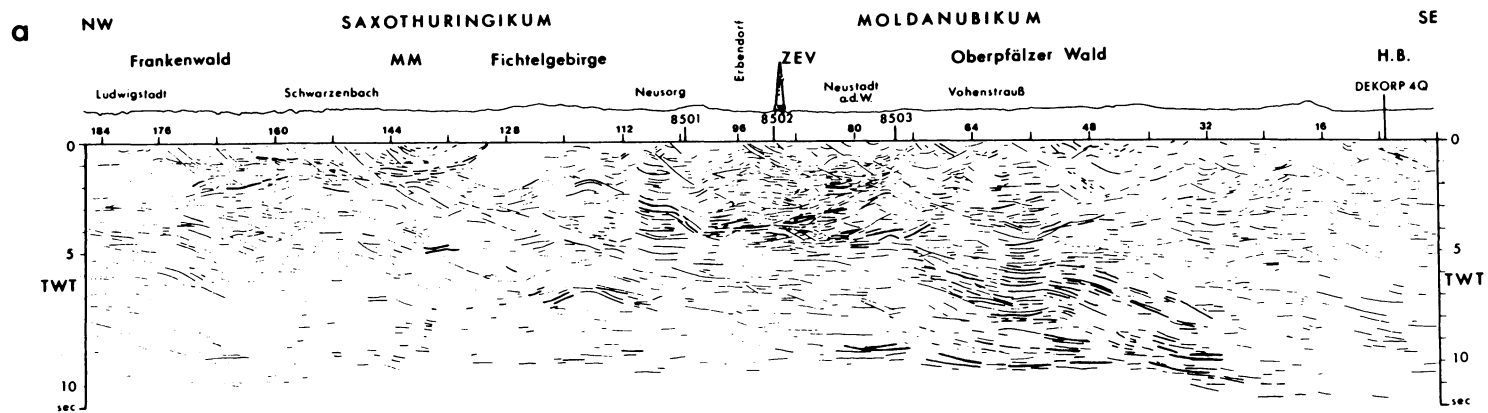


Fig. 3. Modelo de las estructuras en el subsuelo del sondeo KTB-Oberpfalz VB (según WEBER 1985).

