



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

boletín

geológico

y minero

VOLUMEN 103

Marzo - Abril 1992

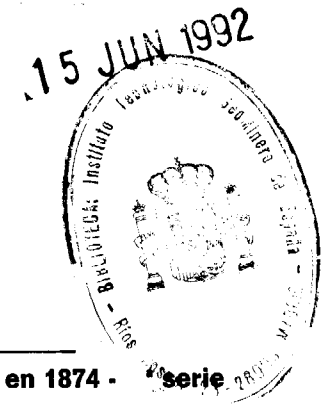
NUMERO 2



El Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE, que incluye, entre otras, las atribuciones esenciales de un «Geological Survey of Spain», es un Organismo autónomo de la Administración del Estado, adscrito al Ministerio de Industria y Energía, a través de la Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales (R. D. 1.270/1988, de 28 de octubre). Al mismo tiempo, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica le reconoce como Organismo Público de Investigación. El ITGE fue creado en 1849.

Volumen 103
Número 2
Marzo - Abril 1992

boletín geológico y minero



revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas fundada en 1874 - serie

Sumario

Geología	A. RIAZA GARCIA: Reflectancia en rocas en función de su litología y fábrica interna.—I. La interpretación de imágenes de satélite en geología: Estudios estructurales y cartografía de litologías	3
	G. LOPEZ: Paleontología y Bioestratigrafía de los inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana.—Parte I: Situación geológica de las series realizadas y estudio sistemático de los subgéneros <i>Inoceramus</i> Sowerby y <i>Cremnoceramus</i> Cox	18
	J. GARCIA-SANSEGUNDO: Estratigrafía y estructura de la zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte III)	61
Minería	P. HIGUERAS, J. BORRERO, R. URBANO y J. L. ORDOÑEZ: Geología y prospección geoquímica para oro, en la zona de Lora del Río (Sevilla)	99
Aguas subterráneas	E. SANZ PEREZ: Las aguas subterráneas en el Parque Natural del Cañón del río Lobos (Soria - Burgos)	117
Rocas industriales y ornamentales	A. VERGARA PARDEIRO y F. J. VALLE FUENTES: Análisis químico de sepiolitas por espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo	138
Estudio de minerales y rocas	E. GONZALEZ MINGUELA, J. A. MARTIN RUBI y F. J. VALLE FUENTES: Comportamiento térmico de una muestra de eflorescencia. Seguimiento de la formación del $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ por DRX	147
Información	F. URBANI: Las minas de cobre de Aroa a la luz de la relación de Manuel Gaytán de Torres, 1621	156
	Presentación del XV Congreso Mundial de Minería en el Club Español de la Minería	186
	M. A. DELGADO MENDEZ: Los materiales cerámicos. Del ayer al mañana. Noticias y Notas bibliográficas	196 206

DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid
Teléfono 441 70 67

ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Doctor Fleming, 7, 2.º - 28036-Madrid
Teléfono 250 02 03

**INSTITUTO TECNOLOGICO
GEOMINERO DE ESPAÑA**

**CENTRO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO**

El Instituto Tecnológico Geominero de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus publicaciones son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos

Los derechos de propiedad de los trabajos publicados en esta obra fueron cedidos por los autores al Instituto Tecnológico Geominero de España.
Queda hecho el depósito que marca la Ley.

EXPLICACION DE LA PORTADA

Anticlinal en calizas del Devoniano Inferior. Macizo de Vignemale. Pirineo Central.

(Foto: Luis M.^a Ríos.)

Depósito legal: M. 3.279 - 1958
ISSN 0366 - 0176
NIPO 241 - 92 - 004 - 1

Imprenta IDEAL, S. A. - Chile, 27 - Teléf. 259 57 55 - 28016-MADRID

Reflectancia en rocas en función de su litología y fábrica interna.

I. La interpretación de imágenes de satélite en geología: Estudios estructurales y cartografía de litologías

Por A. RIAZA GARCIA (*)

RESUMEN

Este primer capítulo consiste en una síntesis bibliográfica de las líneas de trabajo tradicionales en interpretación de imágenes de satélite en geología.

En primer lugar, metodología, factores limitadores y posibles correcciones de la cartografía de lineamientos, orientados fundamentalmente a estudios de geología regional, especialmente fracturación.

En segundo lugar, el estudio de cartografía de litologías con imágenes tomadas en el visible e infrarrojo cercano, basado en sus propiedades espectrales. Se complementa con un panorama de los trabajos más significativos en comportamiento espectral de minerales y mezclas de los mismos, cartografía de alteraciones hidrotermales y discriminación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Palabras clave: Teledetección, Geología, Lineamientos, Propiedades espectrales rocas.

ABSTRACT

The first chapter is a review based on texts of the two main research lines in satellite imagery interpretation applied to geology.

Lineament mapping, applied to structural geology form the main line, focusing on regional geology and fracturing studies. Methodology, limiting factors and their possible correction are treated.

The second part covers lithological mapping in the visible and near-infrared based on spectral features and their description. It is complemented by a summary of the most significant published work on spectral behaviour of minerals and mineral mixtures, hydrothermal alteration mapping, and igneous, sedimentary and metamorphic rocks discrimination.

Key words: Remote sensing, Geology, Lineaments, Rock spectral features.

INTRODUCCION

La aparición de imágenes tomadas desde satélite, ya por métodos ópticos como electrónicos, supuso un cambio en la interpretación de fotografías aéreas en geología.

La escala es la primera diferencia, que permite la generalización de observaciones fragmenta-

rias realizadas sobre mapas geológicos o fotografía aérea, y el seguimiento directo de rasgos mayores que pueden prolongarse en grandes distancias.

La segunda es la disponibilidad de datos cuantitativos de reflectancia en distintos intervalos de longitudes de onda correspondiente a la superficie terrestre en forma digital, que permite su tratamiento en ordenador, y la cartografía li-

(*) Instituto Tecnológico Geominero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

tológica de distintos materiales basados en sus propiedades espectrales.

En este capítulo hablaremos de las aplicaciones de imágenes a geología estructural, describiendo algunos estudios que se realizan sobre los polémicos lineamientos. El análisis de lineamientos incorporado en el trabajo realizado sobre el complejo esquisto-grauváquico en relación con datos estructurales de campo, y reflectancia espectral observada en imágenes se describe más adelante.

La interacción entre energía electromagnética y materia se refleja en una respuesta diversificada que responde a las propiedades espectrales de dicha materia. La energía electromagnética así reflejada o emitida se capta por distintos sensores embarcados en plataformas elevadas sobre la superficie a detectar, y las señales registradas por los mismos se reproducen generalmente en forma de imágenes. La diversidad en valores cuantitativos (números digitales) en las imágenes expresa la diferencia en las propiedades espectrales de la superficie correspondiente.

La cartografía de distintas unidades geológicas, o la mayor o menor abundancia de determinados minerales en un área, se realiza combinando métodos de reconocimiento de formas fotogeológicas, de modo estrictamente visual, y el tratamiento digital de imágenes, manipulando cuantitativamente los números digitales.

En esta síntesis se omitirá la descripción, tanto de las bases físicas de los procedimientos utilizados para el diseño de sensores, como de las técnicas de tratamiento digital utilizadas para la cartografía geológica, en los que existen síntesis bien conocidas en la literatura (SABINS, 1987; LILLESAND y KIEFER, 1987; SIEGAL y GILLESPIE, 1980; DRURY, 1987; AARON et al., 1983; SCHOWENGERDT, 1983), para centrarse en las propiedades espectrales de minerales y rocas en los intervalos del visible y del infrarrojo cercano del espectro de energía electromagnética de reflexión basados en datos radiométricos de campo y laboratorio.

La síntesis bibliográfica que se expone a continuación forma el cuerpo doctrinal introductorio de un trabajo de teledetección aplicado a la geología regional que se detallará en números posteriores, desarrollado en el Complejo de Bur-

guillos del Cerro (Badajoz), en la Zona de Ossa Morena, y en el Complejo Esquisto-grauváquico comprendido entre Valencia de Alcántara y Puebla de Obando (Cáceres - Badajoz), próximo al límite meridional de la Zona Centroibérica.

INTERPRETACION DE IMAGENES EN GEOLOGIA ESTRUCTURAL. LINEAMIENTOS

Lineamientos: Definición y significado

Las imágenes tomadas por satélites permitieron por primera vez observar bajo un punto de vista único vastas extensiones de la superficie terrestre. Así se descubrieron un número de rasgos lineares no cartografiados con anterioridad en áreas geológicamente conocidas.

Estos rasgos, denominados lineamientos, consisten en alineaciones de estructuras morfológicas regionales, tales como cursos de drenaje, escarpes y cadenas montañosas, además de diferencias tonales, que en muchos casos expresan fallas o zonas de fractura, bordes entre dominios geológicamente diferentes, o contactos litológicos.

La literatura adopta el término linear para designar una gran variedad de elementos con diferente significado. Teniendo en cuenta sólo aquellos referidos a órdenes de escalas superiores a la mesoscópica, que son los observables en imágenes de satélite, se han referido como lineamientos no sólo a rasgos morfológicos (HOBBS, 1904), sino líneas sismotectónicas, y alineaciones observadas en medidas aeromagnéticas, gravimétricas o isopacas.

Tomaremos el término lineamiento según la definición de O'LEARY (1976), como un rasgo de la superficie simple o compuesto, cuyas partes se alinean de modo rectilíneo o ligeramente curvo, y que se distingue claramente de las formas en las zonas adyacentes, representando presuntamente un fenómeno subterráneo. No debe atribuirse significado genético a los rasgos de cualquier tipo nombrados como lineamiento, tratándose de una denominación meramente descriptiva que sólo puede interpretarse en su contexto geológico.

Puesto que los datos en los que se cartografían lineamientos en este trabajo son imágenes to-

madadas desde satélites u otras plataformas a distintas alturas sobre la superficie simulando fotografías, los lineamientos representan cambios de tono, textura o formas presentados por la superficie terrestre.

Se han realizado muchos intentos de clasificación de lineamientos respecto a su origen, forma de expresión, o magnitud. Los rasgos visibles en imágenes de satélite suelen indicar la geometría general de pliegues y fallas, y los contactos de grandes unidades litológicas.

Los lineamientos de mayor longitud señalan los bordes de elementos estructurales regionales, e incluso atraviesan los límites entre zonas con distintos estilos estructurales. Pueden ser discontinuos y difusos, y cada uno de los trazos de su recorrido se manifiesta según valles, crestas o líneas que separan distintos tipos de suelo, o cambios tonales asociados a un contenido distinto de humedad, o a distintas asociaciones de especies vegetales. Muchos de estos lineamientos coinciden con el trazado de grandes fallas, coincidentes con alineaciones de anomalías magnéticas y gravimétricas.

La precisión en la observación de la magnitud de rasgos es función de la escala, el sensor, y el mismo observador. Sólo la comparación cuidadosa de imágenes a distintas escalas, y provenientes de distintos sensores, además de su inserción en su contexto geológico, garantiza una jerarquización razonable sobre la importancia y significado de los lineamientos observados en ellas.

Factores que influyen en la cartografía de lineamientos

La altura de vuelo de la plataforma, las características del sensor y las condiciones de la superficie registrada influyen en el aspecto que las imágenes ofrecen para la cartografía de lineamientos (GOETZ y ROWAN, 1981).

Uno de los factores más importantes es la relación angular entre la dirección del rasgo a cartografiar y la dirección de iluminación de la fuente de energía. De modo general, los rasgos paralelos a la fuente de energía aparecerán difusos en relación a los que se disponen perpendiculares a ellos. Los ángulos de iluminación moderadamente bajos contribuyen a realzar dife-

rencias topográficas leves. Por ello se suelen preferir imágenes registradas en invierno cuando se utilizan datos tomados por sensores pasivos, ya que el ángulo de incidencia de la radiación solar es menor.

Los sensores que describen una trayectoria sinmeridiana sincronizada con el sol, como los Landsat o Spot, presentan la limitación de disponer de una única dirección para la fuente de iluminación. Las cartografías realizadas sobre imágenes obtenidas por estos sensores mostrarán una distribución parcial provocada por la iluminación en dirección constante.

Los sistemas de radar de enfoque lateral (SLAR) evitan esta limitación al disponer de una fuente de energía que se emite en forma de pulsos hacia la superficie, y recoger una señal de respuesta. El azimut y el ángulo de iluminación registrados dependen de la dirección y el ángulo de iluminación del sistema.

Ya que el costo de los datos SLAR es elevado, los parámetros de vuelo tales como dirección, ángulo de depresión y longitud de onda de la radiación emitida, deben de ajustarse al estilo estructural, relieve topográfico y recubrimiento vegetal del área de estudio. Al tratarse de ondas de radar, las imágenes SLAR presentan la ventaja de penetrar la cubierta nubosa.

En regiones con recubrimiento vegetal denso, los estudios de lineamientos combinados con datos geofísicos han proporcionado las mejores pruebas sobre la existencia de fracturas mayores.

Precisiones sobre los métodos manuales de cartografía de lineamientos

El apartado anterior se refiere a las limitaciones impuestas en la cartografía de lineamientos por el sensor o las imágenes utilizadas, además de las condiciones fisiográficas de la zona de estudio. Sin embargo, el intérprete introduce variaciones nada desdeñables en el trazado de rasgos sobre imágenes.

Varios experimentos utilizando distintos intérpretes (SIEGAL y SHORT, 1977), sin conocimiento previo del área, ni información sobre las características fotogeológicas que debería reunir un lineamiento para ser calificadas como tal, y

utilizando distintas imágenes, revelaron grandes variaciones en cuanto al número, longitud, coincidencia y orientación de los lineamientos cartografiados.

La evaluación de los tres primeros conceptos es extraordinariamente baja en todos los casos, primando las variaciones en función del intérprete sobre las debidas a las distintas imágenes estudiadas. La evaluación estadística de orientaciones ofrece una mejor correlación entre observadores. También es de reseñar que en imágenes que presentaban una orientación estructural fuerte de los rasgos presentes en la misma, el índice de coincidencia de lineamientos cartografiados por distintos intérpretes aumenta considerablemente. El escaso número de lineamientos cartografiados por todos los observadores coincide, naturalmente, con aquellos que tienen una expresión más evidente en las imágenes.

Cuando los intérpretes poseen una definición clara del concepto de lineamiento, y una descripción de las condiciones fotogeológicas que pueden definirlo (PODWYSOCKI et al., 1975), los resultados obtenidos siguen siendo pobres en cuanto al número, longitud y coincidencia de lineamientos cartografiados por distintos intérpretes, pero sí aumenta considerablemente la similitud en la orientación de los lineamientos cartografiados.

Estos estudios ilustran sobre el enorme grado de subjetividad que la cartografía manual de lineamientos, y las precauciones con que han de compararse cartografías de lineamientos realizadas por observadores distintos. El índice de subjetividad puede reducirse utilizando una red Ronchi, que sirve a modo de filtro, y las evaluaciones a base de diagramas en rosa representativos de orientaciones, sin omitir la visión esteoscópica (GOLD, 1980).

Además de la evaluación estadística, el filtrado producido por un intérprete situado en el contexto geológico del área de estudio, y con un bagaje teórico suficiente sobre el significado de los rasgos a resaltar, puede ser la aportación más definitiva a una cartografía de lineamientos geológicamente útil (WISE, 1982).

Métodos digitales de cartografía de lineamientos

Las imágenes obtenidas con satélites contienen

a veces rasgos lineares que no reflejan características de la superficie de la tierra, sino que se deben a defectos de funcionamiento del sensor o variaciones en la plataforma a la que va incorporado. Esto obliga a una serie de tratamientos cosiméticos y geométricos previos a cualquier análisis con significado geológico (JENSEN, 1986). Estos tratamientos modifican el aspecto de la imagen, de modo que la selección del procedimiento adecuado en función de la rugosidad y especial morfología del área que cubre no es una labor que pueda uniformizarse para todas ellas (CHAVEZ y BAUER, 1982).

La subjetividad mencionada en el apartado anterior en la cartografía de lineamientos ha provocado distintos intentos de extracción automática de rasgos lineares en imágenes. Pueden citarse los filtros direccionales, las derivadas calculadas sobre imágenes, los algoritmos de realce de bordes, y algoritmos detectores de líneas. De modo empírico, se han seguido procedimientos secuenciales que combinan la aplicación de filtros suavizantes y direccionales en distintas etapas (MOORE y WALTZ, 1980) para producir imágenes en que aparezcan rasgos lineares en direcciones preferentes.

Ya que la longitud de los lineamientos es uno de los factores en discordia, también se han diseñado procedimientos para resaltar lineamientos de mayor continuidad (CHAVEZ, BERLIN y ACOSTA, 1976), o, por el contrario, de corta longitud. Para ello se utilizan no solamente imágenes en blanco y negro, sino en color.

La monoscopia de la mayor parte de las imágenes producidas por sensores pasivos, con la excepción de SPOT y SOYUZ, también puede superarse por procedimientos digitales. Utilizando dos imágenes monoscópicas TM contiguas con un solapamiento del 50 por 100 (SIMARD y SLANEY, 1986), se ha realizado un modelo digital de elevación del terreno (DEM) que ha sido registrado con un mapa geológico digitalizado. El conjunto puede someterse a vistas simuladas desde distintas posiciones geográficas y con distinto ángulo de inclinación, que permiten observaciones complementarias en función del relieve. Los ángulos de visión oblicuos han demostrado mayores posibilidades de expresión en rasgos con ligeros desniveles verticales, tan corrientes en los movimientos tectónicos recientes (CLUFF y SLEMMONS, 1972).

Análisis integrado de imágenes y datos topográficos, geofísicos y geoquímicos

La misma definición de lineamiento, y su geometría sugiere su aparición no sólo en imágenes, sino en datos numéricos obtenidos por otro tipo de sensores instalados en plataformas a cierta altura sobre el suelo.

Las imágenes de satélite son distribuciones bidimensionales de datos numéricos comprendidos entre 0 y 255. Cada elemento unitario (pixel) cubre una determinada porción de la superficie terrestre, de acuerdo con la resolución espacial del sensor. Este tipo de representación digital se denomina raster (DRURY, 1987; BURROUGH, 1986).

Es inmediato tratar de superponer otros datos, del mismo modo al que se hace con imágenes del mismo sensor correspondientes a distintas longitudes de onda. Para ello, estos otros datos han de estar representados digitalmente en forma raster, y con una resolución espacial similar a la de las imágenes.

El análisis interactivo de capas de información diferentes se realiza por medio de Sistemas de Información Geográficos, que permiten almacenar cualquier tipo de dato referido a un sistema de coordenadas geográficas, y su conversión a distintos formatos y modos.

Los datos no geológicos más inmediatos utilizados por geólogos son los topográficos. La disponibilidad de datos de elevación sobre el nivel del mar en una red de coordenadas geográficas ha conducido a la elaboración de modelos digitales de elevación del terreno. Su estudio por métodos digitales es complementario con el análisis de lineamientos, y permite cualificarles en función de su expresión morfológica.

El examen conjunto de datos aeromagnéticos y gravimétricos es antiguo en la interpretación de lineamientos. Estos datos se incorporan como una capa de información más en el Sistema de Información Geográfico (HASTINGS, 1983). La topografía digitalizada se utiliza para corregir las gravimetrías, así como las imágenes de radar de apertura sintética (SAR). Hay que mencionar las enormes posibilidades en los estudios de erosión por su capacidad para generar de manera relativamente rápida mapas de pendientes y mapas de orientación de pendientes.

La incorporación de resultados de análisis geoquímicos es tradicional en estudios de exploración minera. La coincidencia de concentraciones elevadas de distintos elementos con lineamientos cartografiados en imágenes u otros datos, es una de las técnicas más consolidadas. Además de los análisis de muestras de superficie, los vuelos radiométricos han proporcionado una fuente más de posibles correlaciones en alineaciones o distribuciones comparativamente más abundantes en determinados elementos, con rasgos observados en imágenes.

Todos estos datos tienen en común una gran similitud en el tratamiento necesario para convertirlos en información cartográficamente comprensible y geológicamente utilizable.

PROPIEDADES ESPECTRALES DE ROCAS Y CARTOGRAFIA LITOLOGICA EN EL VISIBLE E INFRARROJO CERCANO

El trabajo que se describe en capítulos posteriores consiste en el uso de imágenes en cartografía de rasgos geológicos. La resolución espacial de las imágenes utilizadas sólo permite el reconocimiento de formaciones a gran escala, por lo que se toma como objeto de descripción las propiedades espectrales de rocas, y se mencionan minerales sólo en tanto en cuanto contribuyen a definir rasgos característicos de las propiedades espectrales de las rocas en las que están contenidos.

Desarrollo de instrumentos

Los estudios de laboratorio enfocados hacia minerales y rocas en el visible e infrarrojo cercano no tomaron entidad hasta el comienzo de los años 60, en que HUNT comenzó trabajos sistemáticos utilizando espectroscopios. La radiometría de campo, complementaria a los estudios de laboratorio en la interpretación de datos tomados desde plataformas suspendidas sobre la superficie terrestre en condiciones muy diferentes a las reinantes en experimentos de laboratorio, se inició en los años 60 con el diseño y puesta a punto de varios instrumentos (CRONIN, 1967; FRIEDMAN et al., 1969), cuyo calibrado no se perfeccionó hasta los años 80 (LONGSHAW, 1976).

Los primeros radiómetros, que registraban energía electromagnética en bandas anchas (100 nm.) similares a las de los sensores embarcados en los satélites Landsat, han evolucionado hacia bandas estrechas del orden de 4 nm. desde el ultravioleta hasta el infrarrojo cercano (fig. 1).

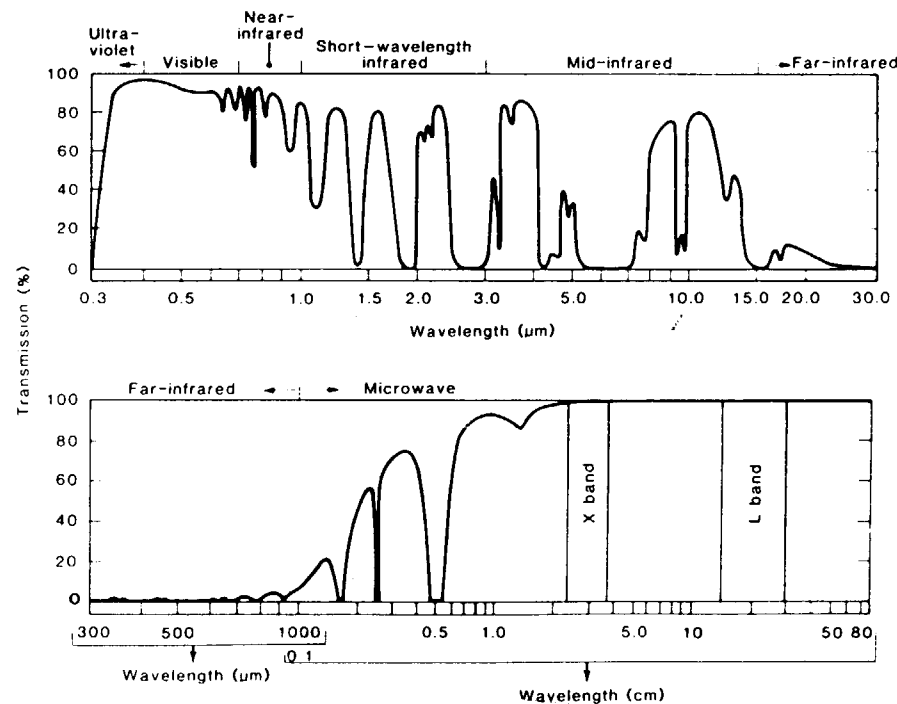
El estudio de las medidas efectuadas, tanto en el campo como en el laboratorio, sobre minerales y rocas de composición petrográfica, mineralógica y textural suficientemente conocidas, hizo avanzar notablemente la interpretación de imágenes tomadas desde plataformas elevadas sobre la superficie de la tierra (GOETZ, VANE, SOLOMON y ROCK, 1983).

Los estudios de radiometría de laboratorio y campo orientaron el diseño de instrumentos aeroportados de alta resolución espectral, como el SMIRR (Shuttle Multispectral Infrared Radiometer), con diez canales entre 0,5 y 2,5 $\mu\text{m.}$, o el

HRR (Hand-held Ratioing Radiometer), con filtros intercambiables en el mismo intervalo de longitudes de onda.

Factores composicionales fundamentales en las propiedades espectrales de minerales y rocas

La reflectancia espectral de minerales y rocas es resultado de distintas propiedades físicas y químicas características en distintos intervalos de longitudes de onda del espectro de energía electromagnética. La estructura cristalina define la existencia de niveles de energía en los iones que la forman. Estos niveles producen absorciones de energía electromagnética en longitudes de onda definidas (GOETZ, ROCK y ROWAN, 1983).



En longitudes de onda del visible inferiores a 1 $\mu\text{m.}$, las absorciones se deben a la presencia de elementos de transición. Los intercambios electrónicos entre cationes cercanos crean absorciones en longitudes inferiores a 0,4 $\mu\text{m.}$ por transferencias de carga.

El hierro, elemento de transición más abundante en la corteza, es responsable de la mayor parte de las absorciones registradas en el visible.

Figura 1.—Espectro de absorción generalizada de la atmósfera en el cenit y denominación de sus regiones espectrales (in GOETZ y ROWAN, 1981).

La banda de transferencia electrónica del catión férrico Fe^{3+} produce absorciones entre 0,3 y 0,6 $\mu\text{m.}$, mientras que son las transiciones electrónicas entre los cationes ferroso Fe^{2+} y férrico las responsables de las absorciones entre 0,8

y 1 $\mu\text{m.}$ Estas dos características, junto con el aumento de reflectancia hacia longitudes de onda más largas, se utiliza para detectar abundancia de materiales ferruginosos (ROWAN et al., 1976; ROWAN et al., 1977).

En el infrarrojo cercano (1-2,5 $\mu\text{m.}$), los sobretonos de las vibraciones producidas por los aniones OH^- producen una absorción en 2,74 $\mu\text{m.}$ Los minerales con aniones hidroxilo, tales como las arcillas o las micas, experimentan un descenso en la reflectancia global a partir de 2 $\mu\text{m.}$, que sirve para identificarlas en radiómetros de banda ancha (ABRAMS et al., 1977).

Los filosilicatos con aniones OH^- que ligan capas de grupos silicatados producen absorciones estrechas entre 2,1 y 2,4 $\mu\text{m.}$ por los sobretonos del enlace entre Al-OH y Mg-OH.

Otras absorciones entre 1,4 y 1,9 $\mu\text{m.}$ permiten distinguir entre minerales que contienen agua por hidratación (montmorillonita, yeso, cuarzo), de los que presentan iones OH^- ligados a su estructura cristalina (moscovita, caolinita) (HUNT y ASHLEY, 1979). Sin embargo, en estos intervalos de longitudes de onda se producen absorciones por el agua contenida en la atmósfera, por lo que su detección es imposible en imágenes obtenidas desde satélite sobre la superficie terrestre.

Los carbonatos presentan varias absorciones escalonadas entre 1,6 y 2,5 $\mu\text{m.}$, debidas a las combinaciones y sobretonos de las cuatro vibraciones internas del anión carbonato CO_3^{2-} .

Propiedades espectrales de rocas

Tanto rocas como minerales no poseen una composición química y mineralógica invariable, sino que definen conjuntos con tendencias composicionales y texturales comunes. El comportamiento espectral de los mismos es función, tanto de su composición, como de la opacidad de sus granos, la forma y tamaño de los mismos, o la geometría de la iluminación del instrumento utilizado.

La mayor parte de los primeros estudios de espectroscopía en materiales terrestres o lunares consisten en el estudio de muestras aisladas de su contexto geológico desde una perspectiva mineralógica o meramente espectroscópica. HUNT y SALISBURY (1970-1976) recopilaron medidas espectrales en minerales y rocas agrupados con

criterios mineralógicos y petrológicos, evaluando los efectos añadidos de factores no composicionales. Todas sus medidas se realizaron sobre distintas fracciones con tamaños de partículas homogéneas provenientes de la molienda de muestras utilizando un espectrómetro con dispositivos de reflectancia bidireccional.

Rocas ígneas

Los factores decisivos en la respuesta espectral de las rocas ígneas es su índice de acidez, el contenido en minerales opacos y el tamaño de grano, además de la longitud de onda de la luz incidente (ROSS, ADLER y HUNT, 1969). Señalan la región verde del espectro visible y el infrarrojo cercano como las longitudes de onda más representativas de la relación acidez/basicidad. De modo general, la reflectancia global aumenta a medida que disminuye el tamaño de grano, así como con el índice de acidez. Las rocas cristalinas intrusivas con tamaño de grano mayor presentan rasgos de absorción más claros que sus correspondientes extrusivas con tamaño de grano más fino.

Rocas ácidas

Ni los tetraedros de silicio y oxígeno, ni los formados por aluminio y oxígeno, que constituyen los componentes minerales mayoritarios en las rocas ígneas ácidas, presentan transiciones electrónicas ni vibraciones que puedan proporcionar absorciones de reflectancia (HUNT, SALISBURY y LENHOF, 1973b). Los rasgos espectrales distintivos provienen de otros componentes, que se manifiestan en absorciones propias del hierro, y de los iones hidróxilo o moléculas de agua.

El hierro está presente en grandes proporciones en rocas básicas y ultrabásicas, pero cantidades menores presentes en las rocas ácidas son suficientes para proporcionar fuertes rasgos de absorción en 1,0 $\mu\text{m.}$

Los rasgos debidos a la presencia de iones OH^- (1,4, 1,9 y 2,5 $\mu\text{m.}$) se expresan mejor en las rocas ácidas, y su intensidad indica el grado de acidez. Estos rasgos se ven acentuados por la

presencia de agua en inclusiones fluidas microscópicas en los granos de cuarzo y de ortoclasa.

El agua presente en las inclusiones fluidas acelera la alteración de feldespatos a sericita, que se manifiesta en la aparición o intensificación de absorciones asociadas a los iones OH^- ($2,2 \mu\text{m}$). Como consecuencia, las rocas alteradas presentan curvas espectrales muy diferentes a las rocas frescas.

Los granitos (fig. 2) pueden considerarse representativos de las rocas ácidas en su comportamiento espectral. Presentan una reflectancia elevada que aumenta al disminuir el tamaño de grano de las partículas, a la vez que se difuminan los rasgos de absorción.

La presencia de ciertas cantidades de minerales opacos en los granitos más oscuros produce una disminución de la reflectancia global, y un debilitamiento de los rasgos de absorción característicos. La reflectancia global sigue aumentando a medida que disminuye el tamaño de grano.

Rocas intermedias

Al igual que en las rocas ácidas, son los minerales accesorios los responsables de las absorciones más prominentes en las rocas intermedias (HUNT, SALISBURY y LENHOF, 1973c). Los más pronunciados se deben a la presencia de cationes ferroso y férrico, aunque suelen predominar los rasgos atribuidos a la presencia de iones OH^- en los minerales formados por alteración. La presencia de magnetita reduce la reflectancia global y debilita los rasgos de absorción característicos.

Se diferencian dos tendencias fundamentales en las curvas espectrales de las rocas ígneas intermedias (fig. 2). Un primer grupo muestran curvas planas e inexpressivas. Otras ofrecen un aumento de reflectancia desde longitudes de onda cortas a largas, con absorciones en $0,7$ y $1,0 \mu\text{m}$. por la presencia de hierro, y en $1,4$, $1,9$ y varias entre $2,2$ y $2,5 \mu\text{m}$. por el contenido en agua y minerales con grupos OH^- en su estructura cristalina.

Las rocas intermedias se agrupan en un rango

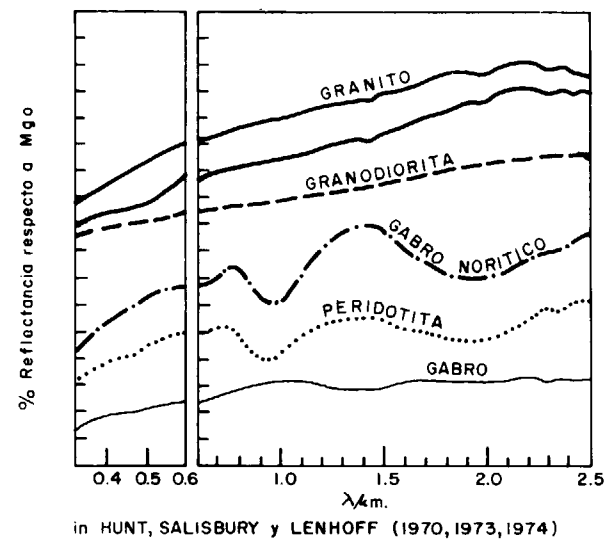


Figura 2.—Curvas espectrales de rocas ígneas en el visible e infrarrojo cercano (in HUNT, SALISBURY y LENHOF, 1973b, 1973c y 1974).

de reflectancia global más estrecho que las rocas ácidas, por la presencia de magnetita y otros minerales férmicos, como biotita y hornblenda. Sus componentes minerales fundamentales, feldespato potásico y plagioclasa, no proporcionan rasgos espectrales distintivos. La microclina, que contiene catión férrico por exholución, da lugar a absorciones típicas del hierro, así como la alteración de plagioclasa. Biotita y hornblenda también contribuyen a las absorciones por hierro en $0,6$ y $1,0 \mu\text{m}$. Las absorciones en $1,4$ y $1,9 \mu\text{m}$. se deben a minerales accesorios con iones OH^- .

Rocas básicas y ultrabásicas

Las rocas básicas presentan los rangos de reflectancia global más bajos de las rocas ígneas, por su mayor contenido en minerales opacos y férmicos (HUNT, SALISBURY y LENHOF, 1974). Por el contrario, la mayor cristalinidad de las rocas ultrabásicas, y su menor contenido en opacos, hace que presenten una reflectancia superior a las rocas básicas, así como rasgos de absorción mejor definidos.

Las curvas relativamente planas de las rocas básicas ofrecen débiles y amplias absorciones por

la presencia de hierro en olivino e hiperstena (fig. 2). En casos, aparecen absorciones en $1,4$ y $1,9 \mu\text{m}$. por la aparición de minerales producidos por procesos de meteorización en las plagioclasas, o por la existencia de agua en sus inclusiones fluidas. De modo general, y con la excepción de los gabros noríticos, muestran reflectancias muy bajas.

Las rocas ultrabásicas ofrecen una reflectancia global intermedia entre las rocas ígneas ácidas e intermedias, excepto si tienen contenidos elevados de magnetita. Los anfíboles dominan las marcadas absorciones en $0,45$ y $1,0 \mu\text{m}$., que se deben al catión ferroso Fe^{2+} y en $1,4$ y $2,35 \mu\text{m}$. por los iones OH^- de su estructura cristalina.

Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias han recibido mucha menos atención que las rocas ígneas, puesto que los estudios espectrales orientados a la identificación de materiales comenzaron con el programa Apolo sobre sustancias lunares, más similares a las rocas ígneas. Poseen rasgos espectrales bien definidos, sólo oscurecidos por la presencia de materia carbonosa opaca.

Los grupos de sus componentes minerales que dan absorciones características son el anión carbonato, sea como componente principal en calizas o como cemento en rocas detríticas silíceas, las arcillas formadas por procesos de meteorización, con sus grupos OH^- y moléculas de agua incorporadas, y las pátinas de oxidación, que proveen las absorciones características del hierro (HUNT y SALISBURY, 1976a).

Los aniones carbonato CO_3^{2-} producen mínimos de reflectancia característicos en $2,35$, $2,5$ y $2,6 \mu\text{m}$., por sobretonos y combinaciones de sobretonos de los enlaces simétricos y asimétricos entre el átomo de carbono y los átomos de oxígeno. También aparecen absorciones más débiles en $1,9$, $2,2$ y $2,0 \mu\text{m}$.

Las arcillas proveen absorciones por sus grupos OH^- en $1,4$, $2,2$ y $2,3 \mu\text{m}$. Las moléculas de agua por hidratación se reflejan en absorciones en $1,4$ y $1,9 \mu\text{m}$.

Los procesos de oxidación por meteorización producen óxidos e hidróxidos de hierro señala-

dos por absorciones en $1,0 \mu\text{m}$. por el catión ferroso Fe^{2+} , y la característica caída de reflectancia hacia el azul y absorciones en $0,5$ y $0,86 \mu\text{m}$. del catión férrico Fe^{3+} .

Calizas

Las calizas presentan mínimos en $2,3$ y $2,35 \mu\text{m}$. (fig. 3) por efecto del anión carbonato, acompañados de una absorción más débil en $2,0 \mu\text{m}$. Con una expresión más débil, se reconocen rasgos de la presencia de grupos OH^- y moléculas de agua.

El rasgo más interesante se debe a los efectos de la sustitución de hierro Fe^{2+} por magnesio Mg^{2+} en dolomías, que se traduce en una absorción en $1,04 \mu\text{m}$., y que servirá para distinguir calizas de dolomías.

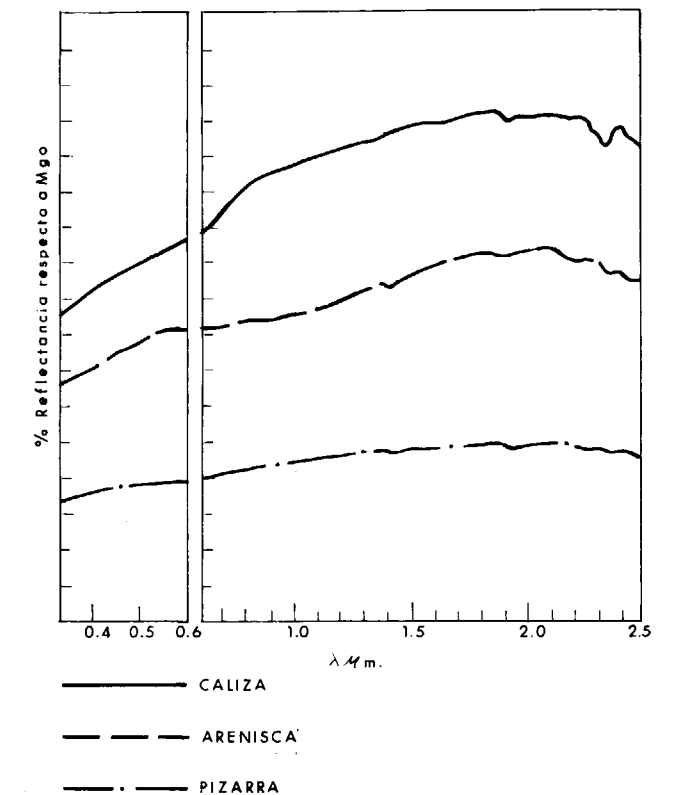


Figura 3.—Curvas espectrales de rocas sedimentarias en el visible e infrarrojo cercano (in HUNT y SALISBURY, 1976 a).

Areniscas

Los granos detríticos de cuarzo, y el cemento silíceo que los consolida, componentes fundamentales de las areniscas, no producen rasgos de absorción de reflectancia (fig. 3). Sin embargo, las areniscas incluyen con frecuencia arcillas, con absorciones en 1,4, 1,9 y 2,2 μm ., cementos calcáreos que recogerán los mínimos antes descritos en las calizas correspondientes al anión carbonato, y pátinas de oxidación, reflejadas en la caída de reflectancia hacia el azul, y mínimos en 0,5, 0,8 y 1,0 μm .

Pizarras

La abundancia de materia arcillosa en estas rocas detríticas de grano fino, y la presencia de carbonatos en caso de que las partículas detríticas estén cementadas por precipitados calcáreos, proporciona absorciones de reflectancia descritas anteriormente. Sin embargo, el ambiente reductor de las cuencas en las que se forman estas rocas, rico en materia orgánica, produce con frecuencia material carbonoso opaco que enmascara estos rasgos de absorción distintivos.

De modo peculiar, en el caso de que haya grupos OH^- , siempre despliegan simultáneamente las absorciones en 2,2 μm ., asociadas a huecos dioctaédricos, y en 2,3 μm ., asociadas a huecos trioctaédricos (fig. 3). El reconocimiento de la presencia de estos rasgos se ve dificultado si coexisten con carbonatos.

También suelen presentar los mínimos típicos de las transiciones electrónicas de los cationes férrico a ferroso.

Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas, al igual que las sedimentarias, muestran absorciones distintivas, sólo oscurecidas por la presencia de sustancias opacas, como grafito, magnetita o materia carbonosa.

Los aniones carbonato en el caso de los mármoles, los grupos OH^- presentes en las arcillas producidas por meteorización, las moléculas de agua en inclusiones fluidas, y ocasionalmente los aniones borato, son los elementos que proporcionan absorciones de reflectancia en estas rocas

(HUNT, SALISBURY y LENHOF, 1976b). Todos ellos producen mínimos en longitudes de onda superiores a 1,3 μm ., muchos de ellos fuera del infrarrojo cercano que enmarca el resumen que se presenta.

Los boratos presentan fuertes mínimos repartidos irregularmente de forma peculiar entre 0,3 y 1,4 μm . Las transiciones entre manganeso, hierro y titanio producen mínimos entre 0,46 y 0,5 μm .

Aparece de forma más o menos frecuente un mínimo en 0,625 μm ., que ha sido interpretado de forma muy variada en función del mineral en el que se observaba.

Mármoles

Los mármoles presentan las absorciones típicas del anión carbonato, y con frecuencia las del hierro (fig. 4). En los mármoles dolomíticos se produce el mínimo en 1,04 μ . por sustitución del hierro por magnesio.

Cuarcitas

Las cuarcitas deben la mayor parte de sus mínimos a las impurezas de óxidos de hierro, calcita y arcillas, así como al agua en inclusiones fluidas en los granos de cuarzo (fig. 4).

Las arcillas recristalizan con frecuencia en clorita, ofreciendo mínimos en 0,45 y 0,625 μm . a causa del Cr^{3+} que ocupa huecos de Al^{3+} (WOOD y NASSAU, 1968).

Neises

Estas rocas de grano grueso, con una textura en bandas en las que abundan selectivamente cuarzo y feldespato, o minerales micáceos, dispuestas en capas, proporciona respuestas espectrales diversas debido a su heterogeneidad composicional (fig. 4).

La clorita proporciona débiles rasgos asociados a los cationes ferroso y férrico en 0,7, 0,85 y 1,1 μm ., otros más acusados en 1,4, 1,9 y 2,2 μm . por los grupos OH^- , así como los mínimos en 0,45 y 0,625 μm . por sustitución de cromo Cr^{3+} en huecos de aluminio Al^{3+} reseñados en cuarcitas.

En caso de que la cristalización no haya sido

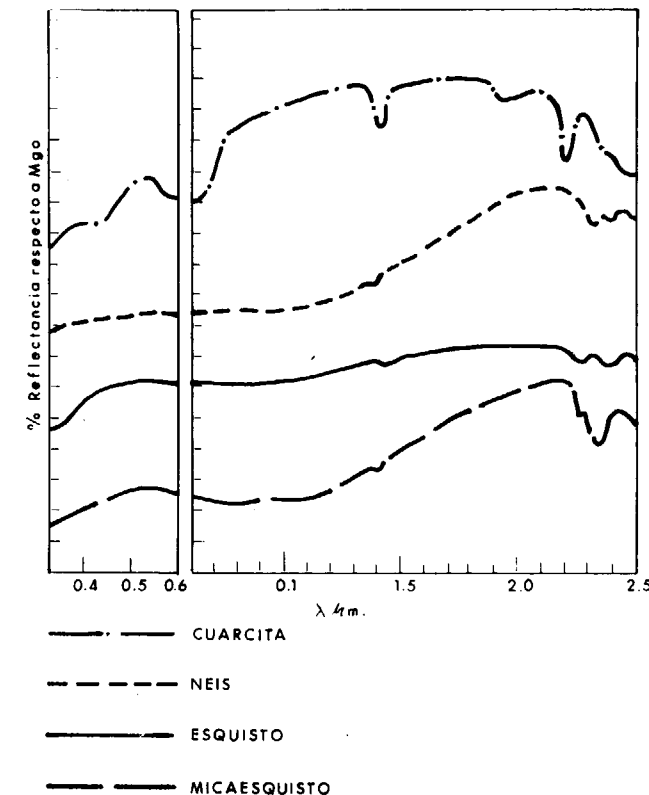


Figura 4.—Curvas espectrales de rocas metamórficas en el visible e infrarrojo cercano (in HUNT y SALISBURY, 1976 b).

suficientemente intensa como para eliminar las inclusiones fluidas, aparecen las absorciones debidas a la presencia de agua molecular.

Minerales accesorios como la sillimanita contribuyen al mínimo en 2,2 μm ., o el anfíbol, que refuerza el mismo rasgo y los asociados al hierro.

Filitas, esquistos y micaesquistos

Las rocas procedentes del metamorfismo de pizarras presentan una textura típica en planos con crecimiento de minerales micáceos orientados cristalográficamente paralelos a los mismos, y desarrollando una segregación composicional en dominios ricos alternativamente en cuarzo o minerales micáceos.

La presencia de micas se traduce en fuertes absorciones asociadas a los grupos OH^- , en los que el 1,4 μm . está acentuado respecto al 1,9 μm .

(fig. 4). Las absorciones son tanto más acusadas cuanto mayor la intensidad de transformaciones metamórficas ha sufrido la roca.

Minerales accesorios como turmalina o granate aportan absorciones atribuidas a los boratos, o al hierro.

Estudios espectrales y de tratamiento de imágenes orientados a la cartografía litológica

Como se ha reseñado anteriormente, los estudios de espectrometría de laboratorio hicieron avanzar las posibilidades de interpretación de imágenes tomadas desde plataformas elevadas a distintas alturas sobre la superficie de la tierra. HUNT comenzó sus estudios en los años 60, inicialmente orientados a rocas ígneas básicas y ultrabásicas, puesto que eran los materiales terrestres con mayores similitudes en composición y estructura a las muestras de la luna recogidas durante el programa Apollo. Su colección de medidas espectrales es el compendio más representativo disponible hasta la fecha (HUNT y SALISBURY, 1970, 1971, 1976a, 1976b; HUNT, SALISBURY y LENHOF, 1971a, 1971b, 1972, 1973a, 1973b, 1973c, 1974).

ADAMS y FILICE (1967) iniciaron el estudio sistemático de rocas silicatadas molidas. ROSS, ADLER y HUNT (1969) realizaron una síntesis de propiedades espectrales en rocas básicas y ultrabásicas que sirvió de base a los trabajos de HUNT y colaboradores. Varios trabajos enfocados a la interpretación de mezclas de componentes minerales en muestras molidas en diferente cuantía (NASH y CONEL, 1974; SINGER, 1981; JOHNSON, 1983) contribuyeron a esclarecer el modo en que las asociaciones minerales de que se componen las rocas influyen en la respuesta espectral del conjunto.

El contenido en cromo de rocas ultramáficas, o su grado de serpentización, ha recibido atención especial en estudios espectrales (HUNT y WYNN, 1979; HUNT y EVARTS, 1981).

En el resumen que precede se menciona repetidamente la importancia de la alteración de las rocas en sus respuestas espectrales. Ello ha motivado monografías sobre minerales arcillosos (LINDBERG y SNYDER, 1972). En la misma línea se ha tratado de evaluar la influencia de impure-

zas en forma de materia carbonosa en rocas sedimentarias (CLARK, 1983; CROWLEY, 1986). Destaca el intento de utilizar la espectrometría como instrumento petrológico en varios trabajos realizados en carbonatos con un enfoque textural (GAFFEY, 1985; CROWLEY, 1986). Como complemento a las numerosas cartografías de alteraciones limoníticas realizadas con imágenes, se realizaron también estudios de laboratorio en gossans y pseudo-gossans (RAINES y GABELL, 1982).

El potencial que las propiedades espectrales de las rocas revestían para su cartografía desde el espacio fue puesta de manifiesto (HUNT, 1979; HUNT y ASHLEY, 1979) y pronto dio lugar a su aplicación en la delimitación de rocas o abundancias relativas de determinadas asociaciones minerales utilizando imágenes digitales y procedimientos de tratamiento de dicha información en forma digital.

Los primeros sensores instalados en plataformas sobre la superficie de la tierra sólo registraban información multiespectral en el visible, y regiones muy cercanas al mismo del infrarrojo próximo. Por ello, la mayor parte de los primeros intentos de cartografía de rocas con imágenes se concentran en la delimitación de áreas de alteración limoníticas (ROWAN et al., 1976, 1977; ABRAMS et al., 1977; SEGAL, 1982, 1983).

Como influencia de los múltiples estudios basados en rocas ultrabásicas, y su mayor contenido en hierro, también se aplicaron los mismos sensores a su cartografía, incluso en áreas muy pobladas por vegetación (RAINES y WYNN, 1982). Las ofiolitas, y su grado de serpentinización han sido cartografiadas por ROTHERY (1982).

La ampliación de canales en los sensores aconsejada por los mínimos de absorción proporcionados por los minerales arcillosos y micáceos en el infrarrojo cercano (1.0-2.5 μm .), enfocó los estudios de cartografía con imágenes a las alteraciones hidrotermales (PROST, 1980; ROWAN y KAHLE, 1982; PODWYSOCKI et al., 1983; RIAZA, 1987).

Asimismo, los rasgos espectrales en el infrarrojo cercano han dado lugar a varios estudios cartográficos en rocas metamórficas (ROWAN et al., 1987; CROWLEY et al., 1989).

Las rocas básicas y sus distintos grados de alte-

ración también han sido cartografiadas con imágenes multiespectrales en el visible e infrarrojo cercano (ABRAMS, 1986; DAVIS et al., 1987).

Es bien conocida la enorme influencia de la vegetación en la respuesta espectral de la superficie de la tierra, que ha dado lugar a la toma de medidas espectrales de laboratorio en plantas nativas para la interpretación de imágenes (MILTON, 1983). Incluso en regiones en que el recubrimiento vegetal no es espeso, interfiere en la respuesta espectral de rocas y suelos, parcialmente recubiertas por ella (ELVIDGE y LYON, 1985).

La vegetación experimenta cambios en su comportamiento espectral, en función de los nutrientes contenidos en el suelo. Por ello, se han dirigido numerosos estudios a la evaluación de dichas propiedades en relación con las condiciones geoquímicas de su sustrato (MOUAT, 1982). Basados en este supuesto, se han realizado cartografías de áreas en que la vegetación estaba intoxicada por metales y presentaba alteraciones en su estado fenológico y, como consecuencia, en su comportamiento espectral detectable por medio de imágenes (BØLVIKEN et al., 1977; BIRNIE y FRANCICA, 1981; DARCH y BARBER, 1983; LABOVITZ et al., 1983).

CONCLUSIONES

La visión de grandes áreas de la corteza terrestre bajo un punto único de iluminación ha permitido la generalización de cartografías regionales, y el seguimiento de grandes rasgos cuya continuidad se deducía indirectamente con anterioridad. Aportan en ocasiones rasgos nuevos no detectables por medios convencionales.

Los rasgos lineales observados en imágenes corresponden a características morfológicas de la superficie terrestre, además de cambios de humedad o recubrimiento vegetal que pueden significar límites entre unidades litológicas o regiones con distinto estilo estructural, o fracturas con mayor o menor extensión en profundidad.

La cartografía manual de lineamientos adolece de subjetividad en función del intérprete en cuanto a número, longitud y posición geográfica de los mismos. Las orientaciones ofrecen mayor fia-

bilidad, por lo que se aconseja el uso de diagramas en roca para su evaluación.

Distintos procedimientos digitales permiten la cartografía automática de rasgos lineales, tanto en cuanto a su dirección como a su longitud y frecuencia, así como la simulación de estereoscopia y variación en el ángulo de iluminación en imágenes monoscópicas.

Los Sistemas de Información Geográficos permiten el análisis combinado de imágenes de satélite, elevaciones, datos geofísicos y geoquímicos, que enriquecen la interpretación del significado geológico de la variabilidad en reflectancia espectral, morfología, composición química y otras propiedades físicas de los materiales que aparecen en la superficie terrestre.

Las propiedades espectrales de minerales y rocas están dominadas en el intervalo de longitudes de onda del visible por su contenido en hierro, sea como componente fundamental, o como producto de alteración por procesos hidrotermales o de meteorización.

El agua ligada química o físicamente en la estructura de los minerales proporciona los rasgos de absorción característicos en el infrarrojo cercano. Así, las rocas ígneas ácidas y las rocas sedimentarias con mayor porcentaje de cuarzo presentan mínimos acusados por el agua presente en las inclusiones fluidas microscópicas de los granos de cuarzo o los feldespatos. Las arcillas producidas por alteración de los feldespatos, o las micas formadas por procesos metamórficos influyen decisivamente en la forma de las curvas espectrales de las rocas que las contienen.

Los minerales opacos en las rocas ígneas y la materia carbonosa en las sedimentarias y metamórficas deprimen la reflectancia global y enmascaran las absorciones típicas de otros minerales contenidos en ellas.

La cartografía de alteraciones limoníticas e hidrotermales agrupa la mayor parte de los trabajos realizados con imágenes, además de la delimitación de anomalías geobotánicas producidas por las condiciones geoquímicas del suelo.

REFERENCIAS

AARON, J. M., et al. (1980): *Geological Applications*. In: WILLIAMS, R. S. (ed.), Cap. 31, *Manual of Remote Sensing*, The Sheridan Press, 2440 pp.

ABRAMS, M. J.; ASHLEY, R. P. ROWAN, L. C.; GOETZ, A. F. H., y KAHLE, A. B. (1977): *Mapping of hydrothermal alteration in the Cuprite mining district, Nevada, using aircraft scanner images for the spectral region 0.46 to 2.36 μm* . *Geology*, 5, 713-718.

ABRAMS, M. J. (1986): *Mapping the Oman ophiolite using TM data*. Proc. 5th Th. Cf., Rem. Sens. for Expl. Geol., Reno, Nevada, 26 Set-2 Oct., 1986, vol I, 85-95.

ADAMS, J. B., y FILICE, A. L. (1967): *Spectral reflectance 0.4 to 2.0 microns of Silicate Rock Powders*. *Jr. of Geophysical Res.*, 72, núm. 22, Nov. 15, 5705-5715.

BIRNIE, R. W., y FRANCICA, J. R. (1981): *Remote Detection of Geobotanical Anomalies Related to Porphyry Copper Mineralization*. *Ec. Geol.*, 76, 637-647.

BØLVIKEN, B.; HONEY, F.; LEVINE, S. R.; LYON, R. J. P., y PRELAT, A. (1977): *Detection of naturally heavy-metal poisoned areas by Landsat-1 digital data*. *J. Geochem. Expl.*, 8, 457-71.

BURROUGH, P. A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, 194 pp.

CHAVEZ, P., Jr., y BAUER, B. (1982): *An automatic optimum kernel-size selection technique for edge enhancement*. *Remote Sensing of Environment*, 12, 23-38.

CHAVEZ, P. S.; BERLIN, G. L., y ACOSTA, A. V. (1976): *Computer Processing for Landsat MSS Digital Data for Linear Enhancements*. 2nd Annual Pecora Symposium, ASP & USGS, Oct. 25-29, 1976, 235-250.

CLARK, R. N. (1983): *Spectral Properties of Mixtures of Montmorillonite and Dark Carbon Grains: Implications for Remote Sensing Minerals Containing Chemically and Physically Absorbed Water*. *Jr. of Geophys. Res.*, 88, núm. B12, Dec. 10, 1983, 10635-10644.

CLUFF, L. S., y SLEMMONS, D. B. (1972): *Wasatch Fault Zone-Features defined by low sun-angle photography*. *Utah Geol. Assoc. Publ.* 1, G1-G9.

CRONIN, J. F. (1967): *Terrestrial multispectral photography and oceanography, Terrestrial Sciences Laboratories (Project 7628)*. Air Force Cambridge Research Laboratories, Bedford, Massachusetts, Special Reports, núm. 56 (AFCRL-67-0076). January, 46 pp.

CRONIN, J. F.; WILLIAMS, R. S., y ADAMS, J. B. (1971): *Geologic sensor studies in the West Indies (abs.)*. In: *Transactions of the Fifth Caribbean Geological Conference, 1968*. *Geological Bulletin*, núm. 5, Queens College Press, New York, p. 251.

CROWLEY, J. K. (1986): *Visible and Near-Infrared Spectra of Carbonate Rocks: Reflectance Variations Related to Petrographic Texture and Impurities*. *Jr. of Geophysical Res.*, 91, núm. B5, Apr. 10, 5001-5012.

- CROWLEY, J. K.; BRICKEY, D. W., y ROWAN, L. C. (1989): *Airborne Imaging Spectrometer Data of the Ruby Mountains, Montana: Mineral Discrimination Using Relative Absorption Band-Depth Images*. Rem. Sens. of Environ., 29, 121-134.
- DARCH, J. P., y BARBER, J. (1983): *Multitemporal Remote Sensing of a Geobotanical Anomaly*. Econ. Geol., 78, 770-782.
- DAVIS, Ph. A.; BERLIN, G. L., y CHAVEZ, P. S., Jr. (1987): *Discrimination of Altered Basaltic Rocks in the Southwestern United States by Analysis of Landsat Thematic Mapper Data*. Photogramm. Eng. and Remote Sensing, 53, núm. 1, Jan. 1987, 45-55.
- DRURY, S. A. (1987): *Image Interpretation in Geology*. Allen & Unwin, 243 pp.
- ELVIDGE, Ch. D., y LYON, J. P. (1985): *Influence of Rock-Soil Spectral Variation on the Assessment of Green Biomass*. Rem. Sens. of Environ., 17, 265-279.
- FRIEDMAN, J. D.; WILLIAMS, R. S. Jr.; GUDMUNDUR PALMASON, y MILLER, C. D. (1969): *Infrared surveys in Iceland in 1966*. In: *Geological Survey Research 1969*. US Geol. Surv. Prof. Paper 650-C, C89-C105.
- GAFFEY, S. J. (1985): *Reflectance spectroscopy in the visible and near-infrared (0.35-2.55 μm): Applications in carbonate petrology*. Geology, 13, Apr. 1985, 270-273.
- GOETZ, A. F. H., y ROWAN, L. C. (1981): *Geologic Remote Sensing*. Science, 211, 781-791.
- GOETZ, A. F. H.; VANE, G.; SOLOMON, J. E., y ROCK, N. (1985): *Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing*. Science, 7 June 1985, 288, núm. 4704, 1147-1153.
- GOETZ, A. F. H.; ROCK, B. N., y ROWAN, L. C. (1983): *Remote Sensing for Exploration: an overview*. Economic Geology, 78, núm. 4, 573-590.
- GOLD, D. P. (1980): *Structural Geology*. In: SIEGAL, S. B., y GILLESPIE, A. R.: *Remote Sensing in Geology*. John Wiley & Sons, 702 pp.
- HASTINGS, A. (1983): *Synthesis of Geophysical Data with Space-Acquired Imagery: a review*. Adv. Space Research, 3, 157-168.
- HOBBS, W. H. (1904): *Lineaments of the Atlantic Border Region*. Geol. Soc. of Amer. Bull., 15, 483-506.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. (1970): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: I. Silicate Minerals*. Modern Geology, 1, 283-300.
- HUNT, G. R., y SALISBURY, J. W. (1971a): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: II. Carbonates*. Modern Geology, 2, 23-30.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W., y LENHOF, J. (1971b): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: III. Oxides and Hydroxides*. Modern Geology, 2, 191-205.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W., y LENHOF, J. (1971c): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: IV. Sulphides and Sulphates*. Modern Geology, 3, 1-14.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W., y LENHOF, J. (1972): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: V. Halides, Phosphates, Arsenates Vanadates and Borates*. Modern Geology, 3, 121-132.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W., y LENHOF, J. (1973a): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: VI. Additional Silicates*. Modern Geology, 4, 85-106.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W., y LENHOF, J. (1973b): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: VII. Acidic Igneous Rocks*. Modern Geology, 4, 217-224.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W., y LENHOF, J. (1973c): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: VIII. Intermediate Igneous Rocks*. Modern Geology, 4, 237-244.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W., y LENHOF, J. (1974): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: IX. Basic and Ultrabasic Igneous Rocks*. Modern Geology, 5, 15-22.
- HUNT, G. R., y SALISBURY, J. W. (1976a): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: XI. Sedimentary Rocks*. Modern Geology, 5, 211-217.
- HUNT, G. R., y SALISBURY, J. W. (1976b): *Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: XII. Metamorphic Rocks*. Modern Geology, 5, 219-228.
- HUNT, G. R. (1979): *Near-infrared (1.3-2.4 μm) spectra of alteration minerals. Potential for use in remote sensing*. Geophysics, 44, núm. 12, Dec. 1979, 1974-1986.
- HUNT, G. R., y ASHLEY, R. P. (1979): *Spectra of altered rocks in the visible and near-infrared*. Economic Geol., 74, 1613-1629.
- HUNT, G. R., y WYNN, J. C. (1979): *Visible and near-infrared spectra of rocks from chromium-rich areas*. Geophysics, 44, núm. 4, Apr. 1979, 820-825.
- HUNT, R., y EVARTS, R. C. (1981): *The use of near-infrared spectroscopy to determine the degree of serpentinization of ultramafic rocks*. Geophysics, 46, núm. 3, March 1981, 316-321.
- JOHNSON, P. E. (1983): *A semiempirical method for analysis of the reflectance spectra of binary mineral mixtures*. Jr. of Geophysical Research, 88, núm. B4, 3557-3561.
- JENSEN, J. R. (1986): *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective*. Prentice Hall, 379 pp.
- KAUFMANN, H. (1987): *Mineral Exploration along the Aqaba-Levante Structure- Concepts, Processing, Results*. Proc. European Remote Sensing Needs in the 1990s, Noordwijkerhout (Nederlanden), 4-8 May 1987.
- LABOVITZ, M. L.; MASUOKA, E. J.; BELL, R.; SIEGRIST, A. W., y NELSON, R. F. (1983): *The Application of Remote Sensing to Geobotanical Exploration for Metal Sulfides. Results from the 1980 Field Season at Mineral, Virginia*. Econ. Geol., 78, 750-760.

- LINDBERG, D., y SNYDER, D. G. (1972): *Diffuse reflectance spectra of several clay minerals*. American Mineralogist, 57, 485-493.
- LONGSHAW, T. G. (1976): *Application of an analytical approach to field spectroscopy in geological remote sensing*. Modern Geology, 5, 201-210.
- MILTON, N. M. (1983): *Use of Reflectance Spectra of Native Plant Species for Interpreting Airborne Multispectral Scanner Data in the East Tintic Mountains, Utah*. Econ. Geol., 78, 761-769.
- MOORE, G. K., y WALTZ, F. A. (1983): *Objective Procedures for Lineament Enhancement and Extraction*. Photogramm. Eng. and Rem. Sens., 49, núm. 5, May 1983, 641-647.
- MOUAT, D. A. (1982): *The response of vegetation to geochemical conditions*. Proc. of Int. Symp. on Rem. Sens. of Environment, 2nd Them. Conf., Remote Sensing for Exploration Geology, 6-10 Dec. 1982, Fort Worth, Texas, vol. 1, 75-84.
- NASH, D. B., y CONEL, J. E. (1974): *Spectral Reflectance Systematics for Mixtures of Powdered Hyperstene, Labradorite and Ilmenite*. Jr. of Geophys. Res., 79, 1974, Apr. 10, 1615-1621.
- O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D., y POHN, H. A. (1976): *Lineaments, linear, lineation: some proposed new standards for old terms*. Geol. Soc. of Am. Bull., 87, 1463-1469.
- PODWYSOCKI, M.; MOIK, J. G., y SHOUP, W. C. (1975): *Quantification of geologic lineaments by manual and machine processing techniques*. Proc. NASA Earth Resources Survey Symposium, Houston, Texas, 1975. NASA TMX-58168, v. 18, 885-905. También, NASA. Doc. X-923-75-188, Greenbelt, Maryland.
- PODWYSOCKI, M. H.; SEGAL, D. B., y ABRAMS, M. J. (1983): *Use of Multispectral Scanner Images for Assessment of Hydrothermal Alteration in the Marysvale, Utah. Mining Area*, Economic Geol., 78, 675-687.
- PROST, G. (1980): *Alteration Mapping with Airborne Multispectral Scanners*. Economic Geol., 75, 894-906.
- RAINES, G. L., y GABELL, A. R. (1982): *Spectral Reflectance Properties of Pseudo-Gossan and Massive-Sulfide Gossan*. Proc. of Int. Symp. on Rem. Sens. of Environm., 2nd Them. Conf., Remote Sensing for Exploration Geology, 6-10 Dec. 1982, Fort Worth, Texas, vol. 1, 25-28.
- RAINES, G. L., y WYNN, J. C. (1982): *Mapping of Ultramafic Rocks in a Heavily Vegetated Terrain Using Landsat Data*. Econ. Geol., 77, 1755-1769.
- RIAZA, A. (1988): *Evaluación preliminar de una imagen TM para la cartografía de rocas volcánicas*. Res. II Reun. del Gr. de Trabajo en Teledetección. Valencia, 17-18 Dic. 1987, 53-69.
- ROSS, H. P.; ADLER, J. E., y HUNT, G. R. (1969): *A Statistical Analysis of the Reflectance of Igneous Rocks from 0.2 to 2.65 microns*. Icarus, 11, 46-54.
- ROTHERY, D. A. (1982): *Supervised maximum-likelihood classification and post-classification filtering using MSS imagery for lithological mapping in the Oman ophiolite*. Proc. of Int. Symp. on Rem. Sens. of Environm., 2nd Them. Conf., Remote Sensing for Exploration Geology, 6-10 Dec. 1982, Fort Worth, Texas, vol. 1, 417-426.
- ROWAN, L. C.; WETLAUFER, P. H.; GOETZ, A. F. H.; BILINGSLEY, F. C., y STEWART, J. H. (1976): *Discrimination of Rock Types and Detection of Hydrothermally Altered Areas in South-Central Nevada by the Use of Computer-Enhanced ERTS Images*. US Geol. Survey Prof. Paper, 883, 36 pp.
- ROWAN, L. C.; GOETZ, A. F. H., y ASHLEY, R. P. (1977): *Discrimination of Hydrothermally Altered and Unaltered Rocks in the Visible and Near Infrared Multispectral Images*. Geophysics, 42, núm. 3, Apr. 1977, 522-535.
- ROWAN, L. C., y KAHLE, A. B. (1982): *Evaluation of 0.46 to 2.36 μm multispectral scanner images of the East Tintic mining district, Utah, for mapping hydrothermally altered rocks*. Econ. Geol., 77, núm. 2, 441-452.
- ROWAN, L. C.; ANTON-PACHECO, C.; BRICKEY, D. W.; KINGSTON, M. J.; PAYAS, A.; VERGO, N., y CROWLEY, J. K. (1987): *Digital classification of contact metamorphic rocks in Extremadura, Spain using Landsat thematic mapper data*. Geophysics, 52, núm. 7 (Jul. 87), 885-897.
- SABINS, F. F., Jr. (1978): *Remote Sensing Principles and Interpretation*. W. H. Freeman and Co., S. Francisco, 426 pp.
- SEGAL, D. B. (1982): *Theoretical basis for differentiation of ferric-iron bearing minerals using Landsat MSS data*. Proc. of Int. Symp. on Rem. Sens. of Environm., 2nd Them. Conf., Remote Sensing for Exploration Geology, 6-10 Dec. 1982, Fort Worth, Texas, vol. II, 949-951.
- SEGAL, D. B. (1983): *Use of Landsat Multispectral Scanner Data for the Definition of Limonitic Exposures in Heavily Vegetated Areas*. Econ. Geol., 78, 711-722.
- SIEGAL, S., y SHORT, N. M. (1977): *Significance of Operator Variation and the Angle of Illumination in Lineament Analysis on Synoptic Images*. Modern Geology, 1977, 6, 75-85.
- SIEGAL, S. B., y GILLESPIE, A. R. (1980): *Remote Sensing in Geology*. John Wiley & Sons, 702 p.
- SIMARD, R., y SLANEY, R. (1986): *Digital Terrain Model and Image Integration for Geologic Interpretation*. Proc. 5th Them. Conf. Rem. Sens. for Expl. Geol., Reno, Nevada, 26 Set-2 Oct 1986, vol. I, 49-60.
- SINGER, R. B. (1981): *Near-infrared spectral reflectance of mineral mixtures: Systematic combinations of pyroxenes, olivine and iron oxides*. Jr. of Geophysical Res., 86, 7967-7982.
- WISE, D. U. (1982): *Linemanship and the practice of Linear Geo-art*. Geol. Soc. of Amer. Bull., 93, Sept. 1982, 886-888.
- WOOD, D. L., y NASSAU, K. (1968): *The Characterization of Beryl and Emerald by Visible and Infrared Absorption Spectroscopy*. The American Mineralogist, 53, May-Jun. 1968, 777-799.

Original recibido: Octubre de 1991.

Original aceptado: Noviembre de 1991.

GEOLOGIA

Paleontología y Bioestratigrafía de los inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana.

Parte I: Situación geológica de las series realizadas y estudio sistemático de los subgéneros *Inoceramus* Sowerby y *Cremonoceramus* Cox.

Por G. LOPEZ

RESUMEN

El estudio de 34 series, muestreadas nivel a nivel, y de 14 yacimientos puntuales, ha permitido obtener alrededor de 1.500 ejemplares de inocerámidos. Los distintos niveles con inocerámidos han sido situados dentro de las formaciones reconocidas en esta misma área por AMIOT (1982) y FLOQUET et al. (1982).

El estudio de los inocerámidos se ha realizado a partir de su ornamentación, morfología general y la cuantificación de su variación ontogénica, siguiendo el método de Seitz. Identificándose un total de 75 especies y subespecies de inocerámidos.

El subgénero *Inoceramus* Sowerby presenta una distribución estratigráfica que se limita al Turoniense Medio y Superior, y está representado por las siguientes 4 especies: *Inoceramus (Inoceramus) cuvierii* Sowerby, *I. (I.) inaequalis modestus* Heinz, *I. (I.) latus* Mantell e *I. (I.) frechi* Flegel. Por su parte, el subgénero *Cremonoceramus* Cox presenta una distribución estratigráfica que se limita al Coniaciense Inferior, y está representado por 4 especies; de ellas, las más representativas, y que serán tratadas en este trabajo, son: *Inoceramus (Cremonoceramus) schloenbachi* Böhm, *I. (Cre.) erectus* Meek e *I. (Cre.) ernsti* Heinz.

Palabras clave: Cuenca Navarro-Cántabra, Plataforma Norcastellana, Inocerámidos, Formaciones litológicas, Método de Seitz, *Inoceramus*, *Cremonoceramus*, Cretácico Superior, Turoniense, Coniaciense Inferior.

ABSTRACT

The study of 34 sequences and 14 localities has allowed me to collect more than 1500 inoceramid specimens. The inoceramid beds have been assigned to the lithological formations established in this area by AMIOT (1982) and FLOQUET et al. (1982).

The inoceramid study was based on its shell morphology, ornamentation and ontogenetic variation by the SEITZ's method. 75 species and subspecies have been identified.

The subgenus *Inoceramus* Sowerby have been recognized in the Navarro-Cantabrian Basin and in the North-Castilian Platform, ranging from the middle Turonian to the upper Turonian, and is represented by the following 4 species: *Inoceramus (Inoceramus) cuvierii* Sowerby, *I. (I.) inaequalis modestus* Heinz, *I. (I.) latus* Mantell, and *I. (I.) frechi* Flegel. By other hand, the subgenus *Cremonoceramus* Cox have been recognized in the Navarro-Cantabrian Basin, is lower Coniacian in age, and is represented by 4 species, three of these are studied in this paper: *Inoceramus (Cremonoceramus) schloenbachi* Böhm, *I. (Cre.) erectus* Meek, and *I. (Cre.) ernsti* Heinz.