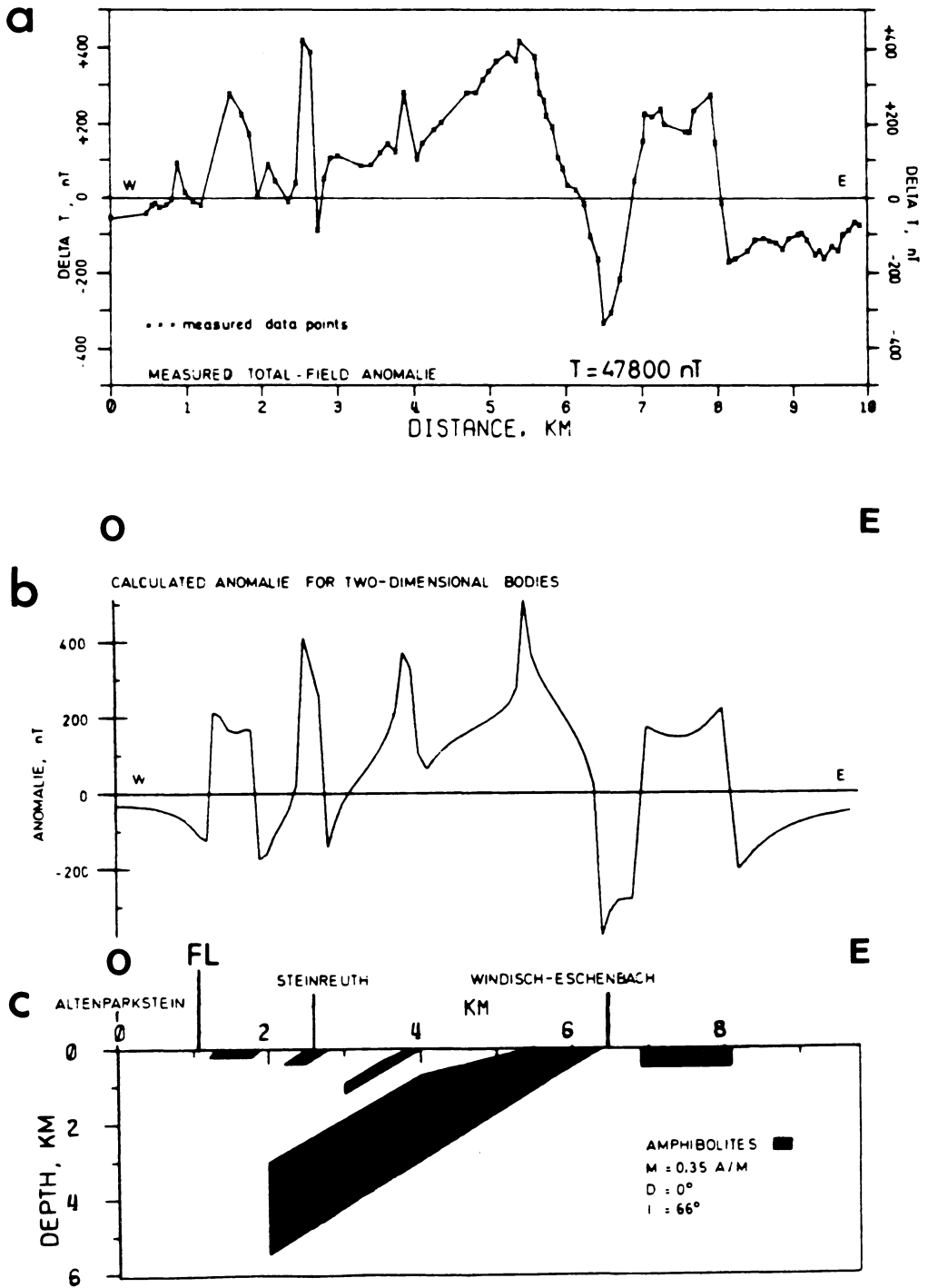


Fig. 4. Anomalía magnética positiva (por intercalaciones de anfibolitas) en el subsuelo del sondeo KTB-Oberpfalz VB (BÜCKER & SOFFEL 1986).