Key words: Navarro-Cantabrian Basin, North-Castilian Platform, Inoceramids, Lithological formations, Seitz's method, *Inoceramus*, *Cremonoceramus*, Upper Cretaceous, Turonian, Lower Coniacian.

(*) Departament de Geologia (Paleontologia). Facultat de Ciències. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra. Barcelona.

INTRODUCCION

Este trabajo corresponde a una parte de la Tesis Doctoral del autor (LOPEZ, 1990 b), concretamente a los capítulos referentes a la metodología de estudio de los inocerámidos y al estudio sistemático de los subgéneros *Inoceramus* y *Cremonoceramus*. Dicha Tesis versó sobre el estudio paleontológico y bioestratigráfico de los inocerámidos del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana, concretamente durante el intervalo Turoniense Inferior-Santoniense Superior. En los sucesivos números de este volumen se irán incorporando otros apartados de dicha Tesis Doctoral.

El estudio de los inocerámidos de dicho intervalo pretendió ser una aportación a la resolución de algunos de los problemas que quedaron pendientes respecto a la fauna de inocerámidos, tras la finalización del proyecto núm. 58 del IGCP, *Mid-Cretaceous Events* (KENNEDY, 1986). Estos problemas, a los que se intentó dar solución durante la realización de dicha Tesis, eran los siguientes:

- Falta de estudio y figuración de los inocerámidos del Turoniense del Norte de España, así como la necesidad de revisar algunos de los tipos de las especies del Turoniense de Europa occidental.
- Falta del estudio de secuencias que presentan inocerámidos del Turoniense Superior y del Coniaciense Inferior.
- Falta del estudio de secuencias del Coniaciense del Norte de España, en que los inocerámidos aparecen asociados a ammonites.
- Necesidad de revisar algunos de los inocerámidos tipo del Coniaciense de Europa occidental y del Western Interior (EE. UU.).
- Falta del estudio de secuencias que presentan inocerámidos en el límite Coniaciense/Santoniense.

Hasta la mencionada Tesis, los trabajos sobre los inocerámidos de la Cuenca Navarro-Cántabra se limitaban a los WIEDMANN y KAUFFMAN (1978), LAMOLDA, LOPEZ y MARTINEZ (1987-89) y a los de LOPEZ (1987-90). Mientras que los trabajos relativos a los inocerámidos de otras áreas

de España se restringían a los de HEINZ (1936), LOPEZ (1986 a y b) y SORNAY (1978).

El muestreo efectuado nivel a nivel en las 34 series levantadas durante la realización de dicha Tesis, así como el muestreo efectuado en varios yacimientos aislados, permitió obtener alrededor de 1.500 ejemplares de inocerámidos. El estudio taxonómico de los cuales se realizó en base a la moderna metodología biométrica específica para los inocerámidos. Mediante estos datos se estableció la distribución de las asociaciones de inocerámidos de esta zona, y se comparó la distribución estratigráfica de cada taxón con la que presentan en otras regiones.

Las aportaciones principales de la Tesis del autor (LOPEZ, 1990 b) corresponden a modificaciones en la sistemática y bioestratigrafía. Las modificaciones en la sistemática radican en la identificación de especies no conocidas hasta el momento y a la revisión de numerosas de las especies y subespecies reconocidas en dicha Tesis. Por su parte, los resultados bioestratigráficos corresponden a la distribución estratigráfica de las 12 asociaciones de inocerámidos reconocidas, así como a las modificaciones en la datación de las formaciones de la zona estudiada y a la revisión de la zonación propuesta por WIEDMANN y KAUFFMAN (1978).

SITUACION GEOGRAFICA

Las partes de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana estudiadas en la Tesis del autor (LOPEZ, 1990 b) y que serán tratadas en este trabajo, así como en posteriores números de este volumen, muestran una posición intermedia entre tres unidades fisiográficas bien diferenciadas, la Cordillera Cantábrica al Oeste, los Pirineos al Este y la Cuenca del Ebro al Sur.

Esta área (fig. 1) se reparte por el extremo occidental de Navarra, el extremo occidental de Alava y el Norte y Centro de Burgos. Aproximadamente esta zona de estudio quedaría inscrita en un polígono que tendría como vértices a Espinosa de los Monteros, Villasana de Mena, Puerto de Orduña, Vitoria, Alsasua, Irurzun, Estella, Miranda de Ebro y Nidaguila.

Las series de Ganuza (I-V), Ollogoyen, Echevarri, Gastiain (I-IV) se localizan en la vertiente meri-

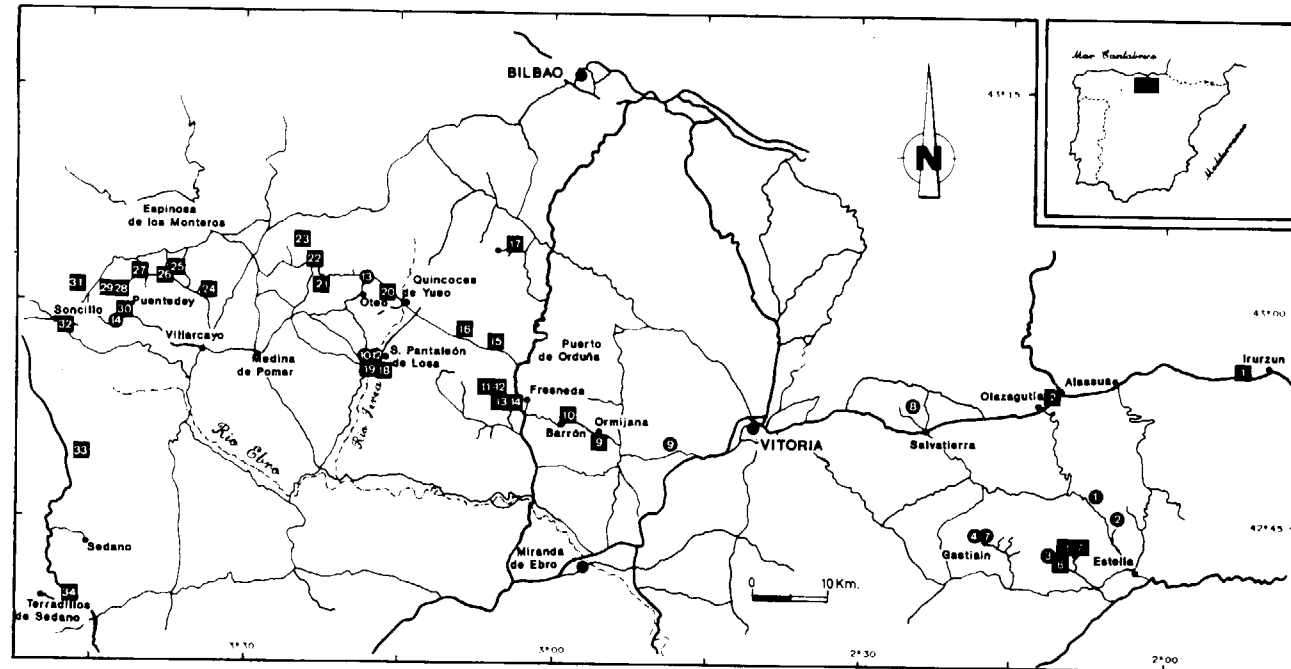


Figura 1.—Situación geográfica de la zona estudiada, indicándose series y localidades.

Serie (■).—1: IZU; 2: OLA; 3: GA-V; 4: GA-IV; 5: GA-III; 6: GA-II; 7: GA-I; 8: OLLO; 9: OR; 10: BA; 11: AS; 12: ASN; 13: FRES; 14: FRN; 15: MA; 16: VIL; 17: ME; 18: BO; 19: SPL-I; 20: OT; 21: LA; 22: VI; 23: HE; 24: TOR; 25: HT; 26: LM; 27: CU; 28: VM; 29: VMW; 30: PU; 31: PE; 32: SON-I; 33: TU; 34: NI.

Localidades (●).—1: VB; 2: ECH; 3: OLLO-II; 4: GAS-IV; 5: GAS-III; 6: GAS-II; 7: GAS-I; 8: ZZ; 9: OLB; 10: SPL-III; 11: SPL-II; 12: Río Jerea; 13: CA; 14: PU-II.

dional de las Peñas de Ulibarri (extremo occidental de Navarra).

El valle de Losa se localiza en el extremo occidental de Alava y en el Norte de Burgos, y en él se realizaron las series de Ollívarre, Barrón, Lastras de las Heras, Venta de Barindano, Villaventín, Ormijana, Astúlez, Fresneda, Bóveda, Mambliga, Villacián, Lastras de la Torre, Oteo, Castresana y San Pantaleón de Losa.

Las series de Hornillalatorre, Cueva, Villamartín, La Mesa, Torme y Pedrosa se encuentran en las cercanías de los pueblos que les dan nombre (excepto a la Mesa), todos ellos situados al Oeste de Espinosa de los Monteros.

Las series de Puentedey y Soncillo se encuentran en las cercanías de los pueblos que les dan nombre, situados al noroeste de Villarcayo y al de Soncillo.

La serie de Nidaguila se encuentra en las cercanías de Nidaguila, en la zona de Los Páramos (Oeste de Burgos).

La serie de Menoyo se localiza en la vertiente septentrional de la Sierra Salvada (extremo noroccidental de Alava), y no se ha levantado durante la realización de este trabajo, pero sí que se ha muestreado, en compañía del autor que la publicó con anterioridad (LAMOLDA, 1978).

Las series de Izurdiaga y Olazagutia se localizan en los alrededores de los pueblos que les dan nombre, que se encuentran situados en las cercanías de la carretera N. I. Ninguna de estas series ha sido levantada durante la realización de este trabajo, sino que su muestreo se ha realizado en compañía de los autores que las estudiaron con anterioridad (KUCHLER y ERNST, 1989, y WOLZ y ZANDER, 1987).

COORDENADAS DE LAS SERIES Y LOS YACIMIENTOS ESTUDIADOS

En este apartado se pretende dar la información necesaria para la localización de cada una de las

series y localidades estudiadas. Puesto que las campañas de campo se han realizado dentro de los proyectos PR-83/2693-C2 de la CAICYT y PB87-0748-C02 de la DGICYT, y han intervenido varios científicos, se indica, para cada una de las series qué investigadores las levantaron. Asimismo, se indica si estas series ya han sido publicadas, tanto si lo han sido por investigadores vinculados a estos dos proyectos o a otros.

Serie AS (Astúlez, Alava).—Coordenadas.—Long. 3° 04' 19.8"; Lat.: 42° 53' 55.5". Mapa de Orduña (núm. 111). Autores: G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie ASN (Astúlez Norte, Alava).—Coordenadas.—Long.: 3° 04' 42.4"; Lat.: 42° 54' 08.0". Mapa de Orduña (núm. 111). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie BA (Barrón, Alava).—Coordenadas.—Long.: 2° 58' 57.2"; Lat.: 42° 50' 48.3". Mapa de Orduña (núm. 111). Situada a 700 m. al E del pueblo, siguiendo la carretera. Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie BO (Bóveda, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 17' 02.4"; Lat.: 42° 55' 30.5". Mapa de Medina de Pomar (núm. 110). Autores.—M. A. LAMOLDA, J. RODRIGUEZ-LAZARO, R. MARTINEZ y E. VICENS.

Localidad CA (Castresana, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 20' 38.8"; Lat.: 43° 01' 41.2". Mapa de Villasana de Mena (núm. 85). Autores.—R. MARTINEZ, G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie CU (Cueva, Burgos).—Coordenadas.—Long. 3° 40' 00"; Lat.: 43° 02' 09.4". Mapa de Espinosa de los Monteros (núm. 84). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad ECH (Echávarri, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 03' 59.4"; Lat.: 42° 44' 49.5". Mapa de Estella (núm. 140). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie FRES (Fresneda, Alava).—Coordenadas.—Long.: 3° 03' 14.5". Lat.: 42° 52' 05.6". Mapa de Orduña (núm. 111). Autores.—A. GOROSTIDI, M. A. LAMOLDA, R. MARTINEZ y J. RODRIGUEZ-LAZARO; ya publicada por M. A. LAMOLDA y R. MARTINEZ (1986, fig. 5).

Serie FRNL (Fresneda Norte, Alava).—Coordenadas.—Long.: 3° 03' 52.1"; Lat.: 42° 52' 31.5". Ma-

pa de Orduña (núm. 111). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie GA-I (Ganuza, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 09' 19.8"; Lat.: 42° 41' 42.4". Mapa de Estella (núm. 140). Autores.—R. MARTINEZ y M. A. LAMOLDA. Publicada por LOPEZ (1990 a, figura 2).

Serie GA-II (Ganuza, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 09' 23.1"; Lat.: 42° 41' 47.7". Mapa de Estella (núm. 140). Autores.—G. LOPEZ y R. MARTINEZ. Publicada por LOPEZ (1990 a, fig. 2).

Serie GA-III (Ganuza, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 09' 25.9"; Lat.: 42° 41' 49.61". Mapa de Estella (núm. 140). Autores.—G. LOPEZ y R. MARTINEZ. Publicada por LOPEZ (1990 a, fig. 2).

Serie GA-IV (Ganuza, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 09' 17.7"; Lat.: 42° 41' 51.2". Mapa de Estella (núm. 140). Autores.—M. A. LAMOLDA y R. MARTINEZ. Publicada por LOPEZ (1990 a, figura 2).

Serie GA-V (Ganuza, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 07' 22.3"; Lat.: 42° 42' 17.9". Mapa de Estella (núm. 140). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad GAS-I (Gastiain, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 16' 47.4"; Lat.: 42° 43' 05.3". Mapa de Eulate (núm. 139). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad GAS-II (Gastiain, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 18' 40.7"; Lat.: 42° 43' 17.8". Mapa de Eulate (núm. 139). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad GAS-III (Gastiain, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 17' 13.6"; Lat.: 40° 43' 39.1". Mapa de Eulate (núm. 139). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad GAS-IV (Gastiain, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 17' 05.6"; Lat.: 40° 43' 42.6". Mapa de Eulate (núm. 139). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie HE (Lastras de las Heras, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 25' 51.0"; Lat.: 43° 03' 20.3". Mapa de Villasana de Mena (núm. 85). Autores. G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie HT (Tornillalatorre, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 35' 45.2"; Lat.: 43° 02' 54.0". Mapa de

Espinosa de los Monteros (núm. 84). A unos 100 metros a la salida del pueblo, por la carretera en dirección a Hornillalalastra y Hornillalayuso. Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie IZU (Izurdiaga, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 1° 49' 15.7"; Lat.: 42° 54' 35.7". Mapa de Gulina (núm. 115). A 1.5 Km. al S de Irurzun, la sección está al E de Izurdiaga. Autores.—T. KÜCHLER y G. ERNST (1989, fig. text. 3).

Serie LA (Lastras de la Torre, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 16' 10.4"; Lat.: 43° 00' 17.2". Mapa de Villasana de Mena (núm. 85). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie LM (La Mesa, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 35' 14.0"; Lat.: 43° 01' 25.3". Mapa de Espinosa de los Monteros (núm. 84). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie MA (Mambliga, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 07' 02.4"; Lat.: 42° 56' 25.6". Mapa de Orduña (núm. 111). Autores.—G. LOPEZ y R. MARTINEZ.

Serie ME (Menoyo, Alava).—Coordenadas.—Long.: 3° 03' 57.2"; Lat.: 43° 04' 37.5". Mapa de Landaco (núm. 86). A 500 m. al E del pueblo, en la trinchera de la carretera. Autor.—M. A. LAMOLDA (1978, fig. 2).

Serie NI (Nidaguila, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 46' 34.9"; Lat.: 42° 38' 43.7". Mapa de Montoro (núm. 167). Autores.—R. SANTAMARIA y G. LOPEZ.

Serie OLA (Olazagutía, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 1° 29' 25"; Lat.: 42° 52' 00.0". Mapa de Salvatierra (núm. 113). En la cantera de Cementos Portland-Pamplona, a 2 Km. al S del pueblo. Autores.—P. WOLZ y J. ZANDER.

Localidad OLB (Ollávarre, Alava).—Coordenadas.—Long.: 2° 50' 18.1"; Lat.: 42° 44' 35.2". Mapa de La Puebla de Arganzón (núm. 138). Autores: G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie OLLO (Ollogoyen, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 09' 20.4"; Lat.: 40° 41' 42.3". Mapa de Estella (núm. 140). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad OLLO-II (Ollogoyen, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 09' 17.6"; Lat.: 40° 41' 52.1". Mapa de Estella (núm. 140). Autores.—G. LOPEZ,

M. A. LAMOLDA, R. MARTINEZ y R. SANTAMARIA.

Serie OR (Ormijana, Alava).—Coordenadas.—Long.: 2° 56' 23.6"; Lat.: 42° 49' 58.7". Mapa de Miranda de Ebro (núm. 137). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie OT (Oteo, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 17' 20.0"; Lat.: 43° 00' 57.4". Mapa de Villasana de Mena (núm. 85). Autores.—M. A. LAMOLDA, E. VICENS, R. MARTINEZ, R. SANTAMARIA, G. LOPEZ; parte de la serie ya fue publicada por LAMOLDA y MARTINEZ (1986, fig. 3) bajo el nombre de Casa Etxebarria.

Serie PE (Pedrosa, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 44' 53.8"; Lat.: 43° 00' 23". Mapa de Espinosa de los Monteros (núm. 84). Localidad situada a 200 m. al S del pueblo, en la trinchera de la vía férrea «La Robla», en el Km. 218. Autor. WIEDMANN (1979, fig. 14).

Serie PU (Puentevedey, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 43' 18.8"; Lat.: 42° 59' 35.2". Mapa de Villarcayo (núm. 109). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad PU-II (Puentevedey, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 43' 21.2"; Lat.: 42° 59' 35.2". Mapa de Villarcayo (núm. 109). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie SON-I (Soncillo, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 46' 10.0"; Lat.: 42° 59' 15.2". Mapa de Villarcayo (núm. 109). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie SPL-I (San Pantaleón de Losa, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 17' 17.8"; Lat.: 42° 56' 14.6". Mapa de Medina de Pomar (núm. 110). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad SPL-II (San Pantaleón de Losa II, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 17' 24.6"; Lat.: 42° 56' 21.7". Mapa de Medina de Pomar (número 110). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad SPL-III (San Pantaleón de Losa III, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 17' 24.6"; Lat.: 42° 56' 07.5". Mapa de Medina de Pomar (número 110). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad del cauce del río Jerea a su paso por San Pantaleón de Losa (Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 17' 24.6"; Lat.: 42° 56' 12.2". Mapa de

Medina de Pomar (núm. 110). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie TOR (Torme, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 31' 04.3"; Lat.: 43° 00' 06.8". Mapa de Espinosa de los Monteros (núm. 84). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie TU (Turzo, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 45' 15.8"; Lat.: 42° 49' 57.6". Mapa de Sedano (núm. 135); en el Alto de la Urria. Autores.—R. SANTAMARIA y G. LOPEZ.

Localidad VB (Venta de Barindano, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 06' 59.7"; Lat.: 42° 46' 18.1". Mapa de Estella (núm. 140). A unos 150 m. al NO del pueblo, siguiendo la carretera. Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie VI (Villaventín, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 22' 31.6"; Lat.: 43° 00' 56.1". Mapa de Villasana de Mena (núm. 85). Autores.—G. LOPEZ, R. MARTINEZ, R. SANTAMARIA, J. RODRIGUEZ-LAZARO y E. VICENS; ya publicada por M. A. LAMOLDA y R. MARTINEZ (1986, fig. 2).

Serie VIL (Villacián, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 09' 42.1"; Lat.: 42° 57' 17.5". Mapa de Orduña (núm. 111). Autores.—M. A. LAMOLDA, R. MARTINEZ; ya publicada por M. A. LAMOLDA y R. MARTINEZ (1986, fig. 4).

Serie VM (Villamartín, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 41' 19.1"; Lat.: 43° 01' 12.3". Mapa de Espinosa de los Monteros (núm. 84). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Serie VMW (Villamartín Oeste, Burgos).—Coordenadas.—Long.: 3° 42' 11.7"; Lat.: 43° 01' 12.5". Mapa de Espinosa de los Monteros (núm. 84). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

Localidad ZZ (Zuazu, Navarra).—Coordenadas.—Long.: 2° 24' 18.1"; Lat.: 42° 52' 14.2". Mapa de Salvatierra (núm. 113). Autores.—G. LOPEZ y R. SANTAMARIA.

SITUACION GEOLOGICA

Las series y localidades estudiadas corresponden a los afloramientos de Cretácico Superior situados en la parte meridional del Dominio Vasco-Cantábrico (fig. 2). Estos afloramientos corresponden en su mayoría a la Cuenca Navarro-

Cántabra, y algunos pertenecen a la región 1 de la Plataforma Norcastellana.

El dominio Vasco-Cantábrico ha sido denominado Cuenca Vasco-Cantábrica por varios autores, como LAMOLDA (1981) y REITNER (1982 y 1986) y Cadenas Vascogóticas por WIEDMANN (1960) y WIEDMANN y KAUFFMAN (1978). Este dominio representa, según MATHEY (1988), la parte oriental del margen meridional de la Bahía de Vizcaya. Asimismo, MATHEY (1988) considera que a partir del Cenomaniense Superior, como resultado de diversas modificaciones ambientales y morfológicas, estuvo formado por dos elementos orientados aproximadamente E-O (fig. 3), que son de N a S.

a) Una zona marina profunda, cuyo límite oriental corresponde a la línea de diapiros de Navarra (RAT, 1983). Durante el Cretácico, esta línea separó un dominio occidental (Cuenca Navarro-Cántabra) de uno oriental (Pirenaico).

b) Una plataforma marina; MATHEY (1988) denomina Plataforma Navarro-Cántabra a la Cuenca Navarro-Cántabra de AMIOT (1982), CIRY (1940), FEUILLEE (1967) y KÜCHLER y ERNST (1989). Por lo que respecta al presente trabajo, se sigue adoptando el término de Cuenca Navarro-Cántabra, por ser el mayormente aceptado. Esta es la parte exterior de una amplia plataforma, denominada Plataforma Noribérica, cuya parte interna (situada al S de la exterior) se denomina Plataforma Norcastellana (FLOQUET, 1987). La Cuenca Navarro-Cántabra corresponde a un medio de plataforma externa circalitoral (alternancia de margas y calizas) y presenta una subsidencia muy fuerte. Esta plataforma externa (Cuenca Navarro-Cántabra) y la interna (Plataforma Norcastellana) se encuentran separadas probablemente por la línea paleotectónica del Umbral del Ebro, que es llamado por AMIOT et al. (1982) *accidente profundo de las Losas*.

Así mismo, se considera, de acuerdo con AMIOT (1982), FLOQUET et al. (1982) y MATHEY (1988) que, la mayor parte del área meridional estudiada en este trabajo, e incluso la extremidad oriental de la banda septentrional, no pertenecen al dominio de sedimentación de la Cuenca Navarro-Cántabra, sino al de la Plataforma Norcaste-

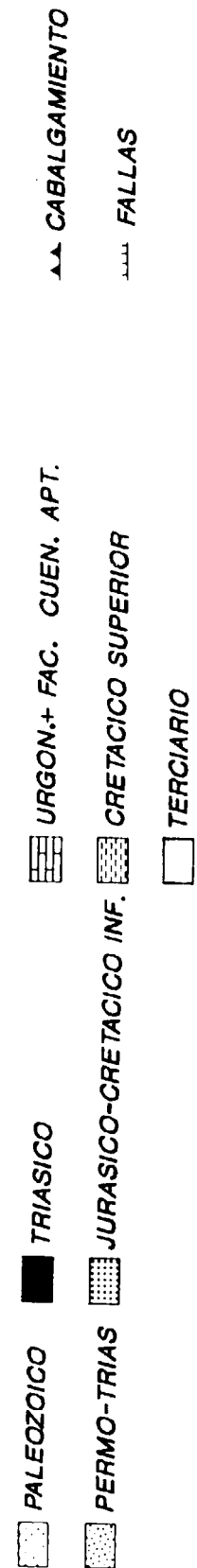
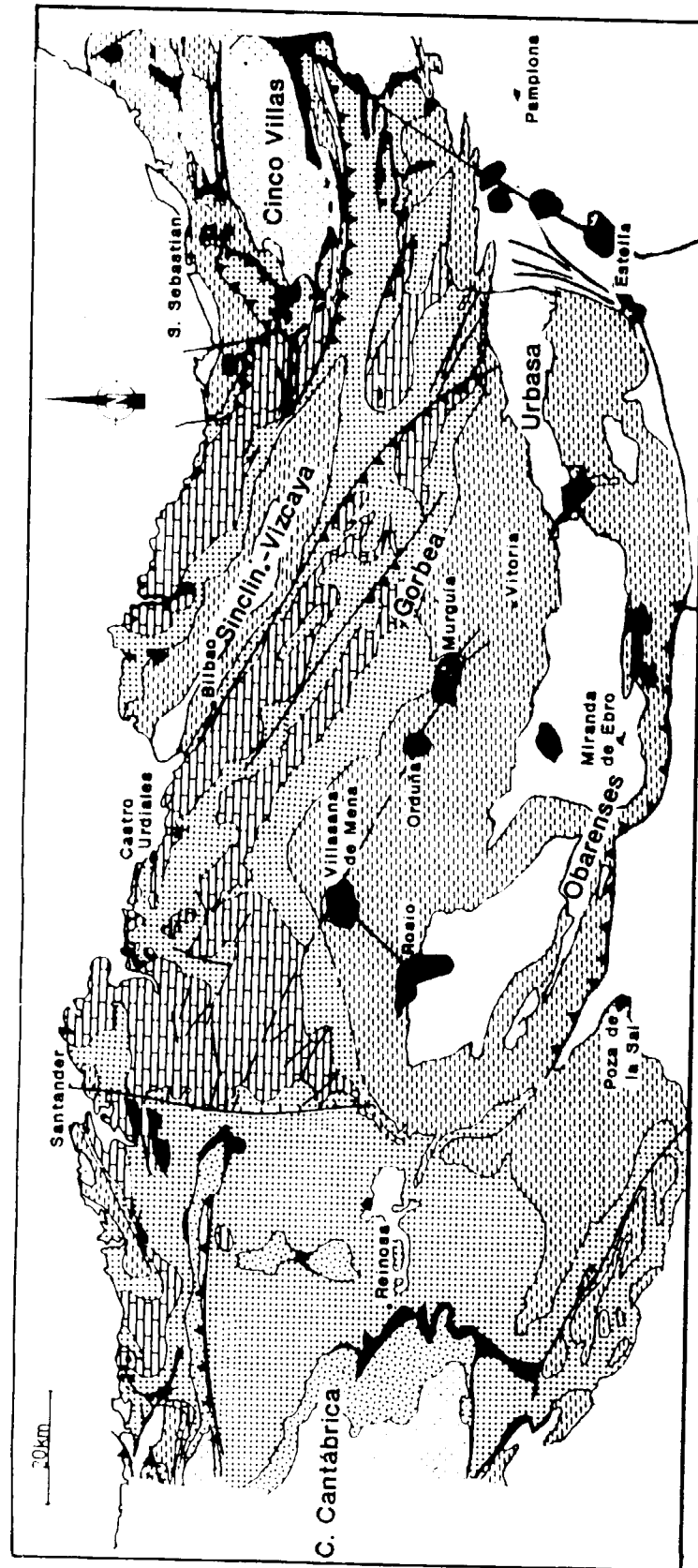


Figura 2.—Mapa Geológico de la región estudiada. Modificado de ENGESER et al. (1984).

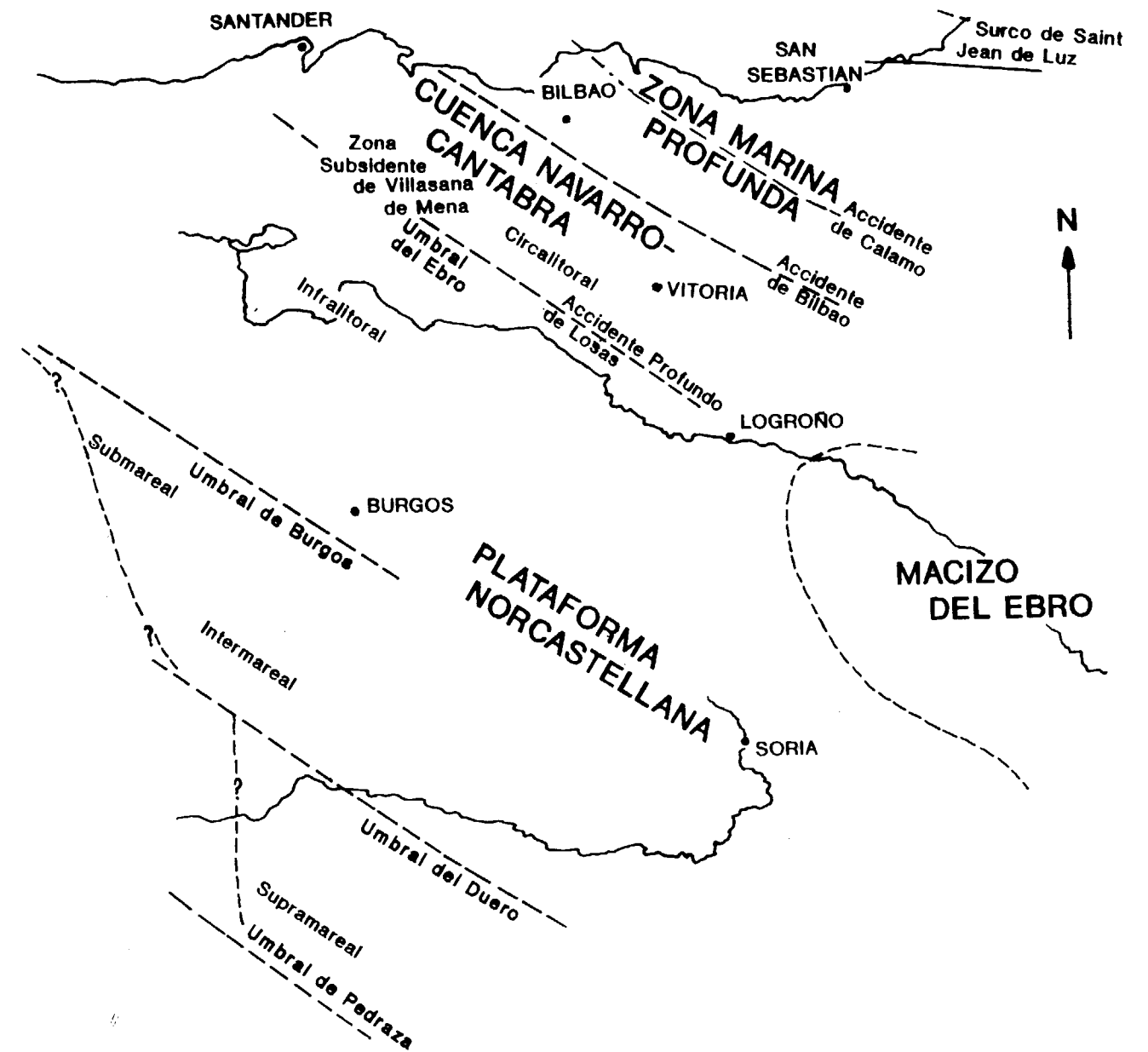


Figura 3.—Distribución de la Cuenca Navarro-Cántabra, la Plataforma Norcastellana y la Zona Marina Profunda en el Turo-niense Superior; simplificado de ALONSO y FLOQUET (1982), AMIOT et al. (1982a) y AMIOT et al. (1982b).

llana. El límite entre los dos dominios se ha desplazado con el transcurso del tiempo, pero para el Cretácico Superior se le puede situar, de acuerdo con AMIOT (1982) y FLOQUET et al. (1982), en los alrededores de una línea desde Espinosa de los Monteros a Peñacerrada, que corresponde al *accidente profundo de las Losas* de AMIOT (1982) et al. De todas formas, AMIOT

(1982) y FLOQUET et al. (1982), ya pusieron de manifiesto la buena correlación que existe entre las formaciones de ambos dominios.

Durante la realización de esta Tesis se han estudiado un total de 34 series y de 14 yacimientos puntuales en la Cuenca Navarro-Cántabra y en la región I de la Plataforma Norcastellana. Las

(I-V), Ollogoyen y las localidades de Echevarri y Gastiain (I-IV).

- e) Dominio pirenaico.—Comprende el valle de Ulzama, al N de la sierra de Aralar, el anticlinal de Oroz-Betelu, con núcleo primario y las sierras pirenaicas de Navascués y Leyre. En esta área no se ha estudiado ninguna sección.

Las formaciones de la Cuenca Navarro-Cántabra (fig. 4) en las que se han estudiado ejemplares de inoceramidos son las siguientes:

Formación de Ollogoyen

La litología de esta formación se caracteriza por la alternancia de calizas margosas y margas gris claro con pátina amarilla, ricas en foraminíferos pelágicos, ammonites, nautiloideos, inoceramidos y equínidos (AMIOT, 1982, pp. 95-96). La formación disminuye de espesor hacia el O en beneficio de facies dolomíticas o calizas de plataforma (Sierra de Cantabria). Esta formación corresponde a medios de cuenca. Las series más completas de esta formación se han realizado en Ganuza, correspondiendo a las series GA-I, GA-II, GA-III, GA-IV, GA-V y Ollogoyen. Aunque también puede ser observada en Gastiain y Echávarri. En estas series se han reconocido las asociaciones I-IV de la Tesis del autor (LOPEZ, 1990 b).

Formación de Viloria

Calizas bioclásticas claras con miliólidos y restos de ostras. Las facies corresponden a todo el flanco N del anticlinal de Gastiain, donde son muy homogéneas. Corresponde a un medio de plataforma externa. Esta formación tan sólo se ha reconocido en OLLO-II.

Miembro de la Barranca

Se caracteriza por una alternancia de margas y calizas arcillosas con disyunción más o menos acusada en bolas. El aumento de espesor de los bancos calizos en determinados niveles puede dar pequeños resaltes en la topografía. La facies es homogénea a todo lo largo de la Barranca, pero disminuye bruscamente de espesor, haciéndose más caliza y cargándose en glauconita, al E, a la altura de Irurzun. Este miembro corres-

ponde a un medio de cuenca. El miembro de la Barranca forma parte de la Fm. del Zadorra. Este miembro se ha reconocido en la serie de IZU, reconociéndose a *Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti*, característico de la asociación VI (Coniaciense Inferior, LOPEZ, 1990 b).

Formación de Ribera Alta

Calizas bioclásticas finas, de color gris-azulado y con pátina amarilla, se reconocen en bancos masivos y muy pobres en fauna. Esta formación corresponde a un medio de plataforma externa. Esta formación tan sólo se ha podido identificar en la serie HE, que muestra las típicas calizas bioclásticas.

Formación del Zadorra

Alternancia de margas y calizas arcillosas gris azul con pátina amarilla. Correspondería a un medio de cuenca. Esta formación tan sólo se ha observado en la localidad de OLB, que muestra la típica alternancia de margas y calizas-margosas, y en los que se han reconocido subespecies de *Inoceramus (Platyceramus) mantelli* de la asociación VII (Coniaciense Medio) de esta tesis (LOPEZ, 1990 b).

Formación de Zudaire

Alternancia de calizas muy nodulosas y de margas gris-azul con pátina amarilla. Bien desarrollada en toda la depresión de Eulate. Corresponde a un medio de plataforma externa. Esta formación se ha reconocido en la localidad VB.

Formación de Losas

Calizas arcillosas, margas y alternancias márgo-calizas claras con ammonites, inoceramidos y foraminíferos planctónicos. Tres pasadas más carbonatadas cortan la monotonía de la serie; el tercio superior es netamente más arcilloso. El espesor de la cuenca es máximo al O de Villalba de Losa, disminuye hacia el SE al mismo tiempo que la importancia de los niveles carbonatados; éstos han desaparecido prácticamente en Guinea. La parte superior de la serie está oculta a partir de Barrón por las pudingas oligocénicas superiores. Corresponde a un medio de cuenca subsidente. Esta formación se ha reco-

nocido en todas las series del Valle de Losa. De éstas, cabe destacar las de Barrón, Ormijana, AS, ASN, FRN, LA y VIL, por su abundancia de fauna.

Formación de Olazagutía

Calizas arcillosas en bancos masivos. De acuerdo con AMIOT (1982), las calizas arcillosas forman, entre las alternancias márgo-calizas de la Fm. de la Barranca y Jas de la Fm. Zudaire, una banda un poco más resistente que se sigue hacia el E hasta Izurdiaga. Corresponde a un medio de cuenca. Esta formación tan sólo se ha observado en la serie de Olazagutía (WOLZ y ZANDER, en prep.), que corresponde claramente al Santoniense.

Miembro de San Pantaleón de Losa

Miembro de la Formación Nocedo de Burgos (FLOQUET, 1982). El paso de las margas y calizas arcillosas de Losas a las calizas de San Pantaleón es en general bastante gradual. Son calizas bioclásticas finas, azul oscuro con pátina ocre, y a menudo finamente arenosas. Corresponde, de acuerdo con AMIOT (1982), a un medio de plataforma distal. Esta Formación se ha observado en la serie SPL-I y en las localidades SPL-II, SPL-III y en el cauce del río Jerea a su paso por San Pantaleón de Losa.

PLATAFORMA NORCASTELLANA

El Cretácico Medio y Superior en la Meseta Norcastellana está representado por una serie sedimentaria fundamentalmente calcárea, con algunos intervalos de sedimentación terrígena y de dolomías, con una potencia comprendida entre 250 y 800 m. Todas las facies indican un amplio dominio de plataforma poco profunda a muy somera. Este dominio de plataforma se extiende desde la cuenca alta del Ebro hasta Segovia, al S, y hacia la región de Molina de Aragón hacia el SE. Dentro de este extenso dominio, FLOQUET et al. (1982, pp. 387-392) realizaron una división en cuatro regiones, en cada una de las cuales definieron distintas unidades litoestratigráficas. FLOQUET (1987) realizó un análisis secuencial de estos depósitos y definió una Plataforma Norcas-

tellana, abierta hacia el N, que es donde tiene lugar su relación con la Cuenca Navarro-Cántabra (región 1), y cada vez más restringida, con medios más litorales o menos profundos hacia el O, S y SE (regiones 2, 4 y 3, respectivamente).

La región 1 es la única región de la Plataforma Norcastellana estudiada en la tesis del autor (LOPEZ, 1990 b). Comprende la parte suroccidental de la cordillera cantábrica y el extremo suroriental de Asturias. Hacia el NE se extiende hasta una línea que va desde las proximidades de Espinosa de los Monteros hasta el N del diapiro de Peñacerrada. Hacia el S se encuentra limitada por la depresión terciaria de Burgos y por el frente de cabalgamiento de los Montes Obareneses. Esta región 1 corresponde a la parte más externa o distal de la plataforma, y se encuentra en comunicación directa con los dominios septentrionales: cuenca Navarro-Cántabra y surco del flysch. En esta región se pueden distinguir dos partes diferenciadas:

- Una parte septentrional, situada al N del Alto Ebro, en donde las relaciones con la cuenca Navarro-Cántabra son netas. Esta área corresponde a los medios de plataforma interna más abiertos, con subsidencia mucho más débil (medios de talud, arrecifes, o barreras de alta energía). En esta área se han localizado las series de Hornillalatorre, Cueva, Villamartín, La Mesa, Torme, Pedrosa y Puente-dey.
- Una parte meridional, situada al S del Ebro, en donde los medios de plataforma tienden a ser protegidos. En esta área se han localizado las series de Nidaguila y de Turzo.

Las formaciones de la región 1 de la Plataforma Norcastellana (fig. 5) en las que se ha identificado fauna de inoceramidos son las siguientes:

Formación de Puente-dey

Calizas arcilloso-glauconíticas en la base y margas y arcillas calcáreas con limos, con intercalaciones de bancos de calizas margosas, con fauna de ammonites, gasterópodos, equínidos, inoceramidos y braquiópodos. En la parte N de la región 1, esta formación se presenta muy homogénea. Corresponde a un medio de plataforma externa. Esta formación tan sólo se ha reconocido

en la serie de Puente de y en los yacimientos de PU-II y SON-I. En estas series y yacimientos se han reconocido las asociaciones I, II y III de LOPEZ (1990 b), que corresponden al Turoniense Inferior y a la parte basal del Turoniense Medio. La serie más característica de esta formación es la de Puente de, que ya fue citada por SAENZ GARCIA (1933) y posteriormente por WIEDMANN (1979).

Formación de Hornillalatorre

La litología de esta formación corresponde a margas gris-azuladas con bancos de calizas arcilloso-limosas y calizas arcillosas bioturbadas. Esta formación no presenta una gran abundancia de fauna, observándose bivalvos, inocerámidos, ammonites, foraminíferos planctónicos. La formación es homogénea en el conjunto de la parte norte de la región 1, con tendencia a disminuir de potencia hacia el SO, el S y el SE, aumentando de espesor hacia el N y NE. Corresponde a un medio de plataforma externa. Esta formación se ha reconocido en la serie de Hornillalatorre y en la de Cueva.

Formación de Cueva

Calcarenitas finas con pequeños restos bioclásticos de fragmentos de rudistas. Correspondería a un medio de plataforma externa. Esta formación sólo se ha observado en la serie de CU.

Formación de Nidaguila

Calizas margosas, que basalmente corresponde a calizas más arenosas y en el techo a margas.

Esta unidad descansa en contacto sobre las formaciones calcáreas de Cueva y de Villaescusa de las Torres. Esta formación está bien representada en toda la región 1, con tendencia a aumentar de espesor hacia la parte N del Ebro, y disminuyendo de espesor hacia el S. Corresponde a un medio de plataforma externa, abierta, infralitoral a circalitoral. Esta formación se ha reconocido en las series NI, LM, TOR, TU, VM, VMW.

Formación de Nocedo de Burgos

Calcarenitas y calizas margosas, estas últimas sólo se observan en la parte inferior de la formación. La unidad se apoya sobre las margas y calizas margosas de Nidaguila. Corresponde a

un medio de plataforma interna tranquila, según FLOQUET et al. (1982). Esta Formación se ha reconocido en las series NI, LM, VM y VMW, los pocos inocerámidos que se han identificado presentan un mal estado de conservación.

ANTECEDENTES

Los primeros trabajos eminentemente paleontológicos de esta región corresponden a KARRENBURG (1935), sobre la fauna de ammonites, y LAMBERT (1935), sobre la de equínidos. Posteriormente, se realizaron los trabajos de WIEDMANN (1960, 1962 y 1964) sobre ammonites, y los de SCHROEDER (1962) sobre orbitolinas, al mismo tiempo que CIRY (1964) proporcionó diversos nuevos datos paleontológicos.

RAMIREZ DEL POZO (1971) estudió la bioestratigrafía y las microfacies de la región cantábrica durante el Cretácico Superior, basado fundamentalmente en el análisis de microfaunas, aunque sus resultados no coinciden siempre con los obtenidos por otros autores en base a macrofauna, en especial por lo que respecta al Coniaciense y Santoniense. Los restantes trabajos sobre microfauna corresponden a los de LAMOLDA (1975, 1978 y 1979), LAMOLDA y MARTINEZ (1986), LAMOLDA et al. (1981), LAMOLDA y PROTO-DECIMA (1986), RODRIGUEZ-LAZARO y LAMOLDA (1982 y 1983).

La primera zonación de inocerámidos para el norte de España fue establecida por WIEDMANN y KAUFFMAN (1978), que realizan su correlación con las zonaciones de ammonites, así como su relación con las zonaciones del Western Interior (EE. UU.). Estas zonaciones ya son utilizadas por WIEDMANN (1979) en su itinerario geológico a través del dominio Vasco-Cantábrico.

Los posteriores trabajos sobre los inocerámidos corresponden a los de LOPEZ (1987-1990), LAMOLDA, LOPEZ y MARTINEZ (1986), KÜCHLER y ERNST (1989) y ZANDER (1988). Por lo que respecta a los estudios sobre los inocerámidos del resto de España, tan sólo existen los trabajos de HEINZ (1936) sobre los inocerámidos de Alicante, Valencia y Baleares, los de LOPEZ (1986 a y 1986 b) sobre los inocerámidos de la región Sudpirenaica central, y el de SORNAY (1978) sobre algunos inocerámidos del Prepirineo de la provincia de Lérida.

Por otra parte, los más recientes trabajos sobre los ammonites de esta región corresponden a KÜCHLER y ERNST (1989), LAMOLDA y MARTINEZ (1986), LAMOLDA, LOPEZ y MARTINEZ (1989) y SANTAMARIA (1989 y 1991).

METODOLOGIA

GENERALIDADES

Los inocerámidos son bivalvos pterioides únicamente fósiles, y característicos del Mesozoico. Su registro abarca desde el Pérmico Inferior hasta finales del Cretácico, aunque las formas anteriores al Triásico son muy escasas. La evolución del grupo fue lenta en el Jurásico, pero muestra una fuerte diversificación en el Cretácico Medio y Superior (Albiense-Santoniense).

Los inocerámidos han sido utilizados en bioestratigrafía desde hace mucho tiempo, debido a su abundancia, a su presencia en una amplia diversidad de facies y a su frecuente asociación, durante el Cretácico, con ammonites. En los últimos años, los inocerámidos se han mostrado como un elemento importante para la correlación global, y en especial en las correlaciones entre Tethys y dominio Boreal. Por ello son uno de los principales grupos en la bioestratigrafía del Cretácico. KAUFFMAN et al. (1978) ya demostraron que en el Cretácico del Western Interior (EE. UU.), en donde se dispone de una escala radiométrica detallada, las especies y subespecies de inocerámidos desarrollan una tasa de evolución igual, o en algunos casos superior, a la de los ammonites y foraminíferos planctónicos asociados a ellos.

Esta gran utilidad bioestratigráfica está también en función de su amplia repartición geográfica. De tal forma que el 75 por 100 de las especies de inocerámidos poseen una distribución intercontinental, y que excede a la de muchos otros macrofósiles cretácicos. Asimismo, parece que su dispersión ha sido geológicamente instantánea, y tan rápida como la de otros grupos fósiles. La extensa repartición geográfica la explica KAUFFMAN (1975) en base a la hipótesis de un largo estado larvario planctónico, similar al del actual *Mytilus edulis* Linne.

HAYAMI (1969) ya puso de manifiesto que la morfología de la concha de gran parte de los ino-

cerámidos, y su asociación con otros restos fósiles, indican un modo de vida pseudoplanctónico, especialmente en el estadio inmaduro. Para ello se basa en que bastantes individuos de *Parainoceramus dubius* (Sowerby) del Jurásico Inferior, «Posidonienschiefer», de Holzmaden, han sido encontrados adheridos a la superficie de restos de madera. Asimismo, puesto que especies de *Inoceramus* del Jurásico y Cretácico son morfológicamente similares a *Parainoceramus* del Jurásico Inferior, considera que su modo de vida, en estos estadios, habría sido similar al de *Parainoceramus*. La teoría referente a un modo de vida pseudoplanctónico también está apoyada por TANABE (1983), que encontró ejemplares de *Pseudomytiloides matsumotoi* (Hayami) del Jurásico Inferior de Japón adheridos a restos de madera y a ammonites.

SKELTON et al. (en prensa) realizan un análisis preliminar de la distribución paleolatitudinal de los inocerámidos, observando un número mucho mayor de especies en el Hemisferio Norte que en el Sur, motivado en parte por la menor información existente en el Hemisferio Sur. Por otra parte, KAUFFMAN (1977 a) considera que la familia Inoceramidae se habría originado inicialmente en los mares boreales, siendo secundaria en el Tethys; y, para ello, se apoya en que la mayor parte de las especies del Hemisferio Sur y de las latitudes altas del Hemisferio Norte son endémicas. Asimismo, SKELTON et al. (en prensa) observan que la distribución paleolatitudinal de las especies de inocerámidos en el Hemisferio Norte es variable, así mientras que en el Hauteriviense el mayor número de especies se sitúa en latitudes altas (60°-90°), en el Cenomaniense se localiza en latitudes medias (30°-60°). Por otra parte, como ya se ha dicho anteriormente, los inocerámidos del Hemisferio Sur son mucho menos conocidos, y de éstos los del Albiense son los mejor conocidos, siendo más numerosos en latitudes altas (60°-90°), especialmente en el SE de Australia, Nueva Zelanda y el O del Antártico. Estos mismos autores consideran que ello podría indicar que las radiaciones iniciales de inocerámidos en el Hemisferio Sur estaban concentradas en latitudes altas. Por otra parte, muchos grupos de inocerámidos del Cretácico Superior parecen tener su máximo desarrollo en latitudes altas (DHONDT, 1983) y algunos llegarían a penetrar en los medios carbonatados del Tethys (KAUFFMAN, 1968). Asimismo,

mo, SKELTON et al. (en prensa) observan que otros bivalvos mesozoicos muestran tendencias de desarrollo latitudinal semejante a la de los inocerámidos, como es el caso de los retrocerámidos, buchiidos, algunos oxytómidos (como *Aucellina*) y algunos ostreídos.

Las especies de inocerámidos fueron epifaunas e infaunas, la mayoría se situarían relativamente verticales con respecto al sustrato, especialmente en los sedimentos de grano más o menos grueso, a partir de un bisus, y alimentándose selectivamente del material en suspensión. La estrategia alimentaria y su habitat (preferentemente la plataforma continental) deben haber sido de los principales factores que propiciaron su rápida evolución, puesto que han sido organismos que han estado sometidos a un gran stress, debido principalmente a los bruscos cambios ambientales registrados en su habitat. Con lo que forman parte del grupo de bivalvos que han mostrado una mayor diversidad morfológica.

El miembro más relevante de esta familia es el género *Inoceramus* Sowerby, 1814, y a él se debe la gran importancia bioestratigráfica de toda la familia. Se le ha atribuido un número considerable de especies y subespecies, unas 500 según ALIEV (1958) o 700 según VOUTE (1951 a). Un buen número de éstas caerían dentro de una confusa sinonimia, uno de cuyos motivos, ya aducidos por SORNAY (1966), radicaría en las diversas opiniones de los autores con respecto a la variabilidad de la especie dentro del género *Inoceramus*.

En buena parte de Europa, Estados Unidos y Japón se han realizado amplios estudios sobre la fauna de inocerámidos, obteniéndose muy buenos resultados, especialmente desde el punto de vista bioestratigráfico. Entre estos trabajos destacan los de IVANNIKOV (1979), KAUFFMAN (1965-85), MATSUMOTO (1957-89), NODA (1975-88), PERGAMENT (1977-82), SEITZ (1921-70), SORNAY (1957-86) y TROGER (1967-89), que han permitido realizar zonaciones precisas en diversas regiones, como el norte de Alemania, Francia, Inglaterra, la Plataforma Rusa, las costas del Pacífico de los EE. UU. y la URSS y Japón. Estas zonaciones son en muchos casos más precisas o semejantes a las de ammonites, y en muchas regiones, como la Plataforma Rusa, son las zonaciones más precisas.

TECNICAS DE ESTUDIO DE LOS INOCERAMIDOS

Los autores de los últimos 150 años han subdividido repetidamente las amplias series de especies conocidas de *Inoceramus* según criterios morfológicos, filogenéticos u otros, como sería el caso de la creación del género/subgénero *Mytiloides* por BRONGNIART (1822). El primer autor en realizar una clasificación y subdivisión de los inocerámidos fue HEINZ (1932 c), el resultado de su trabajo fue bastante confuso debido a que la nomenclatura que utilizó no se regía por las normas del CINZ, con lo que la mayoría de los taxones que creó son *nomen nudum*. Los estudios sistemáticos posteriores de SEITZ (1961-70), COX (1969), SORNAY (1966-1985) y KAUFFMAN (1977 a) aplicaron los mejores elementos de los trabajos de HEINZ, redefiniendo o definiendo su taxonomía de acuerdo con las normas del CINZ.

HEINZ ideó un método que se basaba en fundamentar las descripciones de las especies sobre los caracteres combinados de las líneas de crecimiento y los otros elementos de ornamentación (ondulaciones y costillas). Las ideas que dieron origen a este método ya habían empezado a ser aplicadas por SCHLÜTER (1877) y BÖHM (1912), que utilizaron los caracteres de las líneas de crecimiento para la determinación específica. Pero HEINZ alcanzó un grado de detalle en el estudio de la morfología al que no habían llegado los autores anteriores. HEINZ creó una terminología con que designar a los elementos de ornamentación, con lo que se simplificaban las descripciones. Esta terminología fue parcialmente latinizada, a partir de la nomenclatura original en alemán, por SORNAY (1966). La principal crítica a los trabajos de HEINZ radica en el hecho de que para la clasificación del género *Inoceramus* (en 2 familias, 24 subfamilias y un gran número de géneros), admitió una constancia en la ornamentación específica que no posee ningún otro género de lamelibranquio.

Posteriormente, SEITZ (1934) estudió un material suficientemente abundante, sobre el que pudo constatar que la ornamentación es un carácter extremadamente variable, mientras que por el contrario la forma general de la concha es más importante al ser mucho más estable. Las modificaciones de las líneas de crecimiento durante la ontogenia condicionan la forma general. El método de SEITZ se fundamentaba en represen-

tar gráficamente estas modificaciones, de tal manera que los individuos se podían comparar entre sí de una forma más objetiva y precisa que según el método de HEINZ. No obstante, SEITZ tiene en consideración la ornamentación, aun cuando su método se basa en la forma general.

SORNAY (1966) comparó la utilidad de ambos métodos, llegando a la conclusión de que la mayor exactitud de uno u otro método depende del estado de conservación y de la abundancia del material estudiado. Así, los elementos de ornamentación de HEINZ se tenían que definir sobre un ejemplar provisto de su concha, mientras que los parámetros de SEITZ podrían ser medidos sobre un molde interno desprovisto de su concha, aunque el ejemplar ha de estar bastante entero, lo que no es necesario para el estudio de los elementos de HEINZ. De todas formas, el examen de una única gráfica del método de SEITZ suele ser insuficiente, al igual que el estudio de los ejemplares deformados, ya que en este último caso los resultados obtenidos son susceptibles de poseer un grado de error difícil de evaluar.

METODOLOGIA EMPLEADA

En las nueve campañas de campo realizadas con motivo de esta tesis, se ha llevado a cabo la situación, en series detalladas, de los yacimientos ya citados en la literatura, y de los nuevos descubiertos durante estas campañas. Procediéndose a la recogida sistemática de los ejemplares de inocerámidos hallados en ellos.

Durante la realización de este trabajo se han estudiado alrededor de 1.500 ejemplares. Todos ellos se encuentran registrados y depositados en las colecciones de la Unidad de Paleontología del Departamento de Geología de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Previamente al estudio sistemático de los ejemplares, se procedió a su catalogación y limpieza (tanto mediante detergentes como mediante un desgangador neumático). Frecuentemente, debido al estado de los ejemplares se debió proceder a su reconstrucción, mediante distintos tipos de adherentes.

Para el estudio de los caracteres morfológicos se han medido las dimensiones lineales (en mm.)

por medio de un calibrador, mientras que los valores de los ángulos se han obtenido mediante un goniómetro de aplicación. Asimismo, se ha observado el contorno de los márgenes anterior (a), posterior (p), dorsal (d) y ventral (v), la forma del umbo, las características de las aristas de la concha (fig. 6), denominadas K1, K2 y K3, conservando la nomenclatura procedente del término alemán *Schalenkante*, el tipo de ornamentación (fig. 7) y el crecimiento de las ondulaciones (fig. 8).

Las dimensiones generales utilizadas son las siguientes:

- h: Altura máxima.
- l: Longitud máxima.
- HA: Dimensión máxima en el sentido del eje de crecimiento.
- NA: Dimensión máxima perpendicular al eje de crecimiento.

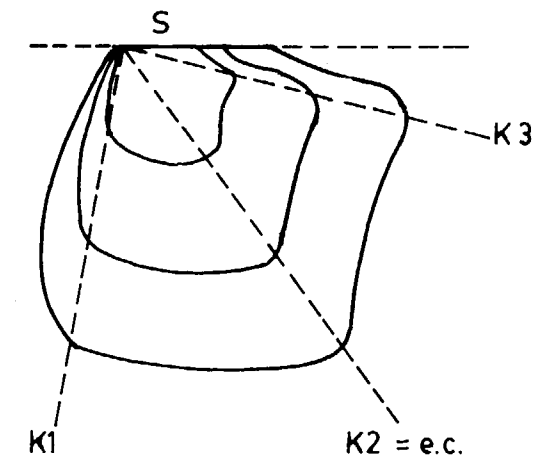


Figura 6.—Situación de las aristas de la concha, modificado de SEITZ (1970).

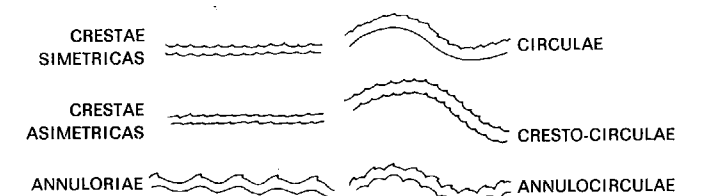


Figura 7.—Tipos de ornamentación de la concha de los inocerámidos, modificado de SORNAY (1966).

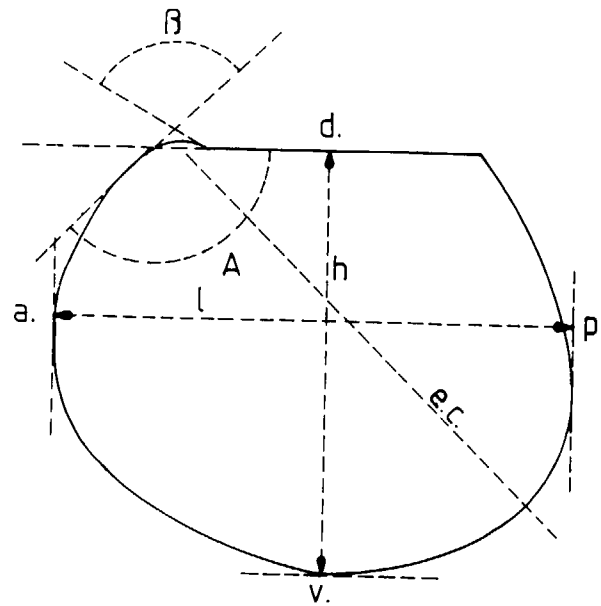


Figura 8.—Dimensiones generales, según LOPEZ (1986 a, 1986 b).

- S: Dimensión máxima de la zona de charnela.
- B: Máximo abombamiento de la valva.
- A: Angulo entre la zona de charnela y el margen anterior.
- β : Angulo umbonal.

Las dimensiones de los ejemplares se exponen dentro del apartado de descripción. Ocasionalmente detrás del número del ejemplar se sitúa un símbolo, que ofrece la siguiente información:

- *: Indica que el ejemplar está en bastante mal estado, por lo que sus dimensiones deben considerarse como meramente orientativas.
- d: Indica que las dimensiones corresponden a la valva derecha de un ejemplar que muestra las dos valvas.
- i: Indica que las dimensiones corresponden a la valva izquierda de un ejemplar que muestra las dos valvas.
- a, b: Identifica a las distintas valvas de una pieza que presenta varias valvas (a, b, ...), que pueden corresponder a individuos distin-

tos o iguales y que, debido a su estado, no se ha podido separar una valva de la otra.

Las dimensiones de los ejemplares que corresponden a fragmentos en muy mal estado y/o muy incompletos no se han expuesto en este trabajo, ya que no aportan ninguna información de interés.

Para el estudio de los contramoldes internos se han realizado moldes en escayola.

Asimismo, para la realización de fotografías y el estudio de la ornamentación se ha procedido al blanqueo de los ejemplares mediante NH_4Cl .

En los ejemplares no deformados y enteros se ha aplicado el método de SEITZ, utilizándose las siguientes dimensiones (fig. 9):

- H: Altura de una línea de crecimiento. Es la mayor distancia entre el umbo y esta línea.
- L: Longitud de una línea de crecimiento. Es la mayor dimensión medida perpendicularmente a H.

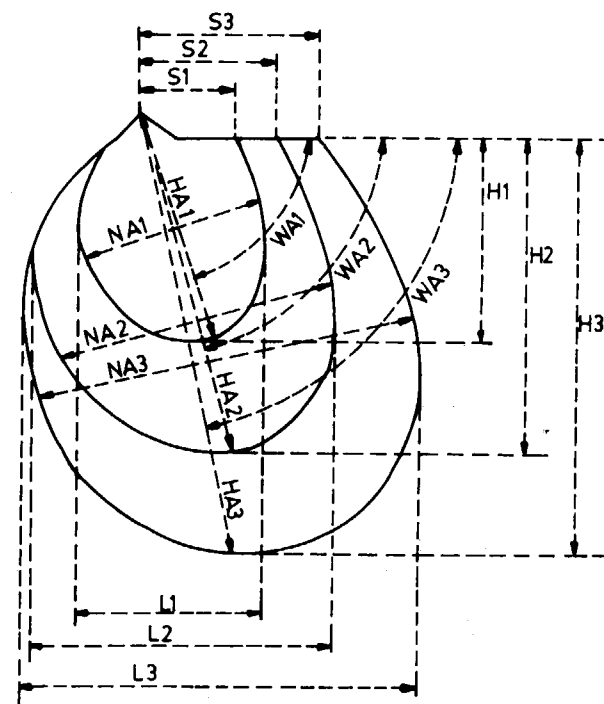


Figura 9.—Dimensiones utilizadas en la realización de las gráficas de variación ontogénica (modificado y compilado de LOPEZ, 1986 a; SEITZ, 1961, y SORNAY, 1966).

- HA: *Hauptachse*. Es la distancia existente entre el umbo y la intersección del eje de crecimiento con la línea de crecimiento.
- NA: *Nebenachse*. Es la mayor distancia perpendicular a HA para cada línea de crecimiento.
- S: *Schloßrand*. Es la distancia entre el umbo y la intersección de cada línea de crecimiento con la línea de charnela.
- WA: *Wachstumachse*. Angulo entre la línea de charnela y el eje de crecimiento, para cada línea de crecimiento.

Este método se basa en que cada línea de crecimiento indica la forma del contorno de la valva en el estadio de crecimiento correspondiente a esta línea. Así, se han de medir los valores (L1, L2, ...; H1, H2, ...; HA1, HA2, ...; NA1, NA2, ...; S1, S2, ...; WA1, WA2, ...) de L, H, HA, NA, S y WA para un buen número de líneas de crecimiento, de tal modo que cuanto mayor sea el número de datos muestreados, mayor será la fiabilidad de la gráfica resultante.

De esta forma, se construirá una gráfica, en la que se situarían en abcisas los valores de H o HA, y en ordenadas los del porcentaje de L/H, NA/HA, S/HA y WA. Con lo que se obtendrá una curva que mostrará las deformaciones de las líneas de crecimiento, es decir, las del perfil de la concha durante la ontogenia.

Las gráficas han sido dibujadas en ordenador Olivetti PC M240 mediante el programa HARDWARE GRAPHICS.

Las siguientes abreviaturas han sido utilizadas para indicar la ubicación de los ejemplares mencionados en el presente trabajo:

- Sin sigla: Colecciones de la Unidad de Paleontología, del Departamento de Geología, de la Universidad Autónoma de Barcelona.
- BM (NH): British Museum (Natural History), London (G. B.).
- CMD: Collerie's Museum, Dover (G. B.).
- MPG: Museum of Practical Geology (G. B.).
- NLFb: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover (R. F. A.).

- USNM: United States National Museum, Smithsonian Institution, Washington D. C. (EE. UU.).

El estudio de la nomenclatura de las especies se ha realizado siguiendo las normas del Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (CINZ). Y en lo referente a las normas de nomenclatura abierta, se han seguido las propuestas de MATHEWS (1973).

Clase BIVALVIA Linne, 1758
Subclase PTERIOMORPHA Beurlen, 1944
Orden PTERIOIDA Newell, 1965
Superfamilia PTERIACEA Gray, 1847
Familia INOCERAMIDAE Giebel, 1852
Género *Inoceramus* Sowerby, 1814

Especie tipo

Inoceramus cuvierii Sowerby, 1814, por monotipia (ver COX, 1955, pp. 243-245, y 1969, p. N315).

Diagnosis

De equivalvo a inequivalvo, en muchas especies la valva izquierda es mayor y está más abombada. De tamaño pequeño a muy grande, oscila desde unos pocos centímetros a casi dos metros, siendo uno de los mayores bivalvos que han existido. Concha desde típicamente subrecta a moderadamente prosoclinal. Margen anterior generalmente ancho, variando de plano a muy abombado, dando lugar a un fuerte salto de la concha sobre la línea de comisura. Ala posterodorsal presente en muchas especies, siendo de tamaño variable y forma triangular, pudiendo estar separada del resto de la valva por surcos auriculares. En muchas especies se presenta un surco o un área posteroventral aplanada. Perfil circular, subcuadrado, ovalado o romboidal. Umbo prosogiro, algo abombado y variablemente sobresaliente.

La concha consta de una capa externa prismática y delgada, y de una capa interna nacarada; generalmente, la concha es delgada, excepto en la zona de charnela, en donde es moderada o muy gruesa (especialmente la capa prismática), estando plegada a todo lo largo de esta zona. Charnela disodonta, ligamento multivincular, formado por numerosas foseas estrechas, moderadamente excavadas y alargadas verticalmente, estando

separadas entre sí por elevaciones redondeadas y estrechas. Comisura generalmente lisa, aunque algo ondulada en contadas especies. Anisomiarrio, integripaleal.

La ornamentación está formada por ondulaciones débiles a muy fuertemente marcadas, normalmente de desarrollo y espaciado irregular. Las ondulaciones y las líneas de crecimiento dan lugar a numerosas morfologías distintas (fig. 7). En algunas especies se desarrollan costillas divergentes de prominencia variable.

Discusión

El nombre genérico *Inoceramus* fue propuesto por primera vez por SOWERBY en un trabajo presentado en la «Linnean Society of London» el 1 de noviembre de 1814, aunque no fue publicado hasta 1822. De todas formas, COX (1955) apunta la posibilidad de que en realidad hubiese sido publicado en 1823, basándose en que la biblioteca de la Geological Society no lo recibió hasta el 19 de abril de 1823.

SOWERBY estudió una serie de conchas fósiles frecuentes en el «Chalk», fragmentos de las cuales ya habían sido observados por CUVIER y BRONGNIART en el Chalk cercano a París. Ambos autores los consideraron, a partir de su estructura fibrosa, como fragmentos de *Pinna*, creyendo que por su anchura debían de ser de gran tamaño. SOWERBY aseguró que debía tratarse de un nuevo género, tomando como base la comparación con otras especies de bivalvos y el que su charnela mostrase una estructura característica. A este nuevo género lo denominó *Inoceramus*, y a su única especie la denominó *cuvierii*. De acuerdo con COX (1955), y puesto que *Inoceramus cuvierii* Sowerby era la única especie citada por SOWERBY cuando publicó el nombre genérico *Inoceramus*, ésta sería la especie tipo por monotipo, cumpliendo así las normas del CINZ. Reemplazaba así a la designación de *Inoceramus Lamarcki* Parkinson como especie tipo, que había realizado el propio COX en 1928. De todas formas, esto no llevó implícito un cambio en el concepto de género, puesto que ambas especies eran cogenéricas.

La gran mayoría de los nombres genéricos y específicos publicados por HEINZ (1932) son *nomen nudum*, ya que no cumplen los requisitos del

CINZ como publicación, especialmente en lo referente a la descripción del taxón y a la designación de especie tipo. A pesar de ello, algunos de estos términos fueron utilizados posteriormente por el propio HEINZ y por otros autores; de tal forma que varios de estos autores dieron la diagnosis y designaron la especie tipo, con lo que otorgaron validez a algunas de las especies.

KAUFFMAN y POWELL (1977) propusieron una taxonomía multigenérica para la familia, semejante a la ya propuesta por COX (1969). Su taxonomía consistía en elevar a la categoría genérica a la mayoría de los subgéneros existentes, y diagnosticarlos a partir de los caracteres internos de la concha (musculatura y ligamentos). El principal inconveniente de su sistema radica en que estos caracteres internos no suelen ser observables. Esto queda de manifiesto al no haber podido ser identificados en ninguno de los numerosos ejemplares estudiados en el presente trabajo, así como tampoco en la gran mayoría de los ejemplares del NLFb, que están conservados tanto en molde como en concha original, y ocasionalmente sin ganga incrustante.

Algunos autores han aceptado elevar a los subgéneros a la categoría genérica, mientras que otros, como TROGER (1989), han seguido utilizando la nomenclatura subgenérica. Por su parte, MATSUMOTO y NODA (1985) consideran únicamente como géneros independientes a *Mytiloides* Brongniart y a *Sphenoceramus* Böhm.

En el presente trabajo se sigue la nomenclatura subgenérica, incluso para *Mytiloides* y *Sphenoceramus*, ya que al considerar la gran homogeneidad de formas que presenta el género *Inoceramus*, se impone la necesidad de realizar una revisión mucho más profunda de sus relaciones filogenéticas completas, así como de establecer las diagnosis en base a características más comúnmente observables. Por ello, no parece conveniente considerar a *Mytiloides* y a *Sphenoceramus* como géneros independientes, sin clarificar suficientemente su relación con otros grupos de inocerámidos.

Distribución

Este género presenta una distribución biogeográfica cosmopolita, y según COX (1969, p. N315) ha sido reconocido desde el Jurásico Inferior

(Lías) hasta el Cretácico Superior (Maastrichtense).

Subgénero *Inoceramus* Sowerby, 1814

Especie tipo

La misma que para el género *Inoceramus* Sowerby, 1814.

Diagnosis

Equivalvo a ligeramente inequivalvo. Tamaño mediano a grande, débil a moderadamente abombado y altura mayor que la longitud ($H > L$). Eje de crecimiento poco o ligeramente oblicuo y margen anterior no muy convexo; ala posterodorsal presente, más o menos plana, y en algunas especies bien diferenciada del resto de la valva. Umbo ocasionalmente más prominente en la valva izquierda. Ondulaciones concéntricas variablemente desarrolladas (diagnosis modificada de COX, 1969, p. N315).

Discusión

Algunas especies, como *Inoceramus rotundatus* Fiege, presentan diferencias suficientes respecto del subgénero *Inoceramus* (*Inoceramus*) como para poderlas atribuir a un nuevo subgénero. La opinión de varios autores, como KAUFFMAN (1979) y MATSUMOTO y NODA (1985) es que este presunto subgénero nuevo podría establecerse filogenéticamente entre *I.* (*Inoceramus*) e *I.* (*Cremnoceramus*).

Distribución

Este subgénero presenta una distribución biogeográfica cosmopolita, y según COX (1969, p. N315) ha sido reconocido desde el Jurásico Inferior (Lías) hasta el Cretácico Superior (Maastrichtense).

Inoceramus (*Inoceramus*) *cuvierii* Sowerby, 1814
Lámina 1, figura 1

- * 1814 *Inoceramus cuvierii*; Sowerby, p. 448.
- v. 1822 *INOCERAMUS cuvierii*; Sowerby, p. 457, lám. 25, figs. 2 y 3.