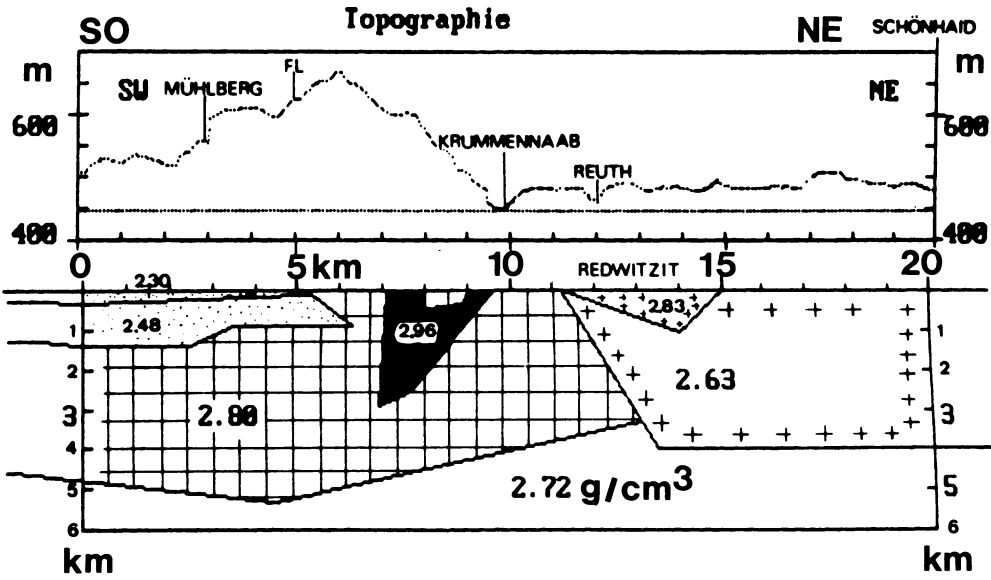


Fig. 5. Anomalía de Bouguer en el subsuelo del sondeo KTB-Oberpfalz VB (BÜCKER & SOFFEL 1986).

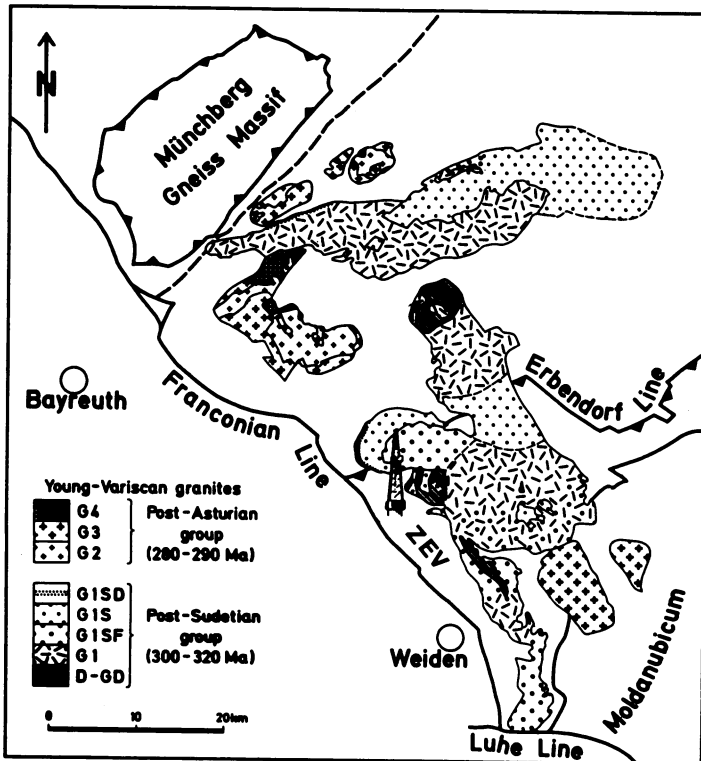


Fig. 6. Los macizos graníticos del Variscico en la Oberpfalz (STETTNER 1986).

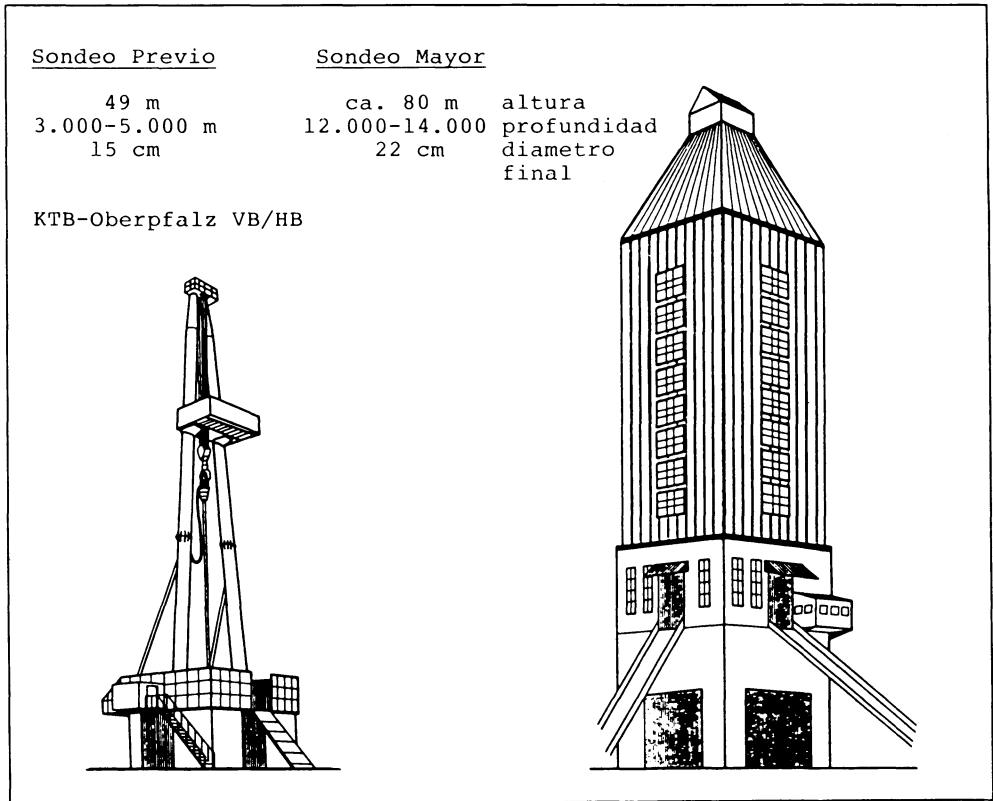


Fig. 7. Las torres de perforación del sondeo previo y del sondeo mayor (KTB-Oberpfalz VB y HB, KTB-PROJEKTL EITUNG 1987).

proyecto KTB aparecen resumidos en la publicación de RISCHMÜLLER (1988) como también en el KTB REPORT 87-1.

El sondeo previo (VB) empezó a finales de Septiembre de 1987. Los primeros 478,5 metros se bajaron en 5 semanas con una sonda rotativa de 4 y 6 conos (diámetro exterior: 10 5/8") con un tubo de testigo de 10 m de largo y cerca de 10 cm de diámetro interior. Con este sistema de sonda sacamuestras la recuperación de testigos fue de un 43 por ciento. Después de haber estudiado el perfil del sondeo por todos los métodos actuales de geofísica (incluida una sonda geoquímica), se pusieron los tubos de revestimiento hasta una profundidad de 478,5 m. A mediados de Noviembre de 1987 el sondeo continuó utilizándose aho-

ra, una cabeza fina de diamante (como las utilizadas en la exploración minera) con un tubo de testigo a cable de 6 m de largo. A finales del año de 1987 el sondeo llegó a una profundidad de 992 m. La aplicación del sistema de perforación minera («mining drilling») permitió una recuperación de testigo de casi un cien por ciento (Fig. 8).

El terreno del sondeo tiene unos 5,7 hectáreas donde se encuentra también el edificio central (2.000 m²) de los laboratorios, oficinas y el almacén de las muestras. Es una construcción de un piso con techo inclinado (en invierno es normal tener 2 m de nieve). Los laboratorios contienen todas las facilidades para realizar los estudios geológicos, petrográficos, geofísicos, geoquímicos (roca, líquido y gas) y la documentación

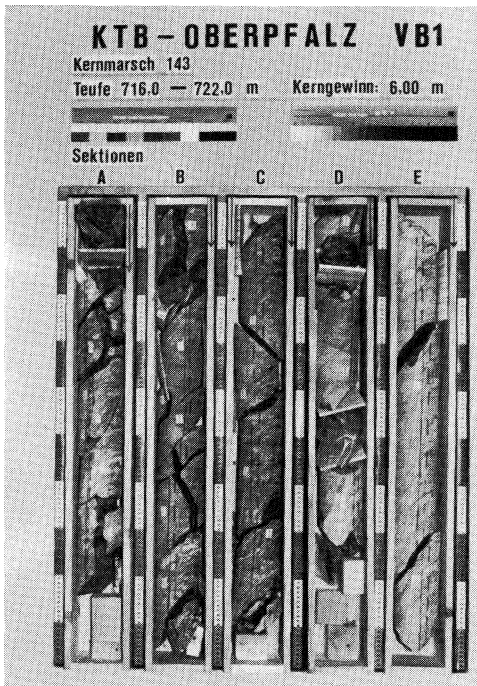


Fig. 8. Testigos de perforación rotativa (sondeo previo KTB-Oberpfalz VB) y su documentación fotográfica: gneises de biotita con foliación estrecha.