- vn. 1822 *Inoceramus cuvieri* Mant.; Mantell, p. 213, lám. 18, fig. 4.
- v. 1823 *INOCERAMUS cuvierii*; Sowerby, pp. 59-60, lám. 441, fig. 1.
- vn. 1834-40 *Inoceramus cuvieri* MANT.; Goldfuss, lám. 111, fig. 1a.
- vn. 1834-40 *Inoceramus cuvieri* SOW.; Goldfuss, lám. 111, fig. 10.
- vp. 1904-13 *I. lamarcki* var. *Cuvierii* SOW.; Woods, p. 320, sólo fig. text. 73 (no fig. text. 74-84), lám. 53, fig. 7.
- n 1911 *Inoceramus Cuvieri* Sow.; Andert, pp. 44-45, lám. 2, fig. 2.
- 1912 *I. lamarcki* var. *cuvieri* SOW.; Woods, p. 7, figs. text. 40 y 41.
- p 1932 *Inoceramus* (*Aristoceramus*) *boehmi* HEINZ; Wolansky, p. 28, lám. 5, sólo fig. 3 (no fig. 7).
- 1955 *Inoceramus cuvierii* Sowerby (J.), 1814; Cox, pp. 241-245.
- . 1959 *Inoceramus cuvieri* Sowerby; Dobrov y Pavlova, p. 144, lám. 2, fig. 3.
- . 1962 *Inoceramus cuvieri* Sowerby; Hattin, lám. 15, figs. A, B y D.
- ? 1967 *Inoceramus brevealatus* n. sp.; Tröger, pp. 70-72, lám. 6, figs. 4 y 5.
- n. 1969 *I. (I.) cuvierii*; Cox, p. N315, fig. C46. 1a y 1b.
- ? 1971 *Inoceramus cuvieri cuvieri* Sowerby; Pergament, pp. 47-50, lám. 1, figs. 1 y 4, lám. 2, figs. 2 y 3, lám. 3, figs. 2 y 3.
- . 1977 *Inoceramus* (*Inoceramus*) *cuvieri* Sowerby; Kauffman, lám. 7, figs. 1 y 2.
- . 1978 *Inoceramus cuvieri* Sowerby; Efreanova, pp. 84-85, lám. 1, figs. 2 y 3.
- 1978a *Inoceramus cuvieri* (weakly rugate variety); Kauffman, p. XIII, lám. 4, figura 6.
- * 1978 *Inoceramus* (*Inoceramus*) *cuvieri* Sowerby; Kauffman et al., p. XXIII, a, lám. 6, figs. 1 y 2 (figs. 6 y 11 cambiadas).

- n 1981 *Inoceramus (Inoceramus) cuvieri* Sowerby, 1822; Tzankov, pp. 84-85, lám. 29, fig. 1, lám. 30, fig. 2.
- * 1981 *Inoceramus cuvieri* J. Sowerby; Coban, p. 6.
- v. 1982 *Inoceramus cuvieri* SOWERBY, 1814; Keller, pp. 89-92, lám. 4, fig. 3 y lám. 5, fig. 3.
- ? 1982 *Inoceramus cuvieri* SOW.; Zazvorka, lám. 1, fig. 4.

Tipo:

El lectotipo, por designación de WOODS (1904-13, p. 315) es el ejemplar BM(NH) 43264, figurado por SOWERBY (1822, lám. 25, figs. 2 y 3) y refigurado por SOWERBY (1823, lám. 441, fig. 1) y por WOODS (1904-13, fig. text. 73). Procede, según WOODS (1904-13), de la Zona de «*Terebratulina lata* (Cretácico Medio)», de Royston (Inglaterra).

Número	h	l	HA _t
40672	36,5	22,3	34,6

La valva está algo abombada, especialmente alrededor del eje de crecimiento. El margen dorsal no se ha conservado. El margen anterior es cóncavo con respecto al exterior de la valva, y es algo plano en los estadios posteriores. El salto de la concha está muy marcado en los esta-

Diagnosis:

Inequivalvo e inequilateral (valva derecha menos abombada que la izquierda) y tamaño mediano (H máxima de hasta 90,0 mm.). Débilmente abombado (B máxima de hasta 21,0 mm.), tan sólo el umbo lo está fuertemente. Ala posterodorsal pequeña. Perfil y ondulaciones ovalados y de curvatura recta (diagnosis según KELLER, 1982, p. 90).

Material:

Se ha estudiado un único ejemplar, que corresponde al molde interno de una valva izquierda (núm. 40672).

Descripción:

Esta valva es de tamaño mediano y presenta las siguientes dimensiones totales:

NA _t	S _t	B	A	β
22,5	—	12,5	—	—

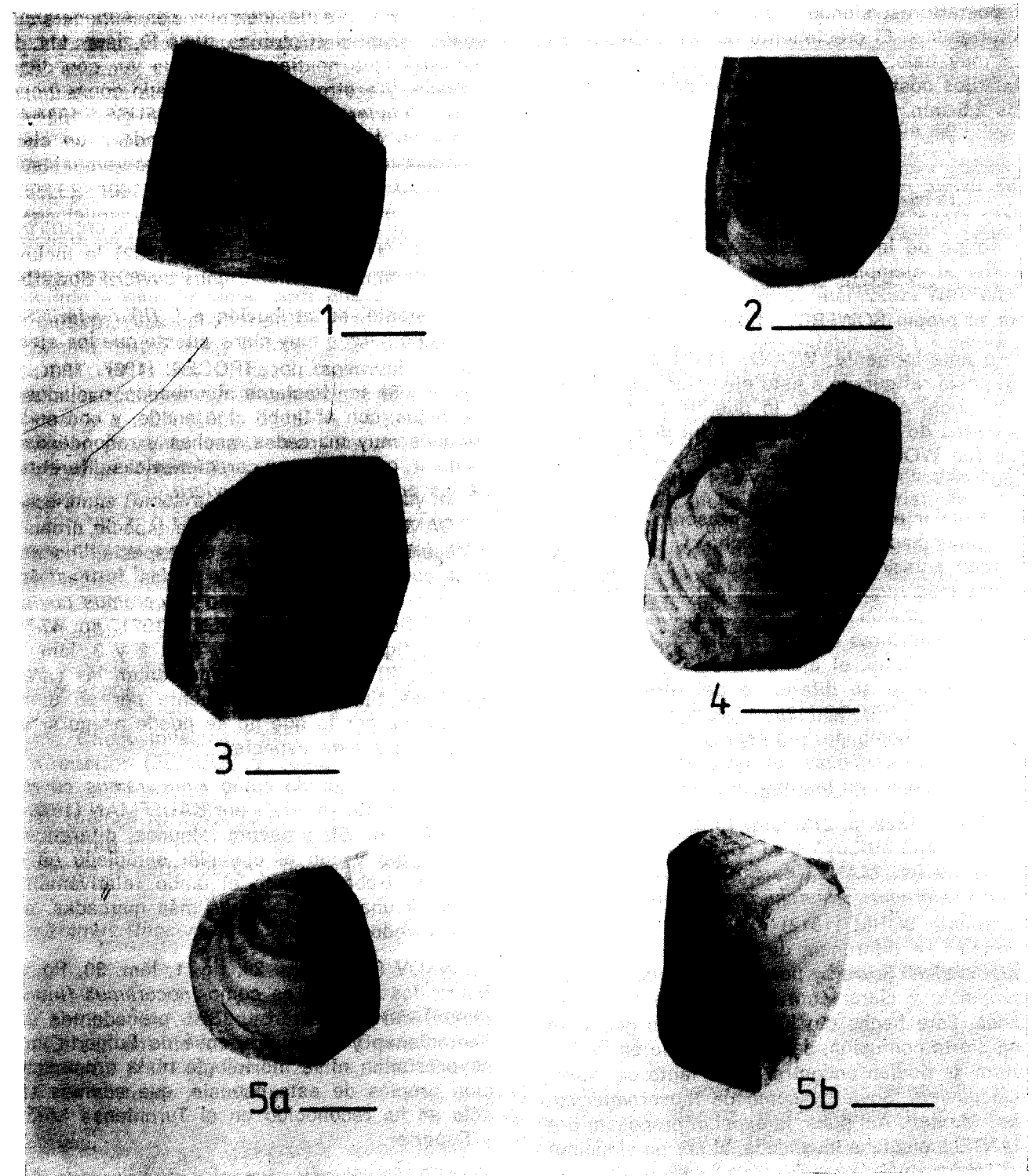
dios iniciales e intermedios del margen anterior. El perfil de la concha es ovalado. El umbo no es prominente y es pequeño y prosogiro.

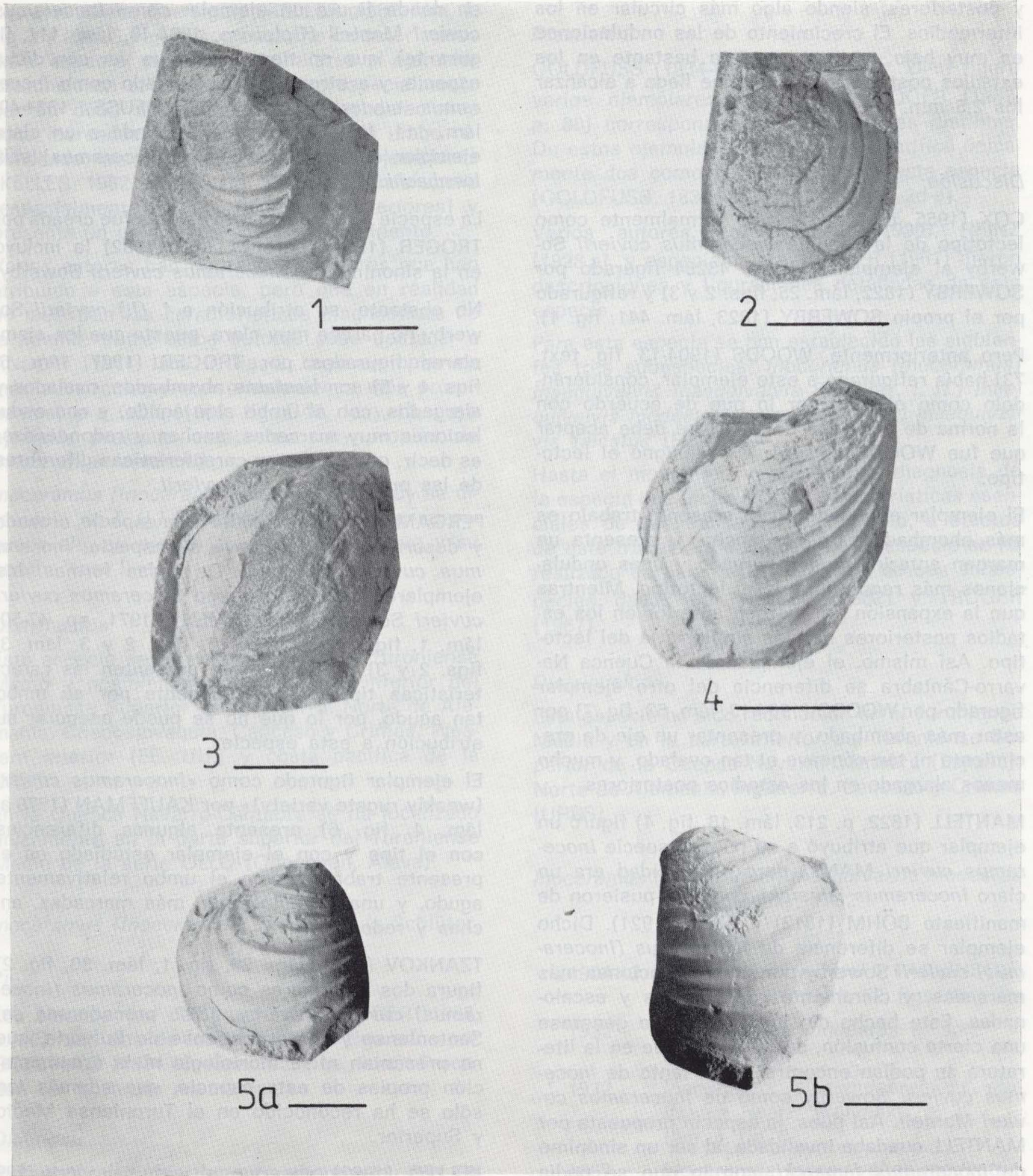
Las ondulaciones son numerosas, muy estrechas, redondeadas y casi sin valle entre ellas. En los estadios intermedios y posteriores se aprecian

LAMINA 1

- Figura 1.—*Inoceramus (Inoceramus) cuvieri* Sowerby, 1814. Valva izquierda. Nivel 7 de la serie OLLO (Ollogoyen, Navarra). Ejemplar 40672.
- Figura 2.—*Inoceramus (Inoceramus) latus* Mantell, 1822. Valva izquierda. Nivel 19 de la serie CU (Cueva, Burgos). Ejemplar 40722.
- Figura 3.—*Inoceramus (Inoceramus) inaequalvis modestus* Heinz, 1932. Valva derecha. Nivel 3 de la serie OLB (Ollogoyen, Navarra). Ejemplar 40877.
- Figura 4.—*Inoceramus (Inoceramus?) frechi* Flegel, 1904. Valva derecha. Nivel 17b de la serie CU (Cueva, Burgos). Ejemplar 40716.
- Figura 5a.—*Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti* Heinz, 1928. Valva izquierda. Nivel 92 de la serie Izurdiaga (Izurdiaga, Navarra). Ejemplar 40359.
- Figura 5b.—*Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti* Heinz, 1928. Valva derecha. Nivel 92 de la serie Izurdiaga (Izurdiaga, Navarra). Ejemplar 40359.

En todas las láminas la escala gráfica corresponde a 1 cm. Todos los ejemplares han sido blanqueados mediante NH₄Cl, y se encuentran depositados en las colecciones de la Unitat de Paleontologia del Departament de Geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona.





marcadas *annulocirculae*. La curvatura de las ondulaciones es ovalada en los estadios iniciales y posteriores, siendo algo más circular en los intermedios. El crecimiento de las ondulaciones es muy bajo, aunque aumenta bastante en los estadios posteriores, en los que llega a alcanzar los 2,5 mm.

Discusión:

COX (1955, p. 242) designó formalmente como lectotipo de la especie *Inoceramus cuvierii* Sowerby al ejemplar BM(NH) 43264 figurado por SOWERBY (1822, lám. 25, figs. 2 y 3) y refigurado por el propio SOWERBY (1823, lám. 441, fig. 1).

Pero anteriormente, WOODS (1904-13, fig. text. 73) había refigurado a este ejemplar, considerándolo como el tipo, por lo que de acuerdo con la norma de prioridad del CINZ se debe aceptar que fue WOODS el autor que designó el lectotipo.

El ejemplar estudiado en el presente trabajo es más abombado y menos ancho, y presenta un margen anterior menos curvado y unas ondulaciones más regulares que el lectotipo. Mientras que la expansión del margen anterior en los estadios posteriores es más similar a la del lectotipo. Así mismo, el ejemplar de la Cuenca Navarro-Cántabra se diferencia del otro ejemplar figurado por WOODS (1904-13, lám. 53, fig. 7) por estar más abombado, y presentar un eje de crecimiento ni tan cóncavo ni tan ovalado, y mucho menos alargado en los estadios posteriores.

MANTELL (1822, p. 213, lám. 18, fig. 4) figuró un ejemplar que atribuyó a su nueva especie *Inoceramus cuvieri* MANT., pero en realidad era un claro *Inoceramus lamarcki*, como ya pusieron de manifiesto BÖHM (1812) y SEITZ (1921). Dicho ejemplar se diferencia de *Inoceramus (Inoceramus) cuvierii* Sowerby por sus ondulaciones más marcadas, y claramente redondeadas y escalonadas. Este hecho dio lugar a que se generase una cierta confusión, de tal forma que en la literatura se podían encontrar citas tanto de *Inoceramus cuvierii* Sowerby como de *Inoceramus cuvieri* Mantell. Así pues, la especie propuesta por MANTELL quedaba invalidada, al ser un sinónimo de *Inoceramus lamarcki*, con lo que se podía utilizar el nombre propuesto por SOWERBY para su especie, como ya discute COX (1955).

Un ilustrativo ejemplo de esta confusión se puede observar en el trabajo de GOLDFUSS (1834-40), en donde figura un ejemplar como *Inoceramus cuvieri* Mantell (Goldfuss, 1834-40, lám. 111, figura 1a), que no tiene nada que ver con dicha especie, y a otro ejemplar figurado como *Inoceramus cuvieri* Sowerby (GOLDFUSS, 1834-40, lám. 111, fig. 10), que corresponde a un claro ejemplar de *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi*.

La especie *Inoceramus brevealatus* fue creada por TRÖGER (1967), pero KELLER (1982) la incluyó en la sinonimia de *Inoceramus cuvierii* Sowerby.

No obstante, su atribución a *I. (I.) cuvierii* Sowerby no parece muy clara, puesto que los ejemplares figurados por TRÖGER (1967, lám. 6, figs. 4 y 5) son bastante abombados, ovalados y alargados, con el umbo algo agudo, y con ondulaciones muy marcadas, anchas y redondeadas; es decir, que muestran características diferentes de las propias de *I. (I.) cuvierii*.

PERGAMENT (1971) estudió esta especie, creando y describiendo una nueva subespecie, *Inoceramus cuvieri seabensis*. De todas formas, los ejemplares que figuró como *Inoceramus cuvieri cuvieri* Sowerby (PERGAMENT, 1971, pp. 47-50, lám. 1, figs. 1 y 4, lám. 2, figs. 2 y 3, lám. 3, figs. 2 y 3) no parece que presenten las características típicas, especialmente por su umbo tan agudo, por lo que no se puede asegurar su atribución a esta especie.

El ejemplar figurado como «*Inoceramus cuvieri* (weakly rugate variety)» por KAUFFMAN (1978 a, lám. 4, fig. 6) presenta algunas diferencias con el tipo y con el ejemplar estudiado en el presente trabajo, como el umbo relativamente agudo, y unas ondulaciones más marcadas, anchas y redondeadas.

TZANKOV (1981, lám. 29, fig. 1, lám. 30, fig. 2) figura dos ejemplares como *Inoceramus (Inoceramus) cuvieri* Sowerby, 1822, procedentes del Santoniense y Maastrichtiense de Bulgaria, que no presentan ni la morfología ni la ornamentación propias de esta especie, que además tan sólo se ha reconocido en el Turoniense Medio y Superior.

KELLER (1982) observa, al estudiar unos 129 ejemplares, una cierta evolución en esta especie, de tal manera que las formas del Turoniense Me-

dio son más pequeñas y lisas que las del Turoniense Superior, en las que aparecen *circulae*. Los ejemplares que figura (KELLER, 1982, lám. 4, fig. 3 y lám. 5, fig. 3) son bastante característicos de la especie, siendo muy similares al ejemplar estudiado en el presente trabajo, especialmente por su débil abombamiento, sus ondulaciones poco marcadas y poco ovaladas y su umbo redondeado; no obstante, uno de sus ejemplares (KELLER, 1982, lám. 4, fig. 3) es algo más ancho (especialmente en los estadios posteriores) y presenta un umbo más ancho y prominente.

Varios autores han figurado ejemplares que han atribuido a esta especie, pero que en realidad no muestran las características diagnósticas de la misma; entre estos autores cabe destacar a ANDERT (1911, lám. 2, fig. 2, cuyo ejemplar es más subcircular y con ondulaciones más prominentes) y a COX (1969, fig. C46. 1a y 1b, cuyo ejemplar presenta caracteres muy propios de *Inoceramus lamarcki*).

Inoceramus (Inoceramus) cuvierii Sowerby se diferencia de *I. (I.) lamarcki* Parkinson por su pequeña ala, su eje de crecimiento cóncavo y su concha casi lisa.

Distribución:

Esta especie se ha reconocido en el Turoniense Medio y posiblemente en la parte inferior del Turoniense Superior de Inglaterra, Norte de Alemania, Checoslovaquia, Cáucaso y Crimea, Western Interior (EE. UU.) y costa pacífica de la URSS.

En la Cuenca Navarro-Cántabra se ha localizado únicamente en la parte superior del Turoniense Medio de la serie OLLO (Ollogoyen, Alava).

Inoceramus (Inoceramus) inaequivalvis Schlüter, 1877

Tipo:

Los sintipos, por designación de TRÖGER (1987, p. 80), son dos de los ejemplares figurados por GOLDFUSS (1834-40, lám. 112, figs. 2d-e). Proceden del norte de Alemania.

Diagnosis:

Inequilateral y fuertemente abombado, con un umbo sobresaliente, un ángulo β bajo y un valor de la relación NA/HA que puede ser relativa-

mente elevado. Presencia de *crestae* simétricas y asimétricas.

Discusión:

GOLDFUSS (1834-40, lám. 112, figs. 2a-e) figuró varios ejemplares, que según TRÖGER (1967, p. 80) correspondían a dos especies distintas. De estos ejemplares, este autor identificó únicamente dos como pertenecientes a esta especie (GOLDFUSS, 1834-40, lám. 112, figs. 2d-e).

Varios autores, como FIEGE (1930), HEINZ (1928 a), y especialmente TRÖGER (1967) dieron descripciones y figuraciones detalladas de esta especie.

Para esta especie se han establecido las siguientes tres subespecies: *Inoceramus (Inoceramus) inaequivalvis inaequivalvis* Schlüter, *I. (I.) inaequivalvis modestus* Wolansky e *I. (I.) inaequivalvis falcatus* (Heinz).

Hasta el momento, no existía una diagnosis de la especie que incluyese las características esenciales de sus subespecies. Por ello, a efectos de este trabajo, la diagnosis de la especie se ha realizado en base a las diagnosis de sus subespecies dadas por KELLER (1982) y TRÖGER (1967).

Distribución:

Esta especie ha sido reconocida en el Turoniense Medio y en la parte inferior del Turoniense Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra (España), Norte de Alemania, Inglaterra, Cáucaso y Crimea (URSS).

Inoceramus (Inoceramus) inaequivalvis modestus Wolansky, 1932

Lám. 1, fig. 3

. 1904-13 *Inoceramus lamarcki* PARKINSON; Woods, p. 311, lám. 52, figs. 6a y 6b.

. 1932 *Inaequivalvis modestus* n. sp.; Heinz, p. 35.

* 1932 *Inoceramus (Inaequiceramus) modestus* Heinz; Wolansky, p. 27, lám. 4, fig. 6.

. 1967 *Inoceramus inaequivalvis modestus* Heinz, 1932; Tröger, pp. 82-84, lám. 7, figs. 7 y 8.

. 1989 *I. (Mytiloides) striatoconcentricus* (GUMBEL); KÜCHLER y ERNST, lám. 4, fig. 1.

Tipo:

El holotipo, por designación original, es el ejemplar CMD 2133 figurado como *Inoceramus lamarcki* por WOODS (1904-13, lám. 52, figs. 6a y 6b). Procede de la «Zona de *Holaster planus*» (según WOODS, 1904-13, p. 307), del Shakespeare's Cliff, Dover (Inglaterra).

Diagnosis:

Caracteres típicos de *Inoceramus inaequalis*,

Número	h	l	HA _t	NA _t	S _t	B	A	β
40877	25,0	19,8	28,5	22,4	11,9	9,1	98°	65°

La valva está muy abombada, pero es muy plana en el área posterodorsal, en donde se delimita un ala de tamaño mediano, bien diferenciada del resto de la valva por el abombamiento. El margen anterior es relativamente recto. El salto de la concha está mucho más marcado en el margen anterior que en los restantes. El perfil de la concha es ovalado, alargado en sentido posteroventral. El umbo es abombado, ancho, algo redondeado y sobresaliente y muy prosogiro.

Las ondulaciones están muy poco marcadas. Se aprecian *crestocirculae*. La curvatura de las ondulaciones es claramente ovalada durante toda la ontogenia. Las ondulaciones son muy estrechas, muy aristas y poco numerosas. Su crecimiento va aumentando progresivamente durante la ontogenia, alcanzando los 2,0 mm. en los estadios posteriores.

Tan sólo se ha podido cuantificar uno de los estadios posteriores de crecimiento, debido al estado de conservación del ejemplar. La relación L en porcentaje de H alcanza el 86 por 100 en este estadio posterior de crecimiento. La relación NA en porcentaje de HA alcanza el 66 por 100 en este estadio posterior de crecimiento. El ángulo WA alcanza los 64° en este estadio posterior de crecimiento.

con un umbo abombado, un valor de la relación NA/HA relativamente elevado y un bajo ángulo A (diagnosis según TRÖGER, 1967, p. 82).

Material:

Se ha estudiado un único ejemplar (núm. 40877), que corresponde al molde interno de una valva derecha.

Descripción:

Esta valva es de tamaño pequeño y presenta las siguientes dimensiones totales:

Discusión:

HEINZ (1932) creó esta subespecie, designando como holotipo a uno de los ejemplares figurados como *Inoceramus lamarcki* por WOODS (1904-13, lám. 52, figs. 6a y 6b), pero sin descripción ni diagnosis, por lo que era *nomen nudum* de acuerdo con las normas del CINZ. El mismo año, WOLANSKI (1932) describió y figuró un ejemplar de esta subespecie, aceptando implícitamente al holotipo propuesto por Heinz (1932). Así, de acuerdo con las normas del CINZ, se debe considerar a WOLANSKY como al autor de la subespecie.

El holotipo (WOODS, 1904-13, lám. 52, figs. 6a y 6b) muestra el gran abombamiento típico, especialmente en la valva izquierda, con un umbo que no es totalmente redondeado, ondulaciones apenas observables, con lo que presenta una ornamentación formada casi únicamente por *crestae*. El ala posterodorsal está bien diferenciada del resto de la valva, y posee unas dimensiones medianas.

El único ejemplar aquí estudiado presenta el gran abombamiento y la típica ornamentación de esta especie, por lo que su atribución a esta especie no ofrece dudas. Este ejemplar es completamente similar al holotipo, con la única salvedad de

que este último presenta el ala posterodorsal conservada.

El ejemplar figurado por WOLANSKY (1932, lám. 4, fig. 6) y refigurado por TRÖGER (1987, lám. 7, fig. 8) está muy abombado, con un umbo muy redondeado y con claras *crestae*, por lo que es muy similar al ejemplar estudiado en el presente trabajo. Coinciden en que ambos no presentan conservada el ala posterodorsal. El otro ejemplar figurado por TRÖGER (1967, lám. 7, fig. 7) está fragmentado, aunque se observa su gran abombamiento y las típicas *crestae* asimétricas; al igual que el ejemplar estudiado en el presente trabajo.

KÜCHLER y ERNST (1984, lám. 4, fig. 1) figuran como *I. (Mytiloides) striatoconcentricus* (GUMBEL) un ejemplar que presenta el gran abombamiento y la ornamentación típicas de *Inoceramus (Inoceramus) inaequalis modestus*, y que es claramente diferenciable de las valvas planas de *I. (Mytiloides?) striatoconcentricus*. El perfil y la ornamentación del ejemplar de KÜCHLER y ERNST (1984, lám. 4, fig. 1) son muy semejantes a los del ejemplar aquí estudiado.

Distribución:

Esta subespecie se ha reconocido en el Turoniense Medio de la Cuenca Navarro-Cántabra (España), Norte de Alemania e Inglaterra.

En la Cuenca Navarro-Cántabra se ha localizado únicamente en la parte superior del Turoniense Medio de la serie OLB (Ollogoyen, Navarra).

- Inoceramus (Inoceramus) latus* Mantell, 1822
Figs. 10-12, lám. 1, fig. 2
- v* 1822 *Inoceramus latus*; MANTELL, p. 216, lám. 27, fig. 10.
- 1829 *INOCERAMUS latus*; Sowerby, p. 159, lám. 582, fig. 1.
- v. 1834-40 *Inoceramus latus* Mant.; Goldfuss, lám. 112, fig. 5.
- ? 1843-47 *Inoceramus latus*, Mantell; Orbigny, pp. 513-514, lám. 408, figs. 1 y 2.
- 1852 *Inoceramus latus*; Roemer, p. 60.
- vp. 1904-13 *Inoceramus Lamarcki* var. Cuvieri

SOW.; Woods, p. 320, sólo figs. text. 75, 76 y 77 (no figs. text. 73, 74, 78-84).

- n 1911 *Inoceramus latus* Mantell.; Andert, pp. 43-44, lám. 4, fig. 4.
- 1912 *Inoceramus latus* MANT.; Böhm, p. 403.
- n 1958 *Inoceramus labiatus* var. *latus* Sowerby, 1828; Kociubinski, p. 10, lám. 1, fig. 8, lám. 2, fig. 9.
- ? 1959 *Inoceramus latus* Mantell; Dobrov y Pavlova, p. 135, lám. 1, fig. 6.
- v. 1982 *Inoceramus latus* MANTELL, 1822; Keller, pp. 85-87, lám. 6, fig. 4.
- n 1982 *Inoceramus (Mytiloides?) «latus»* MANTELL; Aoki y Tashiro, lám. 7, figs. 6 y 7.
- 1982 *Inoceramus (Inoceramus) latus* Mantell, 1822; Sobeyetski et al., p. 84, lám. 7, figs. 4a y 4b.

Tipo:

El holotipo, por monotipia, es el ejemplar BM (NH) 5848 figurado por MANTELL (1822, lám. 27, fig. 10) y refigurado por WOODS (1904-13, fig. text. 76). Procede del «Upper Chalk» de los alrededores de Brighton (Inglaterra).

Diagnosis:

Débilmente inequivalvo, inequilateral, tamaño muy grande (H máxima de hasta 165,0 mm.); longitud proporcionalmente mayor que en las restantes especies relacionadas con *Inoceramus (Inoceramus) lamarcki*, aunque algo menor cerca del umbo. Bastante plano (B de hasta 15,0 mm.), ala posterodorsal bien desarrollada. Perfil circular-ovalado, con ondulaciones y líneas de crecimiento que pueden mostrar alguna flexión cerca de la zona de charnela (diagnosis modificada de KELLER, 1982, p. 85).

Material:

Se han estudiado cuatro ejemplares, que corres-

ponden a los moldes internos de una valva derecha (núm. 40752), y de tres valvas izquierdas (núms. 40717, 40719 y 40722).

Número	h	l	HA _i	NA _i	S _i	B	A	β
40717	21,0	21,2	21,3	22,3	—	2,7	128°	71°
40719*	11,7	15,5	10,5	16,0	—	1,8	—	—
40722	16,3	15,3	16,8	17,2	9,0	4,1	—	—
40752*	24,5	19,6	24,0	19,5	7,0	4,1	—	—

Las valvas están algo abombadas en relación con el tamaño pequeño de los ejemplares. El área posterodorsal es muy plana; identificándose un ala pequeña, que está claramente diferenciada del resto de la concha, especialmente en los ejemplares 40717 y 40722. El margen anterior es muy recto. El salto de la concha está algo más marcado en el margen anterior que en los restantes márgenes. El perfil de la concha es subcircular-subcuadrado. El umbo que no está totalmente conservado en el ejemplar 40717, es poco redondeado, no prominente, y claramente prosogiro.

Las ondulaciones no son ni muy prominentes ni muy numerosas. Se aprecian claras *circulae*, especialmente en el ejemplar 40717. La curvatura de las ondulaciones es marcadamente circular durante toda la ontogenia. Las ondulaciones son irregulares, planas y estrechas en los estadios iniciales, y anchas y muy redondeadas en los estadios posteriores. El valle entre las ondulaciones puede ser muy estrecho y relativamente profundo. El crecimiento de las ondulaciones oscila desde los 1,8 mm. en los estadios iniciales hasta los 3,7 mm. en los posteriores.

La relación L en porcentaje de H varía desde el 157-114 por 100 en los estadios iniciales, hasta el 105 por 100 del ejemplar 40717 y el 90 por 100 del ejemplar 40722 en los estadios posteriores (fig. 10).

La relación NA en porcentaje de HA varía desde el 150-122 por 100 en los estadios iniciales, hasta el 114 por 100 del ejemplar 40717 y el 92 por 100 del ejemplar 40722 en los estadios posteriores (fig. 11).

El ángulo WA se mantiene bastante constante durante toda la ontogenia de cada ejemplar, situándose alrededor de los 86°-84°, 79° y 75° según el ejemplar (fig. 12).

Descripción:

Las valvas son de tamaño pequeño, con las siguientes dimensiones totales:

Discusión:

Los ejemplares estudiados en este trabajo son similares al holotipo (MANTELL, 1822, lám. 27, fig. 10), con la salvedad de que poseen un ta-

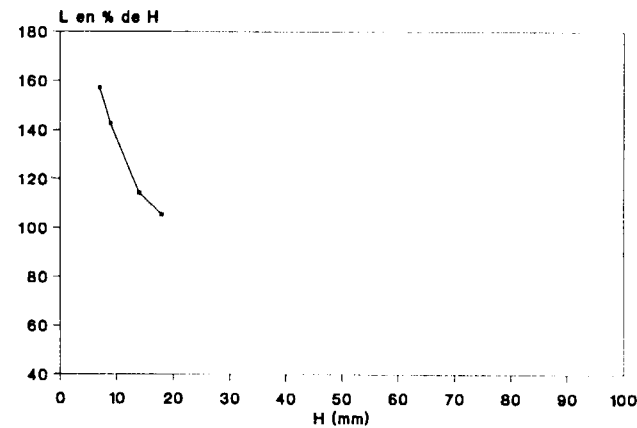


Figura 10.—Variación ontogénica de la relación L en % de H para *Inoceramus (Inoceramus) latus* Mantell. Valva izquierda núm. 40717.

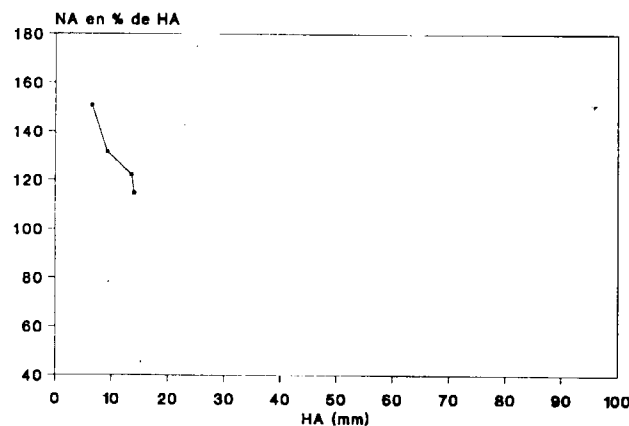


Figura 11.—Variación ontogénica de la relación NA en % de HA para *Inoceramus (Inoceramus) latus* Mantell. Valva izquierda núm. 40717.

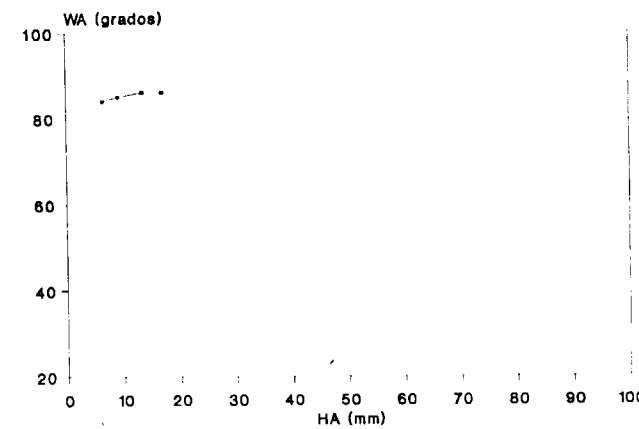


Figura 12.—Variación ontogénica del ángulo WA para *Inoceramus (Inoceramus) latus* Mantell. Valva izquierda número 40717.

maño menor y de que presentan el ala posterodorsal conservada. El holotipo está relativamente abombado, especialmente alrededor del eje de crecimiento, y presenta unas ondulaciones subcirculares y no prominentes y un umbo algo agudo. La observación del holotipo y de los ejemplares estudiados en el presente trabajo, ha permitido completar la diagnosis dada por KELLER (1982).

ORBIGNY (1843-47, figs. 1 y 2) figuró dos ejemplares, de los que no es segura su atribución a esta especie. Ya que ambos son muy circulares, con numerosas ondulaciones bien marcadas (pero no prominentes), y con el margen anterior algo recto y amplio.