entera de las muestras y de los datos elaborados por 35 científicos y técnicos. Para el proceso de datos habrá una red de computadoras personales conectada a una VAX y una micro-VAX.

LOS PRIMEROS 1.000 METROS

El sondeo profundo KTB-Oberpfalz VB está localizado en la parte norte del conjunto ZEV que forma parte de un manto de corrimiento (Fig. 9). En el norte del sondeo, a unos 200 m, se encuentra el plutón del Granito de Falkenberg. Una gran variabilidad caracteriza la litología de la ZEV (UHLIG, 1986). Los primeros 450 metros sondeados consisten de una serie muy variada de paragneises de plagioclasa y biotita, de gneises de hornblenda y biotita, de anfibolitas con

variedades ricas en calcosilicatos y carbonatos (Fig. 10). La cercanía del Granito de Falkenberg se nota en varios filones de cuarzo y apófisis graníticas de unos decímetros de potencia que aparecen en los primeros 100 metros del sondeo. A 130 m de profundidad se encontró una capa de mármol de 3 m de potencia. En zonas determinadas los gneises de hornblenda y biotita y sobre todo las anfibolitas llevan bandas muy ricas en granate (hasta un 20 por ciento). Los segundos quinientos metros sondeados consisten en una serie monótona de paragneises de plagioclasa y biotita ricos en granates con contenidos variables de sillimanita y de distena. La foliación y la estratificación, donde se puede observar, de las rocas metamórficas es vertical a subvertical en los primeros 500 metros y llega a tener valores de 70 a 60° a 1.000 metros de profundidad.

Una meteorización intensa llega hasta una profundidad de 15 metros. En la sección sondeada las rocas ricas en biotita y en anfíboles están cloritizadas con variable intensidad (la hornblenda aparece con más frecuencia sólo por debajo de los 200 m de profundidad). La cloritización está muy avanzada en las zonas fuertemente tectonizadas. Los planos de falla horizontales y subhorizontales son de amplia distribución en todo el perfil sondeado y llevan asociadas mineralizaciones de clorita y de arcillas (con menor frecuencia) así como también notables cantidades de grafito (Fig. 11). La distribución de grafito en los planos de fallas y grietas produce una buena conductividad eléctrica en los ensayos geofísicos realizados en estas zonas.

En los 100-150 metros superiores del sondeo se puede observar un sistema cerrado (de tipo «stockwork») de grietas y filoncitos mineralizados de calcita. Esta zona se caracteriza por su riqueza en sulfuros (pirita, pirrotina, calcopirita, blenda y también galena) tanto en rellenos de grietas como en disseminaciones. Con la profundidad aumenta el contenido en clorita y en la pa-