Algunos de los ejemplares figurados como «*Inoceramus Lamarcki* var. *Cuvieri* SOW.» por WOODS (1904-13, figs. text. 75, 76 y 77) presentan las características propias de *Inoceramus (Inoceramus) latus*, especialmente el perfil y las ondulaciones subcirculares y no prominentes.

En algunas publicaciones han aparecido las figuraciones de ejemplares atribuidos a esta especie, pero que en realidad no presentan ni el perfil ni la ornamentación diagnósticas de la misma, y son diferentes de los ejemplares de la Cuenca Navarro-Cántabra. Entre estos trabajos cabe destacar el de ANDERT (1911, lám. 4, fig. 4), cuyo ejemplar muestra un umbo agudo y unas ondulaciones de tramos rectos y algo similares a las de *Inoceramus (Inoceramus?) frechi*; el de KO-CIUBINSKI (1958, lám. 1, fig. 8, lám. 2, fig. 9), cu-

los ejemplares presentan ondulaciones bastante prominentes y numerosas, algo ovaladas, y con un valor del ángulo WA que puede ser bastante elevado; y el de AOKI y TASHIRO (1982, lám. 7, figs. 6 y 7).

Inoceramus (Inoceramus) latus se diferencia claramente de *I. (I.) cuvierii*, tal como ya apuntaron BÖHM (1912, p. 403) y KELLER (1982, p. 87), por no tener curvado ni el margen anterior, ni el eje de crecimiento, y por presentar un ala posterodorsal de menor tamaño.

Asimismo, *Inoceramus (Inoceramus) latus* se diferencia de las subespecies de *I. (I.) lamarcki* por su bajo abombamiento, su ala posterodorsal poco prominente y su concha casi lisa.

Distribución:

Esta especie se ha reconocido en la parte superior del Turoniense Medio y en la parte inferior del Turoniense Superior de Francia?, Norte de Alemania, Inglaterra, Crimea y Cáucaso? y Azerbaidjan (URSS).

En la Plataforma Norcastellana se ha localizado en el Turoniense Superior de la serie CU (Cuevas, Burgos).

Inoceramus (Inoceramus?) frechi Flegel, 1904

Lám. 1, fig. 4

* 1904 *Inoceramus frechi*; Flegel, p. 147.

v. 1911 *Inoceramus Frechi* Flegel; Andert, pp. 51-52, lám. 1, figs. 8a y 8b, lám. 7, fig. 6.

1912-13 *Inoceramus Frechi* Flegel; Scupin, p. 208, lám. 11, fig. 10.

v. 1934 *Inoceramus frechi* FLEGEL; Andert, pp. 120-122, lám. 5, figs. 5, 6, 7 y 8.

? 1959 *Inoceramus frechi* Andert; Dobrov y Pavlova, p. 137, lám. 9, fig. 4.

1978b *Mytiloides? frechi* Kauffman, p. XXIII, 9, lám. 13, fig. 21.

? 1979 *Inoceramus frechi* (Flegel) Andert, 1905; Ivannikov, p. 53, lám. 8, fig. 3.

n. 1980 *Inoceramus frechi* Flegel, 1905; Kauffman, pp. 314-316, figs. 10A-F.

- v. 1982 *Inoceramus frechi* FLEGEL; Keller, 1982, pp. 96-98, lám. 7, fig. 1.
 1982 *Inoceramus (Mytiloides) frechi* Andert, 1911; Sobeyetski et al., p. 88, lám. 8, fig. 7.

Tipo:

El lectotipo, por designación de SCUPIN (1912-13, p. 208), es el ejemplar figurado por SCUPIN (1912-13, lám. 11, fig. 10). Procede del Oberquader de Hockenau (Löwenberger Kreide, Schlesien).

Diagnosis:

Casi completamente equivalvo, inequilateral, ta-

Número	h	l	HA ₁	NA ₁	S ₁	B	A	β
40710	32,5	29,2	28,6	30,5	—	5,7	—	—
40716*	23,8	24,3	27,0	20,7	16,2	4,3	—	—

Las valvas están algo abombadas, especialmente alrededor del eje de crecimiento. Aunque el ejemplar 40488 es muy plano, en gran parte es debido a la deformación sufrida. Las valvas son más planas en el área posterodorsal, en donde se aprecia un ala de tamaño mediano, que está bien diferenciada del resto de la concha. El margen anterior sólo está conservado en el ejemplar 40710 y en la valva derecha del ejemplar 40488, observándose que es muy recto, aunque algo curvado en los estadios iniciales. El salto de la concha es algo mayor en el margen anterior. El perfil de la concha es subcuadrado, algo romboidal. El umbo sólo es visible en el ejemplar 40716, observándose que está bastante deformado, y es prominente y muy prosogiro.

Las ondulaciones están bien marcadas y se aprecian débiles crestas. La curvatura de las ondulaciones es subcuadrada, algo romboidal, presentando tramos rectos y muy largos cerca del eje de crecimiento, que en el ejemplar 40716 es debido a la deformación. Las ondulaciones son bastante numerosas, estrechas y aristadas en los estadios iniciales (especialmente en el ejemplar 40710), siendo poco numerosas, muy planas, escalonadas y aristadas en los estadios posteriores. El crecimiento de las ondulaciones es muy bajo en los estadios iniciales, pero aumenta

maño mediano (H máxima de hasta 52,0 mm.). Abombamiento máximo situado alrededor de los 12,0 mm. *Crestae* anchas y prominentes (diagnos modificada de Keller, 1982, p. 97).

Material:

Se han estudiado tres ejemplares, que corresponde a los moldes internos de dos valvas derechas (núm. 40710 y 40716), y de un ejemplar que presenta las dos valvas (núm. 40488).

Descripción:

Estas valvas son de tamaño pequeño a mediano, con las siguientes dimensiones totales:

durante la ontogenia. Los valores se sitúan alrededor de los 0,6 mm. en los estadios iniciales, alrededor de los 2,0 mm. en los intermedios, y aumentan hasta los 3,6 en los posteriores.

Discusión

La observación de los ejemplares estudiados en el presente trabajo, así como los figurados por ANDERT (1911, lám. 1, figs. 8a y 8b, lám. 7, fig. 6; y 1934, lám. 5, figs. 5, 6, 7 y 8), han permitido completar la diagnosis dada por KELLER (1982).

FLEGEL (1904), quien creó la especie *Inoceramus frechi*, dio tan sólo una breve descripción, y no la figuró. Posteriormente SCUPIN (1912-13, lám. 11, fig. 10) designó el lectotipo, y estudió un ejemplar procedente de la localidad tipo, que, según KELLER (1982), era idéntico al descrito por FLEGEL.

De acuerdo con KAUFFMAN y POWELL (1977) las valvas más prosoclinales de *Inoceramus frechi*, así como su ala posterodorsal alargada, margen anterior menos truncado, surco posteroventral débil o no definido, y sus surcos ligamentarios más anchos, probablemente corresponden a las características de un subgénero distinto, y aún no establecido. De todas formas, aunque al-

gunos autores incluyen esta especie en el subgénero *I. (Mytiloides)*, su mayor semejanza es con *Inoceramus (Inoceramus)*, y a efectos de este trabajo se la incluye en este último, aunque con dudas. Esta incertidumbre es debida a que aún no se tienen suficientes datos como para atribuirle con seguridad a un subgénero, o para establecer uno nuevo en el que incluirla.

Los ejemplares figurados por KAUFFMAN (1980, figs. 10A-F) y atribuidos al Coniaciense Inferior, presentan marcadas diferencias tanto con el lectotipo como con los ejemplares estudiados en el presente trabajo, consistentes especialmente en su mucho mayor abombamiento, ondulaciones romboidales en sentido ventral y ocasionalmente anchas y redondeadas, y ala posterodorsal bien marcada (debido a la gran diferencia de abombamiento entre el ala y el resto de la valva). Por todas estas diferencias, no parece posible la atribución de estos ejemplares figurados por KAUFFMAN (1980, figs. 10A-F) a esta especie.

KELLER (1982, lám. 7, fig. 1) figura dos valvas que muestran algunas diferencias con los ejemplares estudiados en el presente trabajo, especialmente porque ambas valvas presentan un umbo bastante más prominente y unas ondulaciones más subcuadradas y sin tramos de curvatura rectos.

Inoceramus (Inoceramus?) frechi se diferencia de *I. (Mytiloides) labiatoidiformis* por poseer *crestae* en lugar de *annulocirculae* y por su mayor abombamiento.

Distribución

Esta especie se ha reconocido desde el Turoniense Superior al Coniaciense Inferior? de Alemania y el Western Interior (EE. UU.).

En la Plataforma Norcastellana se ha localizado en el Turoniense Superior de la serie CU (Cuevas, Burgos).

Subgénero *Cremnoceramus* Cox, 1969

Especie tipo

Inoceramus inconstans inconstans Woods, por designación original (COX, 1969, p. N315).

Diagnosis

Subequivalvo o inequivalvo, tamaño mediano. Valva izquierda débilmente abombada en los estadios iniciales, aumentando de forma rápida la convexidad en los estadios posteriores; algunos ejemplares presentan un cambio muy brusco en el abombamiento de la valva. Perfil subcircular o romboidal, eje de crecimiento débil o moderadamente oblicuo. Ala posterodorsal ausente o muy pequeña. Umbo redondeado y no prominente. Ondulaciones concéntricas e irregulares (diagnosis modificada de COX, 1969, pp. N315 y N317).

Discusión

HEINZ (1932) creó el término *Cremnoceramus* para denominar a un nuevo género, pero de éste no dio ni diagnosis ni designó la especie tipo, por lo que de acuerdo con las normas del CINZ, era *nomen nudum*. Posteriormente, COX (1969, pp. N315-317) definió el subgénero *Inoceramus (Cremnoceramus)*, dando una diagnosis y designando una especie tipo. Así, debe considerarse a COX (1969) como autor de este subgénero. Por su parte, VOKES (1980, pp. 41 y 226) ya recogió estas nuevas consideraciones.

Hasta 1969, se habían designado dos lectotipos de la especie tipo (*Inoceramus (Cremnoceramus) inconstans inconstans*) de este subgénero, ambos elegidos de ejemplares figurados por WOODS (1904-13). Uno había sido designado por TROGER en 1967 (correspondiendo a la fig. text. 42 de WOODS, 1904-13), y el otro lo fue por COX en 1969 (correspondiendo a la fig. text. 43 de WOODS, 1904-13). Puesto que, de acuerdo con las normas del CINZ, el lectotipo designado por TROGER (1967) tiene prioridad, éste sería el verdadero lectotipo de la especie, aspecto éste ya considerado y aceptado por SZASZ (1985, p. 156).

La especie *Inoceramus rotundatus* no presenta una clara atribución a este subgénero, como ya puso de manifiesto KAUFFMAN (1979). Ello es debido a que existe una serie de diferencias fundamentales entre el grupo que representa esta especie y los típicos *Inoceramus (Cremnoceramus)*, como *I. (Cre.) inconstans*, especialmente por lo que respecta al perfil, la ornamentación y el grado y variación del abombamiento en cada una de las valvas. Por ello, se podría

considerar que *Inoceramus rotundatus* Fiege sería el miembro inicial de un grupo diferente de inocerámidos, que incluiría taxones descendientes como *I. erectus* Meek, *I. deformis* Meek, *I. crassus* Petrascheck, *I. browni* Cragin e *I. schloenbachi* Böhm. Vista esta situación, KAUFFMAN (1979, p. 68) consideró que estas diferencias podrían obligar a erigir un nuevo género o subgénero que incluyese a este grupo transicional entre los verdaderos *Inoceramus* y *Cremnoceramus*.

El estudio de los tipos de varias de las especies de este subgénero ha obligado a realizar algunas modificaciones en la diagnosis original de este subgénero.

Distribución

Este subgénero tiene una repartición biogeográfica cosmopolita, habiéndose reconocido en el Turoniense y Coniaciense.

Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi
Böhm, 1911
Lám. 2, fig. 1

- 1834-40 *Inoceramus curvieri* SOWERBY; Goldfuss, p. 114, lám. 111, figs. 1a-c.
- 1911 *Inoceramus schlönbachi* J. BOHM; Böhm, p. 570.
- 1911 *Inoceramus curvieri* SOWERBY; Andert, p. 44, lám. 2, fig. 2.
- 1928b *Inoceramus schlönbachi* J. BOHM; Heinz, p. 35, lám. 2, fig. 2.
- 1930 *Inoceramus inconstans schloenbachi* J. BOHM; Fiege, p. 40-41, lám. 7, figs. 26 y 29, lám. 8, figs. 28 y 30.
- ? 1934 *Inoceramus schloenbachi* J. BOHM; Andert, p. 107, fig. text. 8, lám. 3, fig. 2.
- ? 1959 *Inoceramus schloenbachi* Boehm; Dobrov y Pavlova, p. 152, lám. 8, figs. 1a, 1b, 2a y 2b.
- 1962 *Inoceramus schloenbachi* Böhm; Radwanska, p. 142, lám. 2, figs. 1 y 4, lám. 3, fig. 1, lám. 4, fig. 2.

- . 1967 *Inoceramus deformis* MEEK; Tröger, p. 130, lám. 14, fig. 7.
- 1969 *Inoceramus schloenbachi* Böhm; Mitura, Ciéslinski y Milewicz, p. 171, lám. 1, fig. 1.
- . 1972 *Inoceramus schloenbachi* J. BOHM; Tröger, pp. 114-115, lám. 1, lám. 2, lám. 3.
- ? 1979 *Inoceramus schloenbachi* Böhm, 1911; Ivannikov, pp. 76-77, lám. 26, figs. 1 y 2.
- n 1979 *Inoceramus (Inoc.) schloenbachi* BOHM, 1921; Oekentorp y Siegfried, pp. 133-134, lám. 4, fig. 4.
- 1980 *Inoceramus schloenbachi* J. Boehm; Mennessier y Sornay, pp. 18-19, lám. 8, fig. 1.
- . 1981 *Inoceramus (Inoceramus) schloenbachi* Böhm, 1911; Tzankov, pp. 81-82, lám. 22, fig. 1, lám. 23, fig. 1.
- ? 1982 *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi* Boehm, 1911; Sobeyetski et al., p. 89, lám. 8, figs. 9a y 9b.
- ? 1984 *Inoceramus schloenbachi* Böhm, 1911; Ciéslinski y Blaszkiewicz, p. 363, lám. 157, fig. 6.
- ? 1985 *Inoceramus schloenbachi* J. Böhm; Szasz, pp. 159-161, lám. 3, figs. 1a, 1b, 2a y 2b, lám. 15, figs. 2a y 2b, lám. 16, fig. 2, lám. 18, fig. 3, lám. 22, fig. 3, lám. 25, fig. 3, lám. 27, figs. 2a y 2b, lám. 28, figs. 1a, 1b y 1c, lám. 30, figs. 1a y 1b, lám. 31, figs. 2a y 2b, lám. 35, figs. 1a, 1b y 1c, lám. 39, figs. 2a y 2b).
- 1986 *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi* Böhm; Scott, Cobban y Merewether, figs. 6m y 6n.
- ? 1988 *Inoceramus schloenbachi* Boehm, 1911; Ali-zade et al., p. 256, lám. 9, figs. 2 y 3, lám. 10, fig. 2.
- . 1988 *Inoceramus schloenbachi* J. Böhm; Szasz e Ion, lám. 20, fig. 1, lám. 17, fig. 2.

LAMINA 2

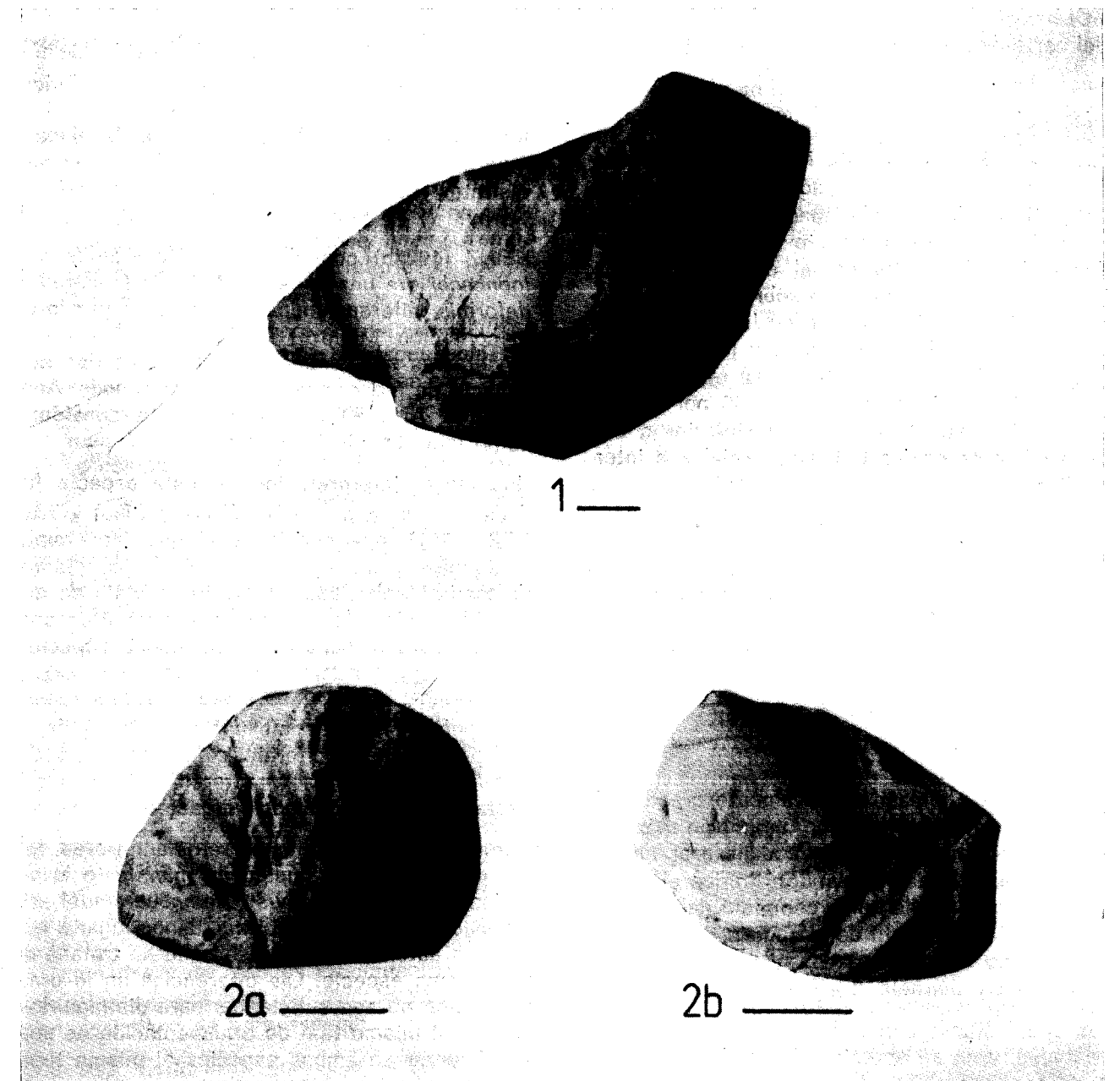


Figura 1.—*Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi* Böhm, 1911. Fragmento de una valva derecha. Localidad GAS-II (Gastain, Navarra). Ejemplar 40631.

Figura 2a.—*Inoceramus (Cremnoceramus) erectus* Meek, 1877. Valva izquierda. Nivel B de la localidad OLLO-II (Ollogoyen, Navarra). Ejemplar 40678.

Figura 2b.—*Inoceramus (Cremnoceramus) erectus* Meek, 1877. Perfil de la valva izquierda. Nivel B de la localidad OLLO-II (Ollogoyen, Navarra). Ejemplar 40678.

LAMINA 2

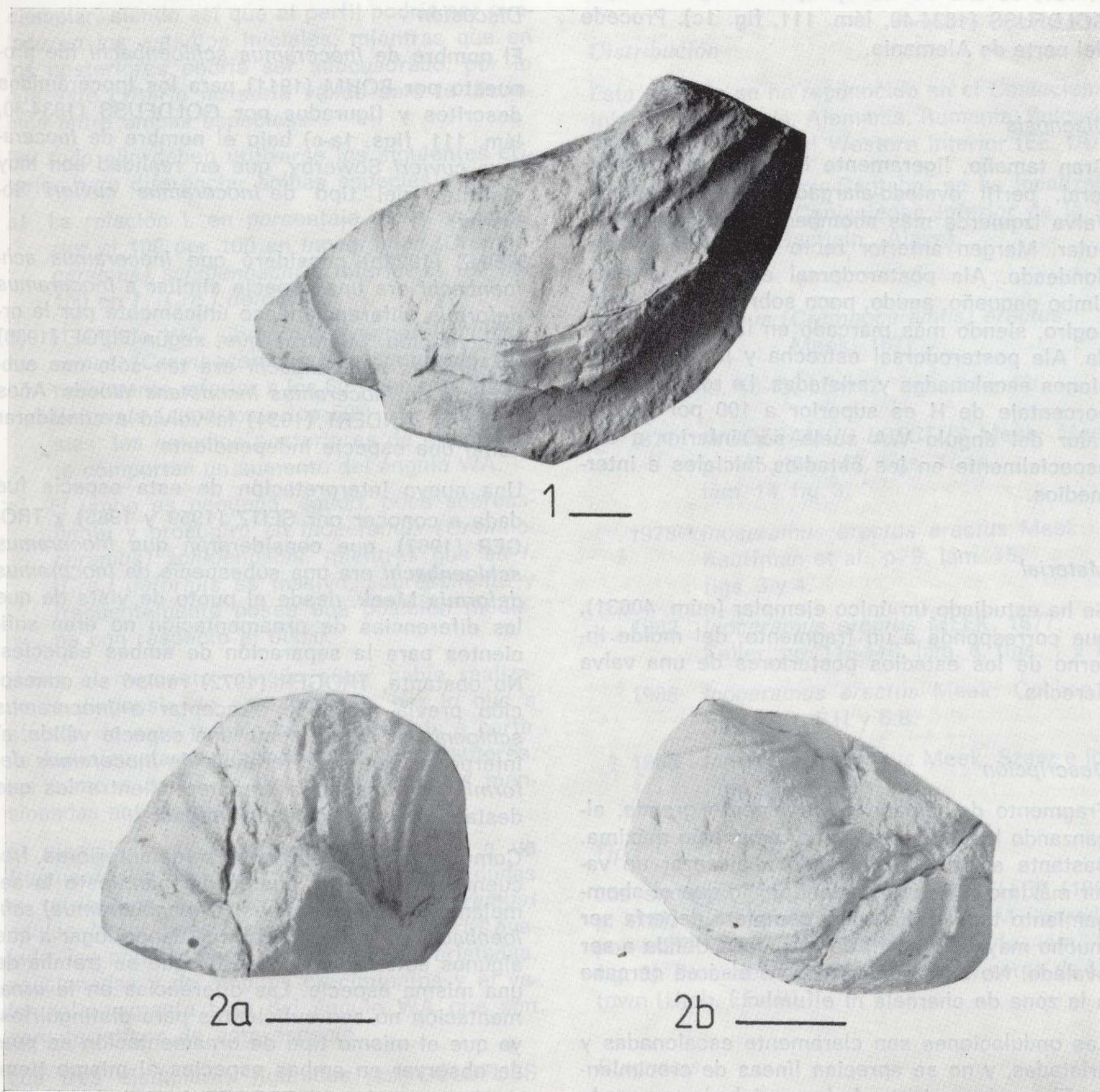


Figura 1.—*Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi* Böhm, 1911. Fragmento de una valva derecha. Localidad GAS-II (Gastiaín, Navarra). Ejemplar 40631.

Figura 2a.—*Inoceramus (Cremnoceramus) erectus* Meek, 1877. Valva izquierda. Nivel B de la localidad OLLO-II (Ollogoyen, Navarra). Ejemplar 40678.

Figura 2b.—*Inoceramus (Cremnoceramus) erectus* Meek, 1877. Perfil de la valva izquierda. Nivel B de la localidad OLLO-II (Ollogoyen, Navarra). Ejemplar 40678.

Tipo

El lectotipo, por designación de SZASZ (1985, p. 161) es uno de los ejemplares figurados por GOLDFUSS (1834-40, lám. 111, fig. 1c). Procede del norte de Alemania.

Diagnosís

Gran tamaño, ligeramente inequivalvo, inequilateral, perfil ovalado-alargado, muy abombado. Valva izquierda más abombada y de forma irregular. Margen anterior recto o ligeramente redondeado. Ala posterodorsal estrecha y larga. Umbo pequeño, agudo, poco sobresaliente y prosogiro, siendo más marcado en la valva izquierda. Ala posterodorsal estrecha y larga. Ondulaciones escalonadas y aristadas. La relación L en porcentaje de H es superior a 100 por 100. El valor del ángulo WA suele ser inferior a 60°, especialmente en los estadios iniciales e intermedios.

Material

Se ha estudiado un único ejemplar (núm. 40631), que corresponde a un fragmento, del molde interno de los estadios posteriores de una valva derecha.

Descripción

Fragmento de tamaño relativamente grande, alcanzando los 95,5 mm. como dimensión máxima. Bastante abombado, llegando a alcanzar un valor máximo (B) de 28,0 mm., por lo que el abombamiento total de la valva completa debería ser mucho mayor. El perfil de la concha tiende a ser ovalado. No está conservada ni el área cercana a la zona de charnela ni el umbo.

Las ondulaciones son claramente escalonadas y aristadas, y no se aprecian líneas de crecimiento. El escalonamiento de las ondulaciones puede ser muy marcado, observándose fuertes saltos que se traducen en un mayor abombamiento de la concha. Algunas ondulaciones pueden ser estrechas, algo aristadas y muy prominentes. La curvatura de las ondulaciones es claramente ovalada. El crecimiento de las ondulaciones es variable y elevado, llegando a alcanzar los 21,0 mi-

límetros. El valor del ángulo WA tiene una marcada tendencia a ser bastante bajo.

Discusión

El nombre de *Inoceramus schloenbachi* fue propuesto por BÖHM (1911) para los inocerámidos descritos y figurados por GOLDFUSS (1834-40, lám. 111, figs. 1a-c) bajo el nombre de *Inoceramus cuvieri* Sowerby, que en realidad son muy distintos del tipo de *Inoceramus cuvieri* Sowerby.

HEINZ (1928b) consideró que *Inoceramus schloenbachi* era una especie similar a *Inoceramus deformis*, diferenciándose únicamente por la ornamentación. Mientras que, según FIEGE (1930) *Inoceramus schloenbachi* era tan sólo una subespecie de *Inoceramus inconstans* Woods. Años después, ANDERT (1934) la volvió a considerar como una especie independiente.

Una nueva interpretación de esta especie fue dada a conocer por SEITZ (1959 y 1985) y TRÖGER (1967), que consideraron que *Inoceramus schloenbachi* era una subespecie de *Inoceramus deformis* Meek, desde el punto de vista de que las diferencias de ornamentación no eran suficientes para la separación de ambas especies. No obstante, TRÖGER (1972) revisó su concepción previa, llegando a aceptar a *Inoceramus schloenbachi* Böhm como una especie válida, al interpretar que se diferencia de *Inoceramus deformis* por bastantes caracteres, entre los que destaca su perfil ovalado-alargado.

Como se ha visto en los párrafos anteriores, frecuentemente se ha puesto de manifiesto la semejanza entre *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi* e *I. (Cre.) deformis*, dando lugar a que algunos autores considerasen que se trataba de una misma especie. Las diferencias en la ornamentación no son suficientes para distinguirlos, ya que el mismo tipo de ornamentación se puede observar en ambas especies al mismo tiempo. De acuerdo con TRÖGER (1972) el principal criterio para separar ambas especies es el perfil de la valva, que es ovalado-alargado en el caso de *I. (Cre.) schloenbachi* y subcuadrado o irregular en el caso de *I. (Cre.) deformis*. Evidentemente, la misma diferencia se aprecia también por lo que respecta a la trayectoria de la ornamentación. Por su parte, SZASZ (1985) considera que

tanto la ornamentación como el perfil de la valva son bastante variables, existiendo semejanzas entre la valva derecha y la izquierda del mismo ejemplar, siendo así que el perfil podría ser ovalado en los estadios iniciales, mientras que en los posteriores podría ser subcuadrado, por lo que este criterio no sería válido para la distinción entre ambas especies.

Por todo ello deben utilizarse los siguientes criterios para diferenciar ambas especies:

- La relación L en porcentaje de H es superior al 100 por 100 en *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi* e inferior al 100 por 100 en *I. (Cre.) deformis*.
- El ángulo WA siempre es menor en *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi* (generalmente inferior a los 60°) que en *I. (Cre.) deformis* (superior a los 60°). De todas formas, los estadios posteriores de crecimiento comportan un aumento del ángulo WA.
- El umbo es pequeño, agudo, poco sobresaliente y prosogiro en *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi*, mientras que en *I. (Cre.) deformis* es masivo, sobresaliente y frecuentemente posee una posición mediana con respecto al disco.

Hasta el momento, ningún autor había realizado la diagnosis de esta especie, por lo que a efectos de este trabajo se ha realizado a partir de los ejemplares figurados por varios autores, así como a partir de las consideraciones mencionadas anteriormente.

El ejemplar aquí estudiado corresponde a un fragmento, pero a pesar de ello no ofrece dudas su atribución a *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi*, puesto que presenta el perfil ovalado, las ondulaciones muy estrechas, aristadas, escalonadas y de amplios crecimientos y el valor relativamente bajo del ángulo WA que son característicos de esta especie.

Los tres ejemplares figurados por GOLDFUSS (1834-40, lám. 111, figs. 1a-c) presentan un abombamiento regular, un alargamiento hacia su parte posterior y un ángulo WA menor de 40°. De entre estos ejemplares (GOLDFUSS, 1834-40, lám. 111, fig. 1c), SZASZ (1985) eligió el lectotipo de la especie.

Los ejemplares figurados como *Inoceramus schloenbachi* Boehm por DOBROV y PAVLOVA (1959,

lám. 8, figs. 1a, 1b, 2a y 2b) parecen presentar un perfil y una ornamentación más próximas a las diagnósticas de *Inoceramus erectus*.

Distribución

Esta especie se ha reconocido en el Coniaciense Inferior de Francia, Alemania, Rumania, Bulgaria, Plataforma Rusa y el Western Interior (EE. UU.).

En la Cuenca Navarro-Cántabra se ha localizado únicamente en el Coniaciense Inferior de la localidad GAS-II (Gastiain, Alava).

Inoceramus (Cremnoceramus) erectus Meek, 1877

Figs. 13-15, Lám. 2, figs. 2a y 2b

- v* 1877 *INOCERAMUS ERECTUS* Meek; Meek, p. 145, lám. 13, figs. 1, 1a, lám. 14, fig. 3.
- . 1978 *Inoceramus erectus erectus* Meek; Kauffman et al., p. 9, lám. 15, figs. 3 y 4.
- v. 1982 *Inoceramus erectus* MEEK, 1877; Keller, pp. 116-118, lám. 8, figs. 1 y 1a.
- . 1986 *Inoceramus erectus* Meek; Cobban, figs. text. 5.H y 6.B.
- ? 1988 *Inoceramus erectus* Meek; Szasz e Ion, lám. 20, figs. 1a, b.

Tipo

Los sintipos, por designación de KELLER (1982, p. 116), son los ejemplares del USNM figurados por MEEK (1877, lám. 13, figs. 1 y 1a, lám. 14, fig. 3). Proceden de «Chalk Creek», cerca de Uptown (Utah, EE. UU.).

Diagnosís

Equivalvo, inequilateral, gran tamaño (H de hasta 100,0 mm.), muy abombado (B de hasta 35,0 mm.); concha muy gruesa (de hasta 4,2 mm. de grosor en el margen anterior), siendo más gruesa y desarrollada en la zona de charnela. Perfil subcuadrado, ondulaciones poco prominentes y estrechas (diagnosis modificada de KELLER, 1982, p. 117).

Material

Se ha estudiado un único ejemplar (núm. 40678), que corresponde al molde interno de una valva izquierda.

Número	h	l	HA _t	NA _t	S _t	B	A	β
40678	28,5	37,5	35,5	36,7	17,0	18,9	—	—

La valva es relativamente plana en los estadios iniciales, y muy abombada en los intermedios y posteriores, siendo bastante plana en el área posterodorsal, en donde se delimita un ala de tamaño mediano. El margen anterior está parcialmente conservado y es relativamente recto. En el margen anterior, y entre el umbo y el ala posterodorsal, se aprecian sendos saltos de la concha. El perfil de la concha es subcuadrado y algo ancho. El umbo y una parte de los estadios iniciales no están conservados.

Las ondulaciones son muy numerosas en los estadios iniciales, siendo mucho menos numerosas en los estadios posteriores. Se observa la presencia de débiles *circulae*, pero únicamente en los estadios posteriores. La curvatura de las ondulaciones es subcuadrada, siendo más romboidal y ancha en los estadios posteriores. Las ondulaciones son muy estrechas y redondeadas en los estadios iniciales, siendo más anchas y algo escalonadas en los posteriores. El crecimiento de las ondulaciones aumenta durante la ontogenia, oscilando desde un mínimo de 2,0 mm. en los estadios iniciales, hasta un máximo de 3,2 mm. en los estadios posteriores.

La relación L en porcentaje de H varía desde el 93-86 por 100 en los estadios iniciales, hasta el 86-87 por 100 en los estadios posteriores (fig. 13).

Para la relación NA en porcentaje de HA la variación es del 90-85 por 100 hasta el 98-86 por 100, respectivamente (fig. 14).

El ángulo WA oscila desde unos 63-64° en los estadios iniciales, para estabilizarse en los 64° en los posteriores (fig. 15).

Discusión

El ejemplar aquí estudiado muestra las características diagnósticas de la especie, y es muy

Descripción

Esta valva es de tamaño relativamente mediano y presenta las siguientes dimensiones totales:

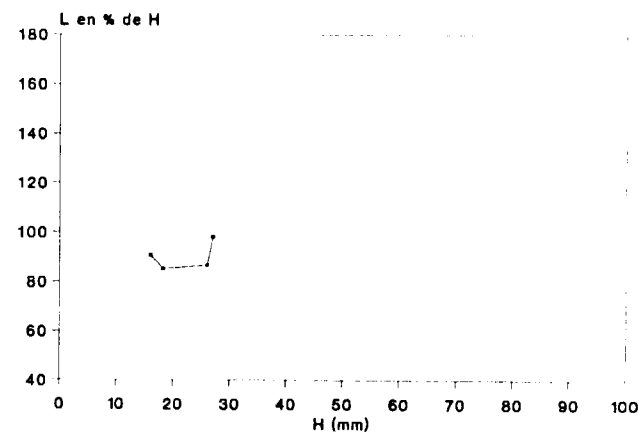


Figura 13.—Variación ontogénica de la relación L en % de H para *Inoceramus (Cremnoceramus) erectus* Meek. Valva izquierda núm. 40678.