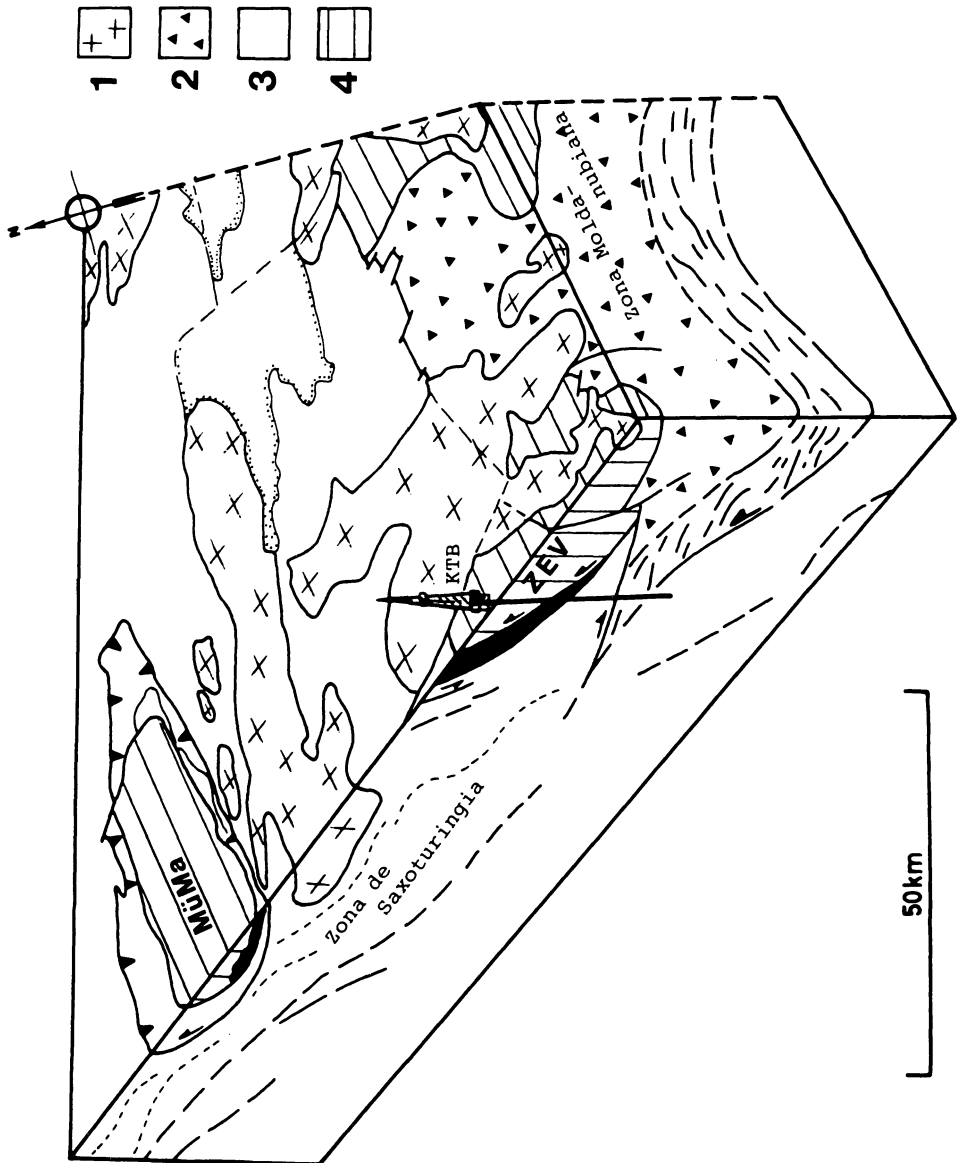


Fig. 9. Diagrama bloque de la localidad del sondeo previo KTB-Oberpfalz VB con las unidades estructurales del subsuelo (según FRANKE & BRAM 1988).

- 1 - Granitos Variscos.
- 2 - Zona Moldanubiana.
- 3 - Zona de Saxoturingia
- 4 - Zonas de presión intermedia, restos de un manto de corrimiento: ZEV y Münchberger Gneissmasse (MüMa).

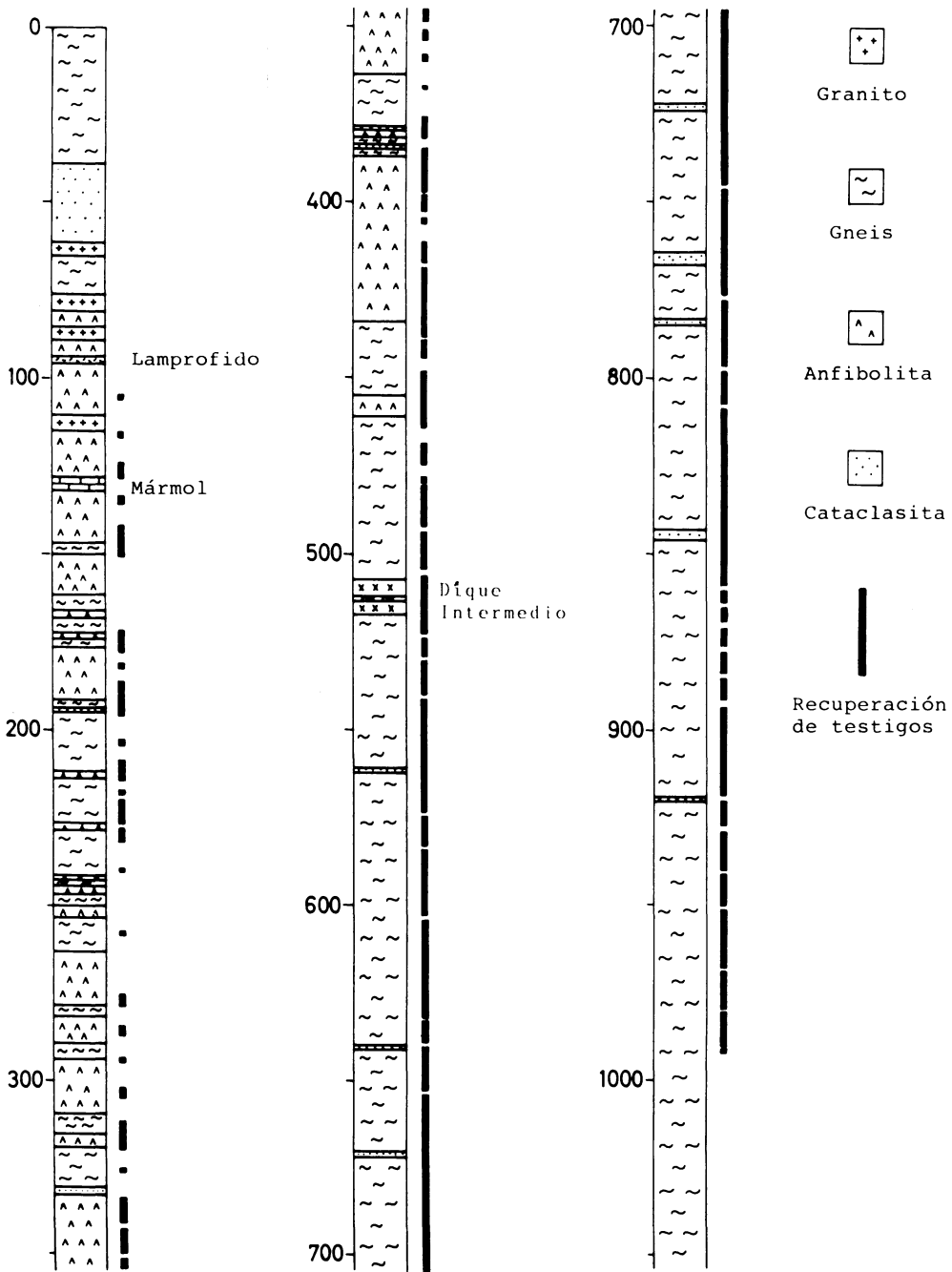


Fig. 10. Perfil litológico de los primeros 1.000 metros del sondeo previo KTB-Oberpfalz VB.



Fig. 11. Cataclastita rica en grafito, lo que intensifica la conductibilidad eléctrica (diámetro del testigo: unos 10 cm).

ragénesis cuarzo/feldespato como ganga de los filoncitos.