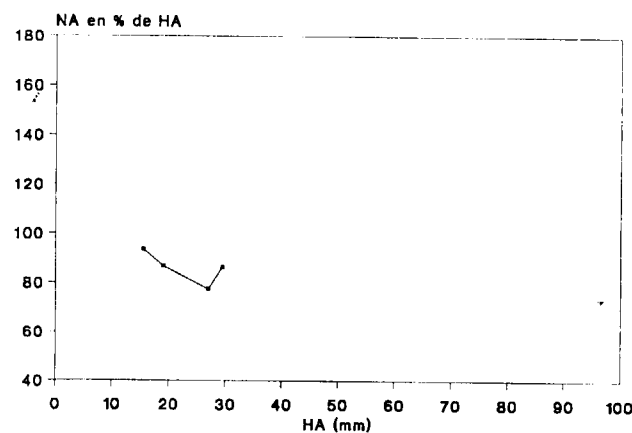


Figura 14.—Variación ontogénica de la relación NA en % de HA para *Inoceramus (Cremnoceramus) erectus* Meek. Valva izquierda núm. 40678.

similar a los ejemplares figurados por MEEK (1877, lám. 13, figs. 1, 1a, lám. 14, fig. 3), KAUFFMAN et al. (1978, lám. 15, figs. 3 y 4) y KELLER

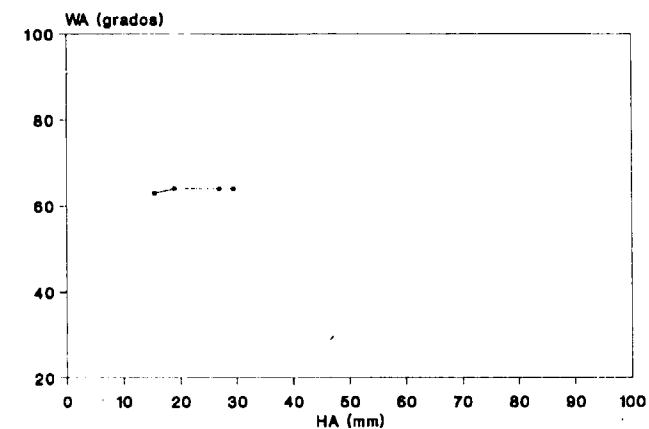


Figura 15.—Variación ontogénica del ángulo WA para *Inoceramus (Cremnoceramus) erectus* Meek. Valva izquierda número 40678.

(1982, lám. 8, figs. 1 y 1a). Por otra parte, el estudio de uno de los sintipos figurado por MEEK (1877, lám. 14, fig. 3), del ejemplar figurado por KELLER (1982) y del estudiado en el presente trabajo, ha permitido completar la diagnosis dada por KELLER, añadiéndose las características referentes a las ondulaciones.

Esta especie presenta grandes semejanzas con *Inoceramus (Cremnoceramus) deformis* Meek e *I. (Cre.) schloenbachi* Böhm. Por ello, algunos autores como SEITZ (1959, p. 118) las han considerado sinónimas.

No obstante, *Inoceramus (Cremnoceramus) deformis* se diferencia de *I. (Cre.) erectus* por el bajo valor del ángulo A, el marcado abombamiento desde el margen anterior hasta el eje de crecimiento, el bajo valor de la relación de NA en porcentaje de HA, las ondulaciones más anchas y aristadas, y el grosor de su concha.

Por su parte, *Inoceramus (Cremnoceramus) schloenbachi* se diferencia de *I. (Cre.) erectus* por tener un menor número de ondulaciones, que en los estadios iniciales son más anchas y ovaladas y poseen un amplio crecimiento, y por no presentar un cambio tan brusco en el abombamiento.

Existen diferentes opiniones acerca de la taxonomía de *Inoceramus (Cremnoceramus) erectus* Meek, *I. (Cre.) deformis* Meek e *I. (Cre.) schloenbachi* Böhm. Algunos autores, como KAUFFMAN

(1977a) y SEIBERTZ (1979), han sugerido una transición evolutiva entre estas especies, pudiendo existir solapamientos, pero todavía no se ha concretado la relación real entre estos taxones.

Recientemente, SEIBERTZ (1986), al estudiar la fauna de inocerámidos de los alrededores del límite Turoniense / Coniaciense de la Formación San Felipe (NE de México), consideró que *Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti* Heinz, *I. (Cre.) erectus*, *I. (Cre.) deformis*, *I. (Cre.) schloenbachi* e *I. (Cre.) mihoensis* Matsumoto deben ser considerados como sinónimos, y de acuerdo con las normas del CINZ tendría prioridad el término *I. (Cre.) deformis*. Para ello, se basó en que las diferencias en el perfil de la longitud, en el perfil de la anchura y en el eje de crecimiento de *Inoceramus (Cremnoceramus) erectus*, *I. (Cre.) deformis* e *I. (Cre.) schloenbachi* son debidas a adaptaciones paleoecológicas. Por otra parte, consideró que *I. (Cre.) mihoensis* sería un producto de la migración, mientras que *I. (Cre.) ernsti* sería transicional entre *I. (Cre.) rotundatus* Fiege e *I. (Cre.) erectus*.

Distribución

Esta especie se ha reconocido en el Coniaciense Inferior de Alemania, Rumanía?, Nuevo México y en el Western Interior de los EE. UU.

En la Cuenca Navarro-Cántabra se ha localizado únicamente en el Coniaciense Inferior de la serie OLLO-top/OLLO-III (Ollogoyen, Alava).

Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti
Heinz, 1928

Figs. 16-18, Lám. 1, figs. 5a y 5b

p. 1904-13 *Inoceramus lamarcki* PARK.; Woods, p. 325, sólo fig. text. 85.

1928a *Inoceramus ernsti* Heinz, pp. 73-74.

1933 *Tethyoceramus (Proteoceramus) ernsti* HEINZ; Heinz, p. 250, lám. 19, fig. 1.

? 1951 *I. ernsti* Heinz; Voute, lám. 5b, fig. 1.

? 1959 *Inoceramus stillei* HEINZ; Dobrov y Pavlova, p. 152, lám. 9, fig. 1.

- 1967 *Inoceramus ernsti* Heinz; Tröger, pp. 128-130, lám. 14, figs. 1, 2, 3, 4 y 6.
- ? 1972 *Inoceramus ernsti* HEINZ; Tröger, lám. 4, fig. X4297.
- 1977b *Inoceramus ernsti* Heinz; Kauffman, lám. 11, fig. 5.
- ? 1980 *Inoceramus (Inoceramus) ernsti* Heinz, 1928; Kauffman, p. 310, figs. 10 G-P.
- ? 1980 *Inoceramus ernsti* Heinz; Mennessier y Sornay, p. 12, lám. 5, fig. 6.
- 1985 *Inoceramus ernsti* Heinz, 1928; Szasz, p. 172, lám. 29, figs. 3a y 3b.

Tipo

El lectotipo, por designación de TROGER (1987), es el ejemplar MPG 21237 figurado como *Inoce-*

Número	h	l	HA _t	NA _t	S _t	B	A	β
40359d	26,0	25,0	30,0	28,0	—	12,0	—	—

La valva izquierda está muy incompleta, no observándose ni el margen anterior, ni el umbo y ni la zona de charnela. Su dimensión máxima es de 34,5 mm. Ambas valvas están bastante abombadas. La valva derecha muestra un ligero cambio en el abombamiento, que se produce al alcanzar los 15,5 mm. en el sentido del eje de crecimiento. El margen anterior es cóncavo y el salto de la concha es mayor en este margen. El perfil de la concha es subcircular-subcuadrado, estando alargado en el sentido postero-ventral. El umbo está muy mal conservado y es prosogiro.

Las ondulaciones son relativamente estrechas, sin que se aprecien líneas de crecimiento. Asimismo, son más estrechas, menos marcadas y de curvatura más circular en los estadios iniciales, mientras que en los estadios posteriores son menos numerosas, más subcuadradas, estrechas y están escalonadas. El crecimiento de las ondulaciones puede llegar a ser proporcionalmente elevado, llegando a alcanzar los 4,0 mm. en los estadios posteriores.

ramus lamarcki por WOODS (1904-13, fig. text. 85). Procede, según WOODS (1904-13), del «Upper Chalk (Zona de *Holaster planus*?)» de una localidad desconocida.

Diagnosis

Valvas bastante abombadas, perfil algo pentagonal, ala posterodorsal débilmente diferenciada. Umbo sobresaliente, y generalmente no muy agudo. *Circulae* muy bien definidas.

Material

Se ha estudiado un único ejemplar (núm. 40359), que corresponde al molde interno de ambas valvas.

Descripción

El ejemplar es de tamaño mediano y presenta las siguientes dimensiones totales:

La relación L en porcentaje de H varía desde el 92 por 100 de los estadios iniciales, hasta el 81 por 100 de los estadios posteriores (fig. 16).

La relación NA en porcentaje de HA varía desde el 71 por 100 de los estadios iniciales, hasta el 78 por 100 de los estadios posteriores (fig. 17).

El ángulo WA oscila desde los 75° de los estadios iniciales hasta los 69° de los estadios posteriores. La variación entre un valor y otro del ángulo WA se produce de forma brusca, coincidiendo con un ligero cambio en el abombamiento de la valva (fig. 18).

Discusión

Inoceramus ernsti es una especie insuficientemente conocida, cuyo rango de variabilidad no se ha establecido todavía. KAUFFMAN y POWELL (1977) consideraron que *Inoceramus ernsti* era un representante del grupo de *I. (I.) cuvierii* - *I. (I.) lamarcki* y que presentaba las característi-

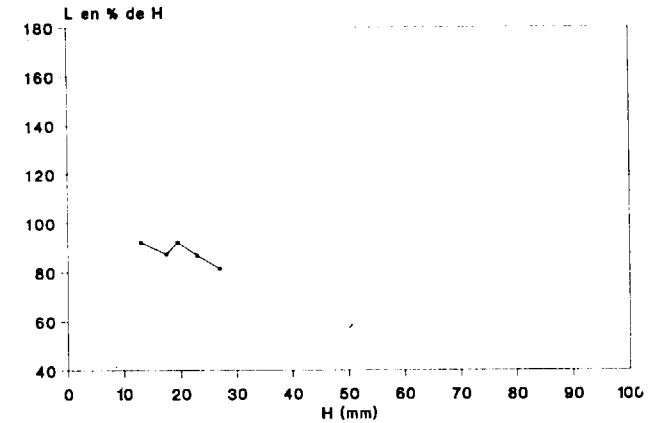


Figura 16.—Variación ontogénica de la relación L en % de H para *Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti* Heinz. Valva derecha núm. 40359.

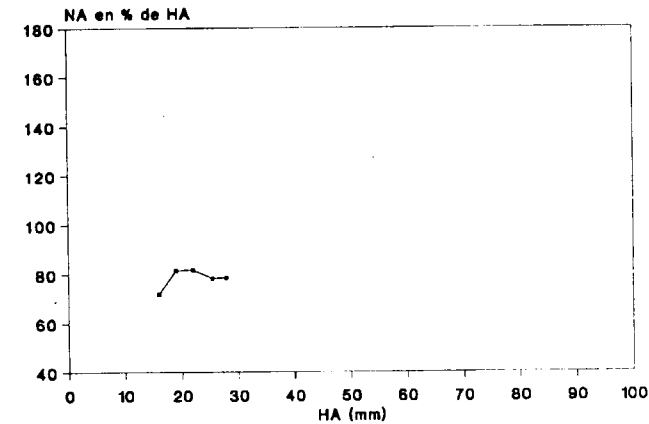


Figura 17.—Variación ontogénica de la relación NA en % de HA para *Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti* Heinz. Valva derecha núm. 40359.

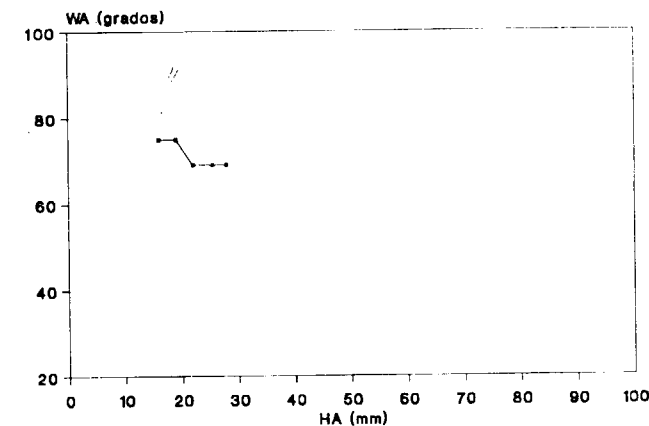


Figura 18.—Variación ontogénica del ángulo WA para *Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti* Heinz. Valva derecha número 40359.

cas diagnósticas del subgénero *Inoceramus (Inoceramus)* Sowerby. Pero su marcado abombamiento, el perfil subcuadrado-pentagonal y la ornamentación son diagnósticos del subgénero *Inoceramus (Cremnoceramus)*. Por ello, se le puede adscribir a este subgénero. De todas formas, aún no se conocen suficientemente las relaciones filogenéticas de esta especie, lo que impide conocer con exactitud su relación con el subgénero *Inoceramus (Inoceramus)*.

El holotipo (WOODS, 1904-13, fig. text. 85) corresponde a una valva derecha incompleta, a la que le falta el ala posterodorsal, el umbo y parte del área posterior, y que muestra una ornamentación prominente. Posteriormente, TRÖGER (1967, lám. 14, fig. 6) figuró un ejemplar muy similar al holotipo tanto por el tamaño como por el perfil, mostrando un umbo masivo y sobresaliente. El ejemplar estudiado en el presente trabajo se diferencia del holotipo y del ejemplar de TRÖGER por poseer un umbo menos prominente.

HEINZ (1933, lám. 19, fig. 1) figuró como *Tethyoceramus (Proteoceramus) ernsti* HEINZ a dos valvas que presentan las características diagnósticas de *Inoceramus (Cremnoceramus) ernsti*. Es destacable la diferencia entre ambas valvas, de tal modo que la valva izquierda está más abombada y presenta una ornamentación débil e irregular, mientras que la valva derecha está menos abombada y su ornamentación es menos prominente.

Los ejemplares figurados por KAUFFMAN (1980, figs. G-P), y procedentes de Africa del Sur, presentan la superficie muy erosionada, observándose un gran abombamiento, unas anchas ondulaciones y un fuerte umbo, siendo más similares al ejemplar figurado por HEINZ. Se diferencian del ejemplar estudiado en el presente trabajo por su mayor abombamiento, y por su umbo más recurvado, agudo y sobresaliente.

Uno de los ejemplares figurados por SZASZ (1985, lám. 29, figs. 3a y 3b) presenta el perfil y la ornamentación diagnósticas de esta especie, siendo similar a los ejemplares figurados por HEINZ (1933) y KAUFFMAN (1980), mientras que los otros ejemplares muestran un perfil, un abombamiento y unas ondulaciones que son más semejantes a las de *Inoceramus koeneni* Müller.

Hasta el momento, ningún autor había realizado

una verdadera diagnosis de esta especie, por lo que a efectos de este trabajo se ha realizado la diagnosis a partir del estudio de las descripciones e ilustraciones realizadas por los autores mencionados anteriormente, así como a partir del ejemplar aquí estudiado.

Distribución

Esta especie es cosmopolita, habiéndose reconocido en el Coniaciense Inferior de Francia?, Inglaterra, Alemania, Rumanía, Plataforma Rusa, Madagascar y Africa del Sur.

En la Cuenca Navarro-Cántabra se ha localizado únicamente en el Coniaciense Inferior de la serie de Izurdiaga (Navarra).

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Dr. Ricardo Martínez sus consejos y apoyo en la realización de este trabajo, que es parte de la Tesis del autor, que él dirigió. Al Dr. Robert Santamaría por su colaboración y ayuda en muchas salidas de campo. Asimismo, debo agradecer a todas aquellas personas que han revisado total o parcialmente la información de este trabajo, especialmente al Prof. Dr. Jaime Truyols, Dr. Jaime de Porta, Dr. Marcos A. Lamolda, Dr. José María Pons y Dr. Ekbert Seibertz, por haber sido los miembros del tribunal que juzgaron la Tesis Doctoral del autor.

Al director y personal del Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Hannover, R. F. A.), del British Museum (Natural History) y del Segwick Museum (Cambridge), así como al Prof. Dr. Jost Wiedmann (Tübingen) y al Dr. W. J. Kennedy (Oxford), por haberme permitido estudiar las colecciones que se encuentran a su cargo.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la DGICYT dentro del proyecto PB87-0748-C02, y es una contribución al proyecto 262 del IGCP de la UNESCO.

REFERENCIAS

ALI-ZADE, Ak. A.; ALIEV, G. A.; ALIEV, M. M.; ALIOLLA, X., y XALILOV, A. G. (1988): *Melobaia fauna Azerbajdchana*. Izdatelstuo «SIm», 1988. Akademia Nauk Aberbajdarskoi SSR. Institut Geologii im. I.M. Guikkina, 1-648.

AMIOT, M. (1982): *El Cretácico Superior de la Región Navarro-Cántabra*. In: *El Cretácico de España*. Univ. Complutense. Madrid, 88-111.

ANDERT, H. (1911): *Die Inoceramen des Kreibitz-Zittaues Sandsteingebirges*. Festsch. Hundoldtner zur Feier seines 50 jährigen Bestehens, 32 pp., 19 láms.

ANDERT, H. (1934): *Die Kreideablagerungen zwischen Elbe und Jeschken*. Teil III: *Die Faune der obersten Kreide in Sachsen, Bohmen und Schlesien*. Abh. preuss. geol. Landesant., N. F., 159, 447 pp., 19 láms.

AOKI, T., y TASHIRO, M. (1982): *A stratigraphic study of the Cretaceous Shimanto Belt (the «Dogano» und Uwagumi Formations) at Nwagumi, Kagami-machi, Kagami-gun, Kochi Prefecture, Shikoku*. Res. Rep. of the Kochi Univ. (Nat. Sci.), 31, 1-24, 7 láms.

BÖHM, J. (1912): *Inoceramus Lamarcki auct. und Inoceramus Cuvieri auct.* Zeitsch. Deutsch. geol. Gesell., 64 (7), 339-404.

CIESLINSKI, S., y BLASZKIEWICZ, J. (1984): *Gromada Bivalvia (BOUNANNI, 1681) Linné, 1758*. In: MALINOWSKIEJ, L. (Red.): *Budowa geologiczna Polski*, tom III, *Atlas Skamienialości Przewodnic i charakterystycznych*, 2. Meso-zoik, Kreda, 360-367.

CIRY, R. (1940): *Etude géologique d'une partie des provinces de Burgos, Palencia, Leon et Santander*. Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, 74 (4), 1-528, 13 láms.

CIRY, R. (1964): *A propos de Meandropsina larrazetia Mun.-Hc., génotype d'un genre nouveaux Larrazetia Ciry*. Rev. Micropal., 6 (4), 185-195.

COBBAN, W. A. (1981): *New turrilitid Ammonite from Mid-Cretaceous (Cenomanian) of Southwest New Mexico*. In: HOOK, S. C. (Ed.): *Contributions to Mid-Cretaceous paleontology and stratigraphy of New Mexico*. New Mexico Bureau of Mines & Miner. Res., Circular 180.

COBBAN, W. A. (1986): *Upper Cretaceous molluscan record from Lincoln Country, New Mexico*. Southwest section of AAPG Transactions and Guidebook of 1986 Convention, 77-89, figs. 1-10.

COX, L. R. (1955): *Proposed determination of the nominal species to be accepted as the type species of the genus «Inoceramus» Sowerby (J.), 1814 (Class Pelecypoda) and proposed addition of that name to the Official list of generic names in Zoology*. Bull. Zool. Nom., 11, 239-245.

COX, L. R. (1969): *Family Inoceramidae Giebel 1852*. In: MOORE, R. C. (Ed.): *Treatise on Invertebrate Palaeontology*, Part N, vol. 1, *Mollusca, Bivalvia*, Geol. Soc. America & Univ. Kansas Press, 314-321.

DHONDT, A. V. (1983): *Campanian and Maastrichtian Inoceramids: A review*. Zitteliana, 10, 689-701, 6 figs.

DOBROV, S. A., y PAVLOVA, M. M. (1959): *Inoceramus*. In: MOSKVINA, M. M. (Ed.): *Atlas verjнемelovoy fauni severnogo kaukaza i krima*. Gostoptexizdat, Gosuda. Nauchno-tejni Izdat. Neft. i Gorno-top. lite, 130-165, 23 láms.

EFREMOVA, V. I. (1978): *Inoceramus of Turonian deposits*

of the Ust-Yenisei depression (en ruso). In: PERGAMENT, M. A. (Ed.): *Jurassic and Cretaceous Inoceramus and their stratigraphic importance. (Materials of the III and IVth All-Union Colloq.)*. Akad. Nauk. SSSR. 82-98, 5 láms.

ENGESER, T.; REITNER, J.; SCHWENTKE, W., y WIEDMANN, J. (1982): *Die Kretazisch-tertiär Tektogenese des Basko-Cantabrisch Becken (Nordspanien)*. Zeitsch. Deutsch. Geol. Gesellschaft., 135, 243-268.

FEUILLEE, P. (1967): *Le Cénomaniens des Pyrénées Basques aux Asturies. Essai d'analyse stratigraphique*. Mém. Soc. Géol. France (n.s.), 46 (108), 1-343, 16 láms.

FIEGE, K. (1930): *Über die Inoceramen der Oberturon mit besonderer Berücksichtigung der im Rheinland und Westfalen vorkommenden Formen*. Paläontographica, 73, 31-48, láms. 5-8.

FLEGEL, K. (1904): *Heuscheuer und Adersbach-Weckelsdorf. Eine studie über die obere Kreide im böhmisch-schlesischen Gebirge*. Jber. Schles. Ges. vaterl. kultur., 3, 123-158.

FLOQUET, M. (1987): *Contrôle tectonique, sédimentaire et eustatique des transgressions et régressions marines sur la plateforme nord-castillane (Espagne) au Crétacé supérieur*. Mém. Géol. Univ. Dijon, 11, 69-77.

FLOQUET, M.; ALONSO, A., y MELENDEZ, A. (1982): *Cameros-Castilla. El Cretácico Superior*. In: *El Cretácico de España*. Univ. Complutense, Madrid, 387-456.

GOLDFUSS, A. (1834-40): *Petrefacta Germaniae*. Arnz & Co., 312 pp., 90 láms., Düsseldorf.

HATTIN, D. E. (1962): *Stratigraphy of the Carlile Shale (Upper Cretaceous) in Kansas*. Bull. Kansas Geol. Surv., 156, 155 pp., 27 láms.

HEINZ, R. (1928a): *Das Inoceramen Profil der oberen Kreide Lüneburg mit Anführung der neuen Formen und deren Kennzeichnung (Inoceramen I)*. Jb. Nieder. geol. Ver., 21, 64-81.

HEINZ, R. (1928b): *Über Cenoman und Turon bei Wunorf westlich von Hannover zugleich. Beiträge zur Kenntnis der oberkretazischen (Inoceramen II)*. Jb. Nieder. geol. Ver., 18, 1-38.

HEINZ, R. (1932): *Aus der neuen Systematik der Inoceramen (Inoceramen XIX)*. Mitt. Min.-Geol. Staatsinst., 13, 26 pp.

IVANNIKOV, A. V. (1979): *Inotserami Verjнемelovi otlozheniy yugozapada Vostochno-Europeyskoy platformi*. Akad. Nauk. Ukrainskoy SSR Inst. Geol. Nauk., 103 pp., 32 láms. (en ucraniano).

KARRENBERG, H. (1935): *Ammonitenfaunen aus der Nordspanischen Oberkreide*. Palaeontographica, 82a, 125-161, láms. 30-33.

KAUFFMAN, E. G. (1977a): *Systematic, biostratigraphic and biogeographic relationships between middle Cretaceous Euramerican and North Pacific Inoceramidae*. Pal. Soc. Jap., Spec. Pap. (Hokkaido Symposium 1976), 21, 29-97.

KAUFFMAN, E. G. (1977b): *Illustrated guide to biostratigraphically important Cretaceous macrofossils, Western Interior Basin, USA*. In: KAUFFMAN, E. G. (Ed.): *Field Guide: North American Paleontological Convention II*. Mount. Geologist, 14 (3-4), 225-274.

KAUFFMAN, E. G. (1978a): *An outline of middle Cretaceous marine history and inoceramid biostratigraphy in the Bohemian Basin, Czechoslovakia*. Ann. Mus. Hist. Nat. Nice, 4, XIII.1-XIII.12, 5 láms.

KAUFFMAN, E. G. (1978b): *South African middle Cretaceous Inoceramidae*. Ann. Mus. Hist. Nat. Nice, 4, XVII.1-XVII.6, 2 láms.

KAUFFMAN, E. G. (1979): *Bivalves*. In: HERM, D.; KAUFFMAN, E. G., y WIEDMANN, J.: *The age and depositional environment of the «Gosau»-Group (Coniacian-Santonian)*. Brandenberg/Tirol, Austria. Mitt. Bayern. Staat. Pal. und Hist. Geol., 19, 27-92, láms. 5-11.

KAUFFMAN, E. G. (1980): *Bivalves*. In: KLINGER, H. C.; KAUFFMAN, E. G., y KENNEDY, W. J.: *Upper Cretaceous Ammonites and Inoceramids from the off-shore Alghard group of South Africa*. Ann. S. Afr. Mus., 82 (7), 293-320, 10 figs.

KAUFFMAN, E. G.; COBBAN, W. A., y EICHER, D. L. (1978): *Albian through Lower Coniacian Strata, biostratigraphy, and principal events, Western Interior United States*. Ann. Mus. Hist. Nat. Nice, 4, XXIII.1-XXIII.52, 17 láms.

KAUFFMAN, E. G., y POWELL, J. D. (1977): *Paleontology*. In: KAUFFMAN, E. G.; HATTIN, D. E., y POWELL, J. D.: *Stratigraphic, Paleontologic and Paleoenvironmental analysis of the Upper Cretaceous rocks of Cimarron Country, northwestern Oklahoma*. Mem. geol. Soc. Am., 49-77.

KELLER, S. (1982): *Die Oberkreide der Sack-Mulde bei Alfeld (Cenoman-Unter-Contact)*. Lithologie, Biostratigraphie und Inoceramen. Geol. Jb., A. 64, 154 pp., 8 láms.

KENNEDY, W. J. (1985): *Integrated macrobiostratigraphy of the Albian to basal Santonian*. Pub. from the Pal. Institution of the Univ. of Uppsala, spec. vol. 5, 91-108.

KOCIUBINSKI, S. P. (1958): *Inotserami Kreidovij vidkladiv volino-Podiliskoi nlti*. Izd-Vo AN USSR, 30, 31 pp., 9 láms.

KUCHLER, T., y ERNST, G. (1989): *Integrated Biostratigraphy of the Turonian-Coniacian Transition Interval in Northern Spain with Comparison to NW Germany*. In: WIEDMANN, J. (Ed.): *Cretaceous of the Western Tethys*. Proceedings 3rd International Cretaceous Symposium, Tübingen, 1987, pp. 145-159, 4 figs. text. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

LAMBERT, J. (1935): *Echinides d'Espagne*. I. *Sur quelques echinides cretacés des provinces de Burgos, Palencia et Leon communiqes par M. Raymond Ciry*. II. *Sur quelques echinides cretacés d'Espagne communiqes par M. le prof. Royo Gómez*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat., 35, 513, láms. 57-58.

LAMOLDA, M. A. (1975): *Bioestratigrafía del Turoniense de Arceniega (Alava)*. Prim. Coloq. de estratigrafía y paleogeografía del Cretácico de España. Enadimsa, 7 (1), 63-71.

LAMOLDA, M. A. (1978): *Le passage Cenomanien-Turonien*

dans la coupe de Menoyo (Ayala, Alava). Cahiers de Microp., 4, 21-27.

LAMOLDA, M. A. (1979): Le Crétacé moyen de Menoyo (Ayala, Alava). Cuad. Geol. Ibér., Mid Cret. events Iberian Field Conf., 77, 5, 215-220.

LAMOLDA, M. A. (1981): Le Turonien Basco-Cantabrique et ses faunes caractéristiques. Mem. du Mus. nat. d'Hist. Nat., n. ser. C, 49, 103-112.

LAMOLDA, M. A.; LOPEZ, G., y MARTINEZ, R. (1987): Bioestratigrafía del Coniaciense y Santoniense del valle de Losa (Burgos y Alava). Foraminíferos planctónicos, inoceramidos y ammonitidos. III Jor. Pal., Resúmenes, 212.

LAMOLDA, M. A.; LOPEZ, G., y MARTINEZ, R. (1989): Biostratigraphy of the Middle Coniacian-Lower Santonian at the Losa Valley (N Spain). Geologia/Geology'89. Primer Congr. Cubano de Geol., Simp. Geol. del Caribe Occidental, Reunión de los proyectos 165, 242 y 262 del PICG. Programa y Resúmenes, 222.

LAMOLDA, M. A.; LOPEZ, G., y MARTINEZ, R. (1989): Turonian integrated Biostratigraphy in the Estella Basin (Navarra, Spain). In: WIEDMANN, J. (Ed.): Cretaceous of the Western Tethys. Proceedings 3rd International Cretaceous Symposium, Tübingen, 1987, pp. 145-159, 4 figs. text. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

LAMOLDA, M. A., y MARTINEZ, R. (1986): Bioestratigrafía del Coniaciense y Santoniense en el Norte de Burgos-Oeste de Alava. Paleontología i Evolució, 20, 225-234.

LAMOLDA, M. A., y PROTO-DECIMA, F. (1986): The Turonian-Coniacian boundary in Ollogoyen (Basque Country): Foraminifers and nannoplankton. Cret. Res., 7, 63-75.

LAMOLDA, M. A.; RODRIGUEZ-LAZARO, J., y WIEDMANN, J. (1981): Excursions to Coniacian-Maastrichtian of basque-cantabric basin (Field guide). WGCM 3rd working session in Tremp. Pub. Geol. U.A.B., 14, 1-53.

LOPEZ, G. (1986a): Inocerámidos del Cretácico Superior de los alrededores de St. Corneli (prov. Lleida). Pub. Geol. U.A.B., 22, 121 pp.

LOPEZ, G. (1986b): Distribución de Inocerámidos (Bivalvia) en la zona sudpirenaica central. Paleontología i Evolució, 20, 235-239, 1 lám.

LOPEZ, G. (1987): Los inoceramidos (Bivalvia) del Santoniense y Coniaciense del valle de Losa (Burgos y Alava). III Jor. Pal., Resúmenes, 216.

LOPEZ, G. (1990a): Los inoceramidos (Bivalvia) del Turoniense de Ganuza (Navarra, España). In: J. CIVIS LLOBER y J. A. FLORES (Eds.): Actas de Paleontología. (Actas de las IV Jornadas de Paleontología). Acta Salmanticensia. Biblioteca de las Ciencias, 68, 189-209, 1 lám.

LOPEZ, G. (1990b): Inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana. Paleontología y Bioestratigrafía. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona (Inédita), 551 pp., 124 gráfs., 17 láms.

MANGIN, J. P. (1960): Le Nummulitique Sud-pyrénéen à l'ouest de l'Aragon. Pirineos, 51-58, 1-631.

MANTELL, G. (1822): The Fossils of the South Down; or Illustrations of the Geology of Sussex, 320 pp., 42 láms., London.

MATHEY, B. (1988): Paleogeographical evolution of the Basco-Cantabrian domain during the Upper Cretaceous. In: LAMOLDA, M. A.; MATHEY, B., y WIEDMANN, J.: Field-Guide Excursion to the Cretaceous-Tertiary Boundary section at Zumaya (Northern Spain). In: LAMOLDA, M. A.; KAUFFMAN, E. G., y WALLISER, O. H. (Eds.): Paleontology and Evolution: Extinction Events. Rev. Esp. Pal., núm. extraordinario, 142-147.

MATSUMOTO, T., y NODA, M. (1985): A note on an Inoceramid species (Bivalvia) from the lower Coniacian (Cretaceous) of Hokkaido. Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S., 140, 263-273.

MEEK, F. B. (1877): Paleontology. Rep. Geol. explor. of the 40th paral. Prof. Pap. of the eng. dep. U.S. Army, 184, 142-148, láms. 13 y 14.

MENESSIER, G., y SORNAY, J. (1980): Atlas des macrofossiles des craies de Picardie (Cénomaniens supérieur Campanien). I. Inoceramens, Ammonites et Nautilus. Ed. C.N.D.P., 41 pp., 10 láms.

OEKENTORP, K., y SIEGFRIED, P. (1974): Lamellibranch. In: KAEVER, M.; OEKENTORP, K., y SIEGFRIED, P.: Fossilien Westfalens. Münster Forsch. Geol. Palaeont., 33/34, 123-204, 18 láms.

ORBIGNY, A. d' (1843-47): Paléontologie Française. Terrains Crétacés 3. Les Lamellibranches, 501-522, láms. 403-413.

PERGAMENT, M. A. (1971): Bioestratigraphy and Inoceramas of Turonian-Coniacian deposits of the Pacific regions of the USSR (en ruso). Trudy geol. Inst. An SSSR, 212, 1-202, 73 láms., 30 figs.

RADWANSKA, Z. (1962): Fauna spagowych strefy Inoceramus schloenbachi Wilkanova (Dolni slasak). Inst. geolog. Biuletyn, 173 (10).

RAMIREZ DEL POZO, J. (1971): Bioestratigrafía y Microfaunas del Jurásico y Cretácico del Norte de España (Región Cantábrica). Mem. IGME, 73 (3 vol.), 1-357.

RAT, P. (1983): Les régions basco-cantabriques et nord-ibériques. Présentation, problèmes posés. Mém. Geol. Univ. Dijon, 9, 1-19.

REITNER, J. (1982): A comparative study of the Diagenesis in Diapir-Influenced Reef Atolls and a Fault Block Reef Platform in the Late Albian of the Vasco Cantabrian Basin (Northern Spain). In: SCHROEDER, J. H., y PURSER, B. H.: Reef Diagenesis, Springer-Verlag, Berlín, 186-209.

REITNER, J. (1982): Die Entwicklung von Inselplattform und Diapir-Atollen im Alb des Basko-Kantabrikums (Nordspanien). N. Jahrb. Geol. Palaeont. Abh., 165, 87-101.

RODRIGUEZ-LAZARO, J. M., y LAMOLDA, M. A. (1982): El Senoniense inferior del valle de Losa (Burgos) y sus microfaunas. Cuad. Geol. Iber., 8, 99-110.

RODRIGUEZ-LAZARO, J. M., y LAMOLDA, M. A. (1983): Essai de biostratigraphie quantitative du Senonien Inférieur

du Valle de Losa, Basin basco-cantabrique. Géol. Médit., 10 (3-4), 155-162.

ROEMER, F. (1852): Die Kreidebildungen von Texas und ihre organischen Einschlüsse. Bonn., 100 pp., 11 láms.

SAENZ GARCIA, C. (1933): Nota acerca de la estratigrafía del Supracretácico y del Nummulítico en la cabecera del Nela y zonas próximas. Bol. Soc. Espñ. Hist. Nat., 33, 159-185, láms. 6-13.

SANTAMARIA, R. (1989): Ammonites del Coniaciense-Santoniense de la Cuenca Vasco-Cantábrica (provincias de Burgos y Alava). Tesis de Licenciatura, U.A.B. Inédito, 1-81, 6 láms.

SANTAMARIA, R. (1991): Ammonoideos del Cretácico Superior de la plataforma Norcastellana y parte de la Cuenca Navarro-Cántabra. Paleontología y Bioestratigrafía. Tesis Doctoral. Univ. Autónoma de Barcelona (Inédita), 397 pp., 19 láms.

SCHLÜTER, C. I. (1877): Kreide Bivalven. Zur Gattung Inoceramus. Paläontographica, 24 (26), 249-288, 4 láms.

SCHROEDER, R. (1962): Orbitolinen des Cenomans Südwesteuropas. Paläont. Z., 36, 171-202, láms. 20 y 21.

SCOTT, G. R.; COBBAN, W. A., y MEREWETHER, E. A. (1986): Stratigraphy of the Upper Cretaceous Niobrara Formation in the Raton Basin, New Mexico. New Mexico Bureau of Mines y Mineral Resources, Bulletin, 155, 5-34.

SCUPIN, H. (1912-13): Die Löwenberg Kreide und ihre Fauna. Palaeontographica, 6, 1-276, 15 láms.

SEIBERTZ, E. (1979): Biostratigraphie im Turon des SE-Münsterlandes und Anpassung an die internationale Gliederung aufgrund von Vergleichen mit anderen Oberkreide-Gebieten. Newsl. Stratigr., 8 (2), 111-123, 5 figs.

SEIBERTZ, E. (1986): Paleogeography of the San Felipe Formation (Mid Cretaceous, NE Mexico) and facial effects upon the Inoceramids of the Turonian/Coniacian transition. Zbl. Geol. Paläont., 1, 1171-1181.