NOTA.—Los resultados de las investigaciones científicas de la localidad OBERPFALZ como también los resultados científicos del sondeo previo KTB-Oberpfalz VB, recién elaborados, se están publicando en la revista oficial del KTB: KTB REPORT. Esta publicación está editada por la «Projektleitung KTB im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Postfach 510153, D-3000 Hannover 51, República Federal de Alemania».

*Recibido, 28-III-88
Admitido, 12-V-88*

BIBLIOGRAFIA

- BEHR, H.-J., STEHLI, F. G., VIDAL, H. (eds., 1987). Observation of the Continental Crust through Drilling II.—Springer Verlag Heidelberg, 230 pp.
- BÜCKER, Ch. & SOFFEL, H. (1986). Kap. 2.1.6 Gravimetrie und 2.1.7 Magnetik der KTB-Bohrlokation Oberpfalz. En: K. Weber & A. Vollbrecht (eds.), Ergebnisse der Vorerkundungsarbeiten Lokation Oberpfalz, 2. KTB-Kolloquium Seeheim/Odenwald: 65-77.
- DRAXLER, J. K. & HÄNEL, R. (eds., 1987). Grundlagenforschung und Bohrlochgeophysik (Bericht 3), Bohrlochmessungen in der KTB-Oberpfalz VB, Intervall 0-478,5 m. KTB Report 87-4: 153 pp., Hannover.
- EMMERMANN, R. (1986). Das Deutsche Kontinentale Tiefbohrprogramm. Forschungskonzeption und Zielsetzung. Geowissenschaften in unserer Zeit t. 4: 19-33.
- EMMERMANN, R., DIETRICH, H. G., HEINISCH, M. & WÖHRL, T. (eds. 1988). Tiefbohrung KTB-Oberpfalz VB, Ergebnisse der geowissenschaftlichen Bohrungsbearbeitung im KTB-Feldlabor, Teufenbereich von 0-480 m. KTB Report 88-1: 249 pp., Hannover.
- HÄNEL, R. & SCHOPPER, R. (eds., 1987: Grundlagenforschung und Bohrlochgeophysik, Beiträge zur Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft in Clausthal-Zellerfeld (31.3-4.4. 1987). KTB Report 87-2: 442 pp., Hannover.
- HENNINGSEN, D. (1967). Einführung in die Geologie der Bundesrepublik Deutschland. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 119 pp.
- KTB-PROJEKTL EITUNG (1987). Das Kontinentale Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover, 22 pp.
- KTB-PROJEKTL EITUNG (1987). Vorträge der Bereiche Geowissenschaften, Operative Geologie und Technik der Projektleitung beim KTB-Kolloquium Seeheim, 19-21.9.1986. KTB Report 87-1: 164 pp., Hannover.
- RISCHMÜLLER, H. (1988). Das KTB, eine Herausforderung für die moderne Bohr- und Meßtechnik. Die Geowissenschaften t. 6: 8-15.
- STETTNER, G. (1986). Kap. 2.1.5 Granite. En: K. Weber & A. Vollbrecht (eds.), Ergebnisse der Vorerkundungsarbeiten Lokation Oberpfalz, 2. KTB-Kolloquium Seeheim/Odenwald: 61-64.
- UHLIG, S. (1986). Kap. 2.1.3 Geochemie. En: K. Weber & A. Vollbrecht (eds.), Ergebnisse der Vorerkundungsarbeiten Lokation Oberpfalz, 2. KTB-Kolloquium Seeheim/Odenwald: 38-45.
- WEBER, K. (ed., 1985). 2nd International Symposium on Observation of the Continental Crust through Drilling, 4th Alfred Wegner Conference, Excursion Guide Oberpfalz.
- WEBER, K. & VOLLBRECHT, A. (eds., 1986). Ergebnisse der Vorerkundungsarbeiten Lokation Oberpfalz. 2. KTB-Kolloquium Seeheim Odenwald, 186 pp.