SEITZ, O. (1921): Die stratigraphisch wichtigen Inoceramen der norddeutschen Turons. Zeits. Deutsch. geol. Gesell., 73, 99-108.

SEITZ, O. (1959): Vergleichende stratigraphie der oberkreide in Deutschland und in Nordamerika mit Hilfe der Inoceramen. Congreso Geol. Int. XX sesión. El Sistema Cretácico, 1, 113-129.

SEITZ, O. (1965): Die Inoceramen des Santon und Unter-Campan II von Norwestdeutschland. II Teil. Beihefte zum Geol. Jb., 69, 3-194, 11 figs., 26 láms.

SOBETSKI, V. A.; NEJRIKOVA, N. I.; BALAN, T. M.; PLAMADILA, G. S.; MASLENNIKOVA, L. N.; SAVCHINSKAYA, O. V.; KYAZMICHEVA, E. I.; BENYAMOVSKIY, V. N., y VOLCHEGURSKIY, L. F. (1982): Inoceramidae. In: Atlas de Invertebrados marinos del Cretácico Superior de la cavidad del Caspio. Academia de Ciencias de la USSR. Trabajos del Inst. de Paleontología (Ed. Ciencia), 82-96, láms. 7-10 (en ruso).

SORNAY, J. (1978): Etude Paléontologique. In: SORNAY, J., y BILOTTE, M.: Faunes d'Inocérames du Campanien et du

Maastrichtien des Pyrenees. Ann. Pal. (Inv.), 64 (1), 27-45, 4 figs., 6 láms.

SOWERBY, J. (1814): In: Ann. Phil., 4, 448.

SOWERBY, J. (1822): Trans. Linn. Soc., 13, 453, lám. 25.

SOWERBY, J. (1823): The Mineral conchology of Great Britain, 5, 59-62, láms. 440-442.

SZASZ, L. (1985): Contribution to the knowledge of Inoceramus fauna from Romania. I. Coniacian Inoceramus from the Babadag Basin (north Dobrogea). Mem. Inst. Geol. si Geofiz., 32, 137-184, 40 láms.

SZASZ, L., y ION, J. (1988): Crétacé supérieur du Bassin de Babadag (Roumanie). Biostratigraphie intégrée (ammonites, inocérames, foraminifères planctoniques). Centrale-Département de la Géologie. Institut de Géologie et de Géophysique. Memoires, 33, 91-174, láms. 6-30.

TRÖGER, K. A. (1967): Zur Paläontologie, Biostratigraphie und faziellen Ausbildung der unteren Oberkreide (Cenoman bis Turon, I). Abhandl. staatl. Mus. Miner. Geol. Dresden, 12, 13-207, láms. 45-54.

TRÖGER, K. A. (1972): Zur Biostratigraphie der Ober-Turon bis Unter-Santon aus dem Schachtaufschluss der Zeche Grimberg IV bei Bergkamen (BRD). Freib. Forsch. Hc., 298, 109-138, 10 láms.

TRÖGER, K. A. (1989): Problems of Upper Cretaceous Inoceramid Biostratigraphy and Paleobiogeography in Europe and Western Asia. In: WIEDMANN, J. (Ed.): Cretaceous of the Western Tethys. Proceedings 3rd international Cretaceous Symposium, Tübingen 1987, 911-930.

TZANKOV, V. (1981): Inoceramidae. In: TZANKOV, V.; PAMOUKTCHEV, A.; TCHECHMEDJIEVA, V.; MOTKOVA, N.: Les fossiles de Bulgarie (in Bulgarian), vol. V: Crétacé supérieur. Academie Bulgare des Sciences, 81-91, láms. 22-44.

VOKES, H. E. (1980): Inoceramus. In: Genera of the Bivalvia: A systematic and bibliographic Catalogue (Revised and Updated). Paleontological Research Inst., 40-55, 226-227.

VOUTE, C. (1951): Inocerames algériens HEINZ, une espèce mal connue d'Algérie: avec quelques nouvelles informations sur la mode de vie des Inocérames. BSGF, 6 ser., 1, 205-211, lám. 5b.

WIEDMANN, J. (1960): Le Crétacé supérieur de l'Espagne et du Portugal et ses Céphalopodes. C. R. 84e Congrès Soc. Savantes Paris et Départm., Dijon, 1959, sec. Sci. Sous-sec. Géol., 709-764.

WIEDMANN, J. (1962): Contribution à la paléogéographie du Crétacé Vasco-gotique et Celtibérique septentrional (Espagne). In: Livre à la mémoire du Professeur P. Fallot, 1 Mém. n. ser., SGF, 351-366, 3 láms.

WIEDMANN, J. (1964): Le Crétacé supérieur de l'Espagne et de Portugal et ses Céphalopodes. Estud. geol., 20, 107-148.

WIEDMANN, J. (1979): Mid Cretaceous Events. Iberian Field Conference 77. Guide II Partie. Itinéraire géologique a tra-

vers le cretace moyen des Chânes Vascogothiques et Celtibériques (Espagne du Nord). Cuad. Geol. Ibérica, 5, 127-214.

WIEDMANN, J., y KAUFFMAN, E. G. (1978): *Mid-Cretaceous biostratigraphy of northern Spain*. Ann. Mus. d'Hist. Nat. de Nice. IV. Mid-Cretaceous events reports on the biostratigraphy of key areas, 4, III.1-III.34, 12 láms.

WOLANSKY, D. (1932): *Die Cephalopoden und Lamellibranchiaten der Ober-kreide Pommerns*. Abh. geol. palaeont. Inst. Univers. Greifswald., 1-72.

WOODS, H. (1904-13): *A monograph of the Cretaceous la-*

mellibranchia of England. Palaeont. Soc., 2, 262-340, láms. 45-54.

WOODS, H. (1912): *The evolution of Inoceramus in the Cretaceous Period*. Quart. J. Geol. Soc. London, 68, 1-20, 93 figs. text.

ZANDER, J. (1988): *Die Ober-Kreide der Berranca im Raum Alsasua (Provinz Navarra, Nordspanien), aus mikropaläontologischer Sicht*. Tesis de Licenciatura, FU Berlín. Inédita, 1-127.

ZAZVORKA, V. (1982): *Kotazce vtisku svalovych uponu inoceramu* (en checoslovaco). Casopis Narod. Muzea v Praze, 151 (2), 64-76.

Original recibido: Noviembre de 1991.

Original aceptado: Diciembre de 1991.

Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte III).

Por J. GARCIA-SANSEGUNDO (*)

RESUMEN

Esta publicación corresponde a la tercera parte del estudio geológico realizado en esta transversal de la Zona Axial Pirenaica. En esta parte se describen las estructuras del tercer dominio, que de entre los tres diferenciados, corresponde al de la Alta Ribagorça. Además, se realiza una correlación entre las estructuras de los tres dominios, estableciendo la secuencia de deformación.

El Dominio de la Alta Ribagorça corresponde al autóctono del cabalgamiento de Gavarnie. La estructura hercínica es comparable a la del Dominio del Valle de Arán, descrito en la segunda parte de este trabajo. Esta estructura hercínica consta de pliegues derechos, en la parte septentrional del dominio, o vergentes al sur hacia la meridional. A estos pliegues se asocia la foliación principal (S_3) de este dominio y del Dominio del Valle de Arán. Previamente al desarrollo de las estructuras principales, en el Dominio de la Alta Ribagorça, se observa la existencia de pliegues vergentes al norte, a los que puede ir asociado un clivaje primario, que por correlación con los otros dominios se denomina S_2 . En algunas zonas, como son el Sinclinorio de Plan d'Estan y el Anticlinorio de Sierra Negra, estos pliegues vergentes al norte son muy evidentes. En otras zonas, como es el Anticlinorio Central, se observa, únicamente, un buen desarrollo del clivaje S_2 . En las áreas más meridionales del dominio no se reconoce el clivaje asociado a estos pliegues vergentes al norte. Aparte de estos dos sistemas de pliegues hercínicos, en el Dominio de la Alta Ribagorça se reconocen cabalgamientos, posiblemente hercínicos, ya que ocasionalmente aparecen plegados por estructuras de la generación principal. En otros casos, se puede observar que estos cabalgamientos cortan a las estructuras hercínicas principales, por lo que es factible suponer que han rejugado tardíamente, posiblemente durante la deformación alpina. El mejor ejemplo de este tipo de estructuras lo constituye el Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties.

En cuanto a las estructuras alpinas de este dominio, se reconocen numerosos cabalgamientos que involucran conjuntamente a rocas permo-triásicas y a rocas paleozoicas que conservan la estructura hercínica. Las estructuras hercínicas principales de este dominio pasan de estar subverticales hacia el norte, a encontrarse buzando unos 30° al norte en la parte meridional del dominio. Esta disposición en abanico es debida al apilamiento antiformal de cabalgamientos observable en esta parte de la Zona Axial. Los cabalgamientos alpinos más importantes son el Cabalgamiento de Gavarnie, el de Senet y el de Bono.

Una vez realizada la descripción de los tres dominios, la secuencia de deformación propuesta para toda esta transversal de la Zona Axial pirenaica, es la siguiente:

- Estructuras de primera generación (D_1).—Clivaje primario (S_1), únicamente observable en el Domo del Garona, asociado a estructuras vergentes al sur. Nunca han sido reconocidos pliegues de esta generación.
- Estructuras de segunda generación (D_2).—Pliegues vergentes al norte a los que va asociado un clivaje o una esquistosidad de crenulación (S_2), que es la foliación principal en el Domo del Garona. En el resto del área estudiada, la S_2 es un clivaje primario.
- Estructuras de tercera generación (D_3).—Pliegues derechos, de dirección E-O, a los que se asocia un clivaje de crenulación o primario (S_3), que es la foliación principal en los dominios del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça. Estas estructuras, en el Valle de Arán, se relacionan con un despegue localizado en las rocas silúricas.
- Estructuras de cuarta generación (D_4).—Pliegues derechos de dirección E-O, que deforman a los despegues de las rocas silúricas. Solamente son observables en el Domo del Garona.

Otras estructuras no se incluyen en esta secuencia de deformación, debido a su escaso desarrollo o a su carácter local.

Palabras clave: Pirineos, Zona Axial, Hercínico, Alpino, Pliegue, Despegue, Clivaje, Esquistosidad.

(*) División de Geología (ITGE). Mayor, 20. 22700 Jaca (Huesca). España.

A B S T R A C T

This publication is the third part of the geological study of the Axial Zone of the Pyrenees. This part is about the structural study of the Alta Ribagorça Domain. This domain is the southernmost one of the three domains distinguished. The deformational sequence of the entire traverse of the Axial Zone made in this study is explained also in this part.

The Alta Ribagorça Domain constitutes the footwall of the alpine Gavarnie Thrust. The hercynian structures are comparable to those of the Aran Valley Domain, described in the second part of this publication. The hercynian structures of this domain are constituted by upright or south-verging folds with E-W trend, to which is associated the main foliation (S_3). Previous to these main structures, north-verging folds are found. Sometimes, to these folds is associated the first cleavage (S_2) in this area. This cleavage is named S_2 by correlation with the other domains. In the Plan d'Estan Synclinorium and Sierra Negra Anticlinorium, the north-verging folds are evident. However, in the Central Anticline, only S_2 cleavage has been found. In the southern part of this domain, the north-verging structures are poorly developed.

In the Alta Ribagorça Domain thrusts are also found, which are deformed by the main folds. In other areas, these thrusts are seen to deform these main folds, which can be explained by a late reactivation of these thrusts. These structures can be interpreted as hercynian thrusts, reactivated during the alpine Orogeny. The best example of this structures is the «Puerto de la Picada-Valarties Thrust».

Many alpine south-directed thrusts in the southern domain are present affecting the Permo-Triassic and the Paleozoic rocks with hercynian deformation. The hercynian structures are upright in the northern part of this domain, while in the southern part of the domain the axial planes are inclined to the North. This fan attitude of these hercynian structures is due to the antiformal stacking produced by the alpine thrusts typical in the southern part of the Axial Zone of the Pyrenees. The best developed alpine thrusts in the Alta Ribagorça Domain are the Gavarnie, Senet and Bono thrusts.

The deformational sequence of the hercynian structures in the whole study area is:

- First structures (D_1).—Slaty cleavage S_1 , only found in the Garona Dome. This foliation is associated with south-verging structures, which are deduced by not directly observed.
- Second structures (D_2).—North-verging folds with crenulation cleavage or schistosity (S_2).—This foliation is the main one of the Garona Dome. In the rest of the study area, these are the first structures recognized.
- Third structures (D_3).—Upright folds with E-W trend. The crenulation cleavage or slaty cleavage associated is the main foliation in the Aran Valley and Alta Ribagorça domains. In the Aran Valley domain, these structures are related with a «décollement» level located in the silurian amplites.
- Fourth structures (D_4).—Upright folds with E-W trend, which are only found in the Garona Dome. These structures deform the «décollement» level of the Silurian amplites. Other local structures with scarce development are not included in this deformational sequence.

Key words: Pyrenees, Axial Zone, Hercynian, Alpine, Fold, Decollement, Cleavage, Schistosity.

Este trabajo corresponde a la tercera parte de la memoria de la Tesis Doctoral realizada por quien suscribe este trabajo. En la primera parte, anteriormente publicada, se realizó una descripción de la estratigrafía de la zona estudiada. Posteriormente, en la segunda parte, se publicaron datos referentes a la estructura de los dominios del «Domo del Garona» y del «Valle de Arán», así como las relaciones entre ambos.

En esta tercera publicación se completa la parte correspondiente al capítulo de tectónica, con la descripción de las estructuras del tercer dominio de la «Alta Ribagorça». Asimismo, se realiza un ensayo de correlación entre todas las estructuras observadas en esta transversal de la Zona Axial pirenaica, intentando establecer la secuencia de deformación en esta zona.

En la cuarta parte, que será publicada posteriormente, se intentará llevar a cabo una comparación entre las estructuras de la zona estudiada y de otros sectores de la Zona Axial pirenaica. También se explicarán y comentarán algunos aspectos de la estructura alpina que afecta a rocas paleozoicas, delimitando láminas cabalgantes que conservan la estructura hercínica en su interior. Por último, se realizará un capítulo donde se elabora una historia geológica a partir de las principales conclusiones extraídas de este trabajo.

3.7. LA ESTRUCTURA DEL DOMINIO DE LA ALTA RIBAGORÇA

En la zona de Gavarnie, al oeste del área estudiada, puede observarse una importante estruc-

tura alpina (fig. 34). Se trata de un cabalgamiento que da lugar a la ventana tectónica de Gavarnie, en cuyo núcleo afloran rocas paleozoicas afectadas por un importante metamorfismo hercínico, pudiéndose llegar a reconocer migmatitas. Por encima del cabalgamiento afloran rocas paleozoicas afectadas por un metamorfismo en facies de los esquistos verdes. Al este de la ventana tectónica (fig. 34) aparece de nuevo el Cabalgamiento de Gavarnie, esta vez en semi-ventana al estar afectado por un pliegue antiformal con inmersión hacia el oeste, de forma que hacia la parte oriental se van alejando dos trazas de dicho cabalgamiento. La traza septentrional atraviesa la Zona Axial, afectando a materiales principalmente paleozoicos y pasa por la zona estudiada al sur del Sinclinorio del Valle de Arán. La traza meridional afecta a las rocas mesozoicas y paleozoicas de la zona de las Nogueras, situadas al sur de la Zona Axial, fuera ya del área estudiada. Por lo tanto, entre estos dos límites aparece el autóctono del Manto de Gavarnie, que corresponde al Dominio de la Alta Ribagorça. Aunque toda la Zona Axial se encuentra afectada por la Orogenia alpina, es en este sector donde se localizan numerosos cabalgamientos alpinos que delimitan láminas cabalgantes infrayacentes al Manto de Gavarnie.

En lo referente a la estructura hercínica de este dominio, en líneas generales, no difiere demasiado de la descrita en el Sinclinorio del Valle de Arán. Se pueden reconocer una serie de estructuras mayores sintetizadas en la figura 32 y que de norte a sur son las siguientes:

- Anticlinal Central, que se encuentra al norte limitado por el Cabalgamiento de Gavarnie y al sur por otro cabalgamiento, posiblemente hercínico, que es el del Puerto de la Picada-Valarties. Este anticlinal es una estructura hercínica en el núcleo de la cual afloran rocas presilúricas; en los flancos aparecen materiales silúricos y algunos afloramientos de calizas devónicas.
- Sinclinorio de Plan d'Estan, que se localiza más al sur y está separado del Anticlinal Central por el Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties. Al sur se encuentra limitado por la Granodiorita de la Maladeta. Es una estructura constituida por varios pliegues que afectan a calizas devónico-carboníferas

y a la serie siliciclástica carbonífera en facies «Culm».

- Granodiorita de la Maladeta, que es un cuerpo ígneo alargado en dirección E-O, que corta a prácticamente todas las estructuras hercínicas y se ve afectado por zonas de cizalla posiblemente alpinas.
- Anticlinorio de Sierra Negra, que se sitúa al sur de la Granodiorita de la Maladeta y es una estructura hercínica compleja, en cuyo núcleo afloran rocas fundamentalmente silúricas.
- Sector de cabalgamientos de Castanesa, que es una zona situada entre el Anticlinorio de Sierra Negra y el borde sur de la Zona Axial pirenaica. Esta área está ocupada por rocas paleozoicas y permo-triásicas, intensamente afectadas por cabalgamientos alpinos.

3.7.1. El Anticlinal Central

Es la estructura hercínica mayor, más septentrional del Dominio de la Alta Ribagorça. Su denominación se debe a KLEINSMIEDE (1960), que posteriormente fue mantenida por ZWART (1979) y por otros autores holandeses. Por otro lado, DONNOT y GUERANGE (1969) han denominado a esta estructura Antiforme del Pic de Mine. Hacia la parte occidental este antiforme ocupa una mayor extensión, y en su núcleo afloran rocas afectadas por un mayor metamorfismo y neises. En esta zona, esta estructura es conocida con el nombre de Macizo de Lys-Caillaouas. En la parte situada más al norte, el antiforme se encuentra cortado por el Cabalgamiento alpino de Gavarnie que en este sector no superpone serie, ya que aparecen rocas devónicas cabalgando sobre materiales silúricos o presilúricos. El borde Sur del Anticlinal Central viene marcado por un cabalgamiento subvertical que superpone rocas silúricas o presilúricas sobre materiales devónico-carboníferos, pertenecientes al Sinclinorio de Plan d'Estan (mapa geológico núm. 1). Esta estructura corresponde al cabalgamiento del Puerto de la Picada-Valarties, que según algunos autores es de edad hercínica, ya que se encuentra truncado por el granito hercínico de Lys-Caillaouas (GUERANGE) (*) (com. pers.).

(*) BRGM, Toulouse (Francia).

En conjunto, el Anticlinal Central corresponde a una estructura alargada cuya dirección varía de E-O a N-100-E. A él se asocia un clivaje de crenulación (S_3), que es la foliación principal en este dominio. Las estructuras menores asociadas al Anticlinal Central, en general, son escasas. Los ejes de los pliegues son subhorizontales, tal y como se puede observar en el mapa geológico número 1 y en la figura 89. Esta disposición contrasta significativamente con la observada en el Sinclinorio del Valle de Arán, don-

de los ejes de los pliegues generalmente se inclinan fuertemente hacia el este. No obstante, en el Anticlinal Central se observan suaves cabeceos de la charnela (mapa geológico núm. 1). Así, en la parte más occidental de esta estructura se puede observar una terminación periclinal en las rocas presilúricas, localizada en la zona de Artiga de Lin. Este cierre da lugar al afloramiento de las Calizas Basales del Devónico que aparecen intensamente plegadas en el núcleo de esta estructura, en el sector situado entre el Mont-

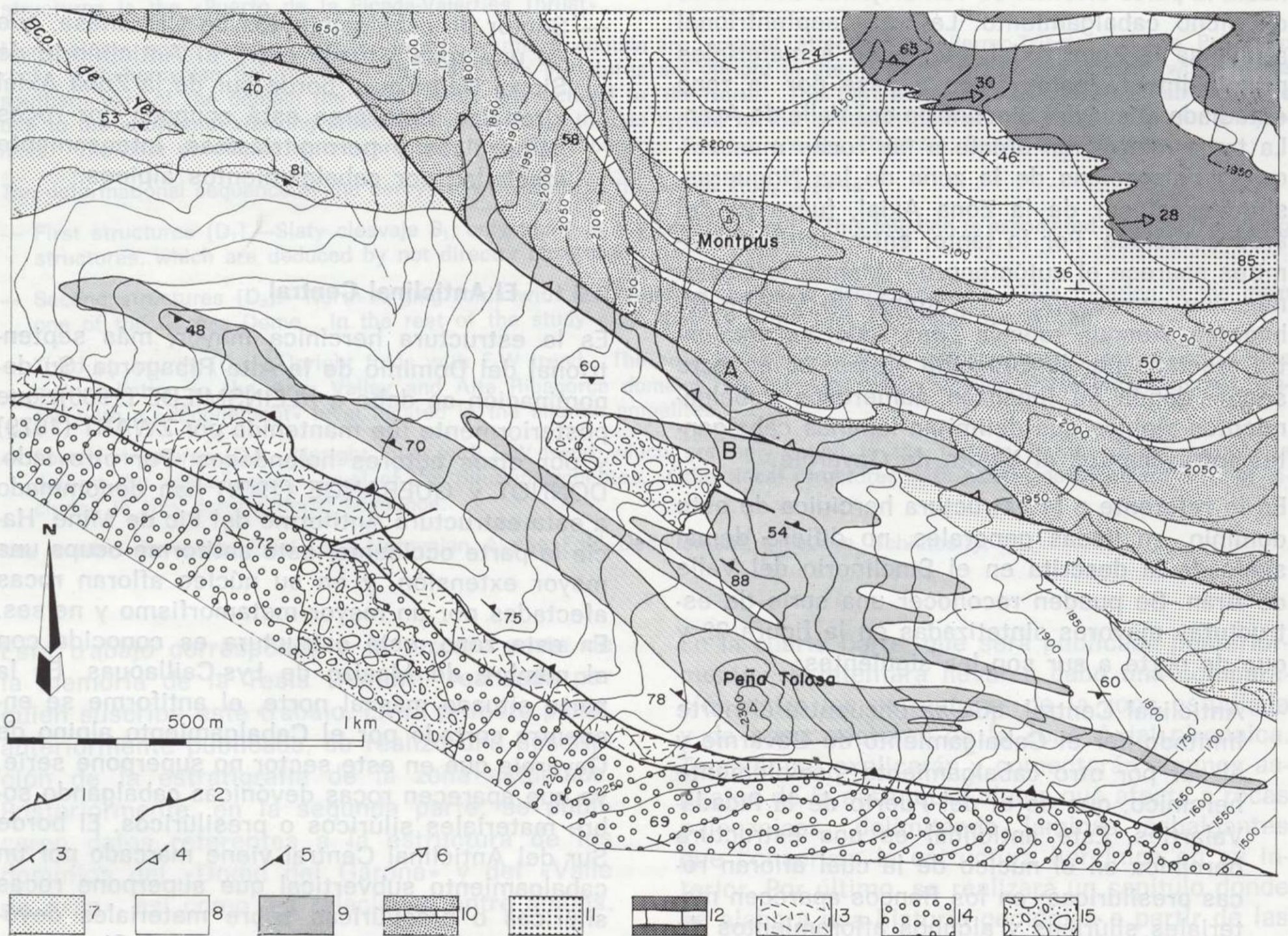


Figura 89.—Mapa geológico del área comprendida entre los Picos Montpius y Peña de la Tolosa, donde al sur del Cabalgamiento de Gavarnie se observa un buen desarrollo de pliegues derechos que afectan a las calizas devónicas, cuyo eje es subhorizontal, como se puede observar por los cierres sinclinales a ambos lados de la Peña de Tolosa.

1. Cabalgamiento de Gavarnie.—2. Cabalgamiento de puerto la Picada-Valarties.—3. Estratificación.—4. Clivaje dominante (S_3).—5. Clivaje dominante y estratificación ($S_3 + S_0$).—6. Lineación perteneciente a la generación dominante (L_3).—7. Rocas presilúricas.—8. Rocas silúricas. 9.—Caliza Basal del Devónico.—10. Serie de Entecada.—11. Areniscas de Auba.—12. Pizarras de Sa Fustà y Caliza de Montcorbissun.—13.—Calizas del Devónico Superior y Carbonífero Inferior.—14. Carbonífero en facies «Culm».—15. Cuaternario.—A-B. Situación del corte de la figura 98 a.

En conjunto, el Anticlinal Central corresponde a una estructura alargada cuya dirección varía de E-O a N-100-E. A él se asocia un clivaje de crenulación (S_3), que es la foliación principal en este dominio. Las estructuras menores asociadas al Anticlinal Central, en general, son escasas. Los ejes de los pliegues son subhorizontales, tal y como se puede observar en el mapa geológico número 1 y en la figura 89. Esta disposición contrasta significativamente con la observada en el Sinclinorio del Valle de Arán, don-

de los ejes de los pliegues generalmente se inclinan fuertemente hacia el este. No obstante, en el Anticlinal Central se observan suaves cabeceos de la charnela (mapa geológico núm. 1). Así, en la parte más occidental de esta estructura se puede observar una terminación periclinal en las rocas presilúricas, localizada en la zona de Artiga de Lin. Este cierre da lugar al afloramiento de las Calizas Basales del Devónico que aparecen intensamente plegadas en el núcleo de esta estructura, en el sector situado entre el Mont-

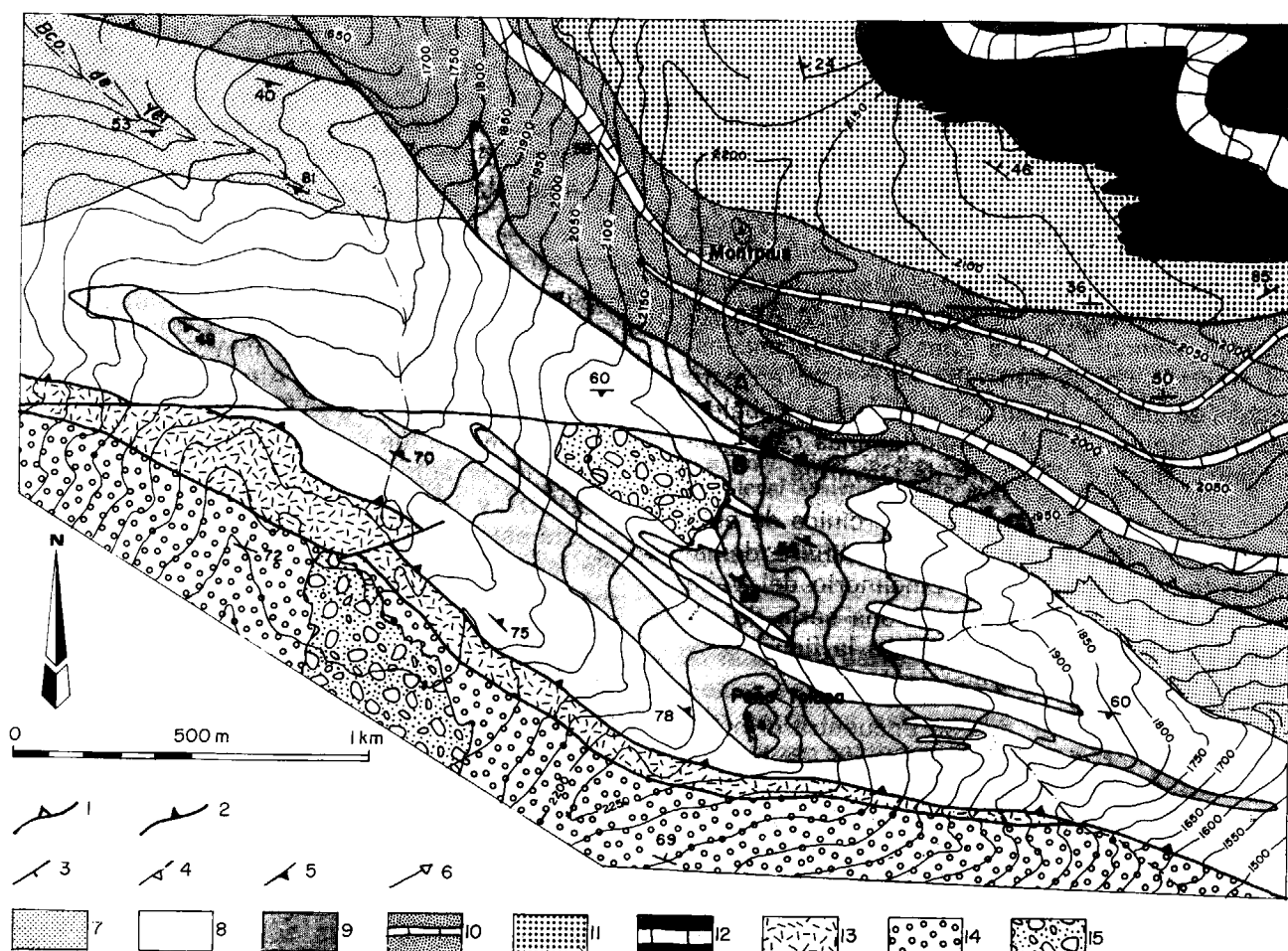


Figura 89.—Mapa geológico del área comprendida entre los Picos Montpius y Peña de la Tolosa, donde al sur del Cabalgamiento de Gavarnie se observa un buen desarrollo de pliegues derechos que afectan a las calizas devónicas, cuyo eje es subhorizontal, como se puede observar por los cierres sinclinales a ambos lados de la Peña de Tolosa.

1. Cabalgamiento de Gavarnie.—2. Cabalgamiento de puerto la Picada-Valarties.—3. Estratificación.—4. Clivaje dominante (S_3).—5. Clivaje dominante y estratificación (S_3+S_0).—6. Lineación perteneciente a la generación dominante (L_3).—7. Rocas presilúricas.—8. Rocas silúricas. 9.—Caliza Basal del Devónico.—10. Serie de Entecada.—11. Areniscas de Auba.—12. Pizarras de Sa Fustà y Caliza de Montcorbissun.—13.—Calizas del Devónico Superior y Carbonífero Inferior.—14. Carbonífero en facies «Culm».—15. Cuaternario.—A-B. Situación del corte de la figura 98 a.

pius y la Roca de la Tolosa. Más al este, en la zona de Riu Nere, nuevamente afloran rocas presilúricas. Estas ocupan el núcleo del Anticlinal Central hasta la zona más oriental del área estudiada en la zona de Valarties, donde periclina esta estructura y se encuentra cortada por diversas fallas. Estas variaciones en la posición de los ejes de los pliegues en el Anticlinal Central nunca llegan a ser tan importantes como las que se aprecian en el Sinclinorio del Valle de Arán (mapa geológico núm. 1, fig. 89). Debido al carácter penetrativo del clivaje principal y al metamorfismo de contacto que producen los granitos de la Maladeta y Arties, no ha sido posible obtener medidas de ejes de pliegues o de lineaciones de intersección en esta zona. No se han observado macro- y mesoestructuras anteriores al desarrollo de los pliegues principales. Sin embargo, en las láminas delgadas estudiadas se observa la existencia de un clivaje primario (S_2), de carácter regional, que de sus relaciones con la estratificación se deduce que está asociado a pliegues de vergencia hacia el norte. Esta foliación está deformada por el clivaje principal (S_3) que es paralelo al plano axial del Anticlinal Central.

En zonas situadas al oeste del área estudiada, en el sector situado entre el Hospice de France y el puerto de Benasque, han sido reconocidos pliegues vergentes al norte, anteriores al clivaje principal y posiblemente relacionados con el clivaje (S_2) (DONNOT y GUERANGE, 1969). Estos autores dedujeron esta vergencia de las relaciones entre la estratificación y clivaje primario (S_2), siendo conocida la polaridad de la serie.

En la zona estudiada es frecuente la presencia de filones de cuarzo oblicuos a la estratificación. Suelen tener un espesor entre 0,5 y 10 centímetros. Por lo general, se encuentran plegados por las estructuras de la generación principal, responsables de la macroestructura de la región, por lo que estos filones podrían estar relacionados con el desarrollo del primer clivaje reconocible en la zona (S_2). Otros filones de mayor espesor (más de 1 m.) no se han observado plegados, por lo que podrían ser más tardíos.

En cuanto a las estructuras de la generación principal, a escala de afloramiento, son poco visibles cuando afectan a rocas presilúricas. En la zona del Tuc de l'Escaleta, al NO de Artiga de Lin,

se han podido observar algunos pliegues de escala centimétrica (fig. 90). Por lo general, son pliegues de formas D-E y amplitudes entre 3 y 4, según la clasificación de HUDLESTON (1973). Cuando afectan a calizas devónicas, los pliegues aparecen bien desarrollados a escala cartográfica, tal y como se puede observar en la zona entre el Montpius y la Roca de la Tolosa (mapa geológico núm. 1, fig. 89). A menor escala, estos pliegues son difícilmente visibles, ya que el clivaje (S_3) impide la observación de la estratificación. A estos pliegues se asocia un clivaje de crenulación (S_3), generalmente en posición subvertical, que a veces se encuentra plegado por deformaciones posteriores (fig. 91). La relación no resulta evidente en el área estudiada, debido a la dificultad para observar relaciones de estratificación-clivaje (S_3). Sin embargo, en la zona del Hospice de France-Puerto de Benasque, se puede apreciar con claridad (DONNOT y GUERANGE, 1969).

Con posterioridad al clivaje de crenulación (S_3), se ha observado otra foliación subhorizontal o inclinada al NE, poco penetrativa y de distribución irregular (S_4) (*) (fig. 92), que se reconoce en numerosos afloramientos del Anticlinal Central. Por su disposición podría ir asociada a unos pliegues de plano axial subhorizontal que afectan al clivaje principal y al Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties, como se verá posteriormente. Estas estructuras son muy tardías, por lo que no se descarta que correspondan a una deformación alpina, posiblemente ligada al Cabalgamiento de Gavarnie.

— Microestructuras observadas en el Anticlinal Central

A partir del estudio de láminas delgadas, realizado sobre rocas pelíticas, se ha observado la existencia de una foliación primaria definida por la orientación dimensional preferente de cristales de moscovita, clorita, cuarzo y algunos minerales opacos (S_2). Corresponde a una foliación muy penetrativa y homogénea que puede ser clasificada como un clivaje pizarroso o un clivaje

(*) Se denominará S_4 a un clivaje generalmente poco desarrollado, que afecta a las últimas estructuras hercínicas reconocibles, y que como se verá posteriormente se interpreta que puede tratarse de un clivaje alpino.

pizarroso grosero (figs. 93 y 94). En el caso de que afecte a rocas más arenosas, los planos de clivaje son más discontinuos y se puede clasificar como un clivaje grosero.

Este clivaje primario se encuentra afectado por un microplegamiento que frecuentemente llega a constituir un clivaje de crenulación (S_3). El clivaje de crenulación en ocasiones presenta dominios donde los filosilicatos (moscovita y clorita) aparecen muy paralelos, formando un ángulo bajo con el plano de la foliación y que corresponden a los flancos de los micropliegues. Los microlitos tienen un grosor que oscila entre 20 y 50 micras, siendo de 40 micras el espesor más frecuente (figs. 93 y 94). En estos microlitos se

observa la existencia de filosilicatos (moscovita y clorita) y cuarzo, formando un ángulo alto con los planos del clivaje de crenulación (S_3) y que definen el clivaje primario (S_2) (fig. 90 a).

Frecuentemente, se puede observar la formación de una tercera foliación (S_a) muy espaciada que afecta al clivaje dominante anteriormente descrito (S_3). Cuando esta foliación afecta a niveles de cuarzo, se observa la actuación de mecanismos de disolución por presión con gran acumulación de materiales opacos. En el caso de rocas pizarrosas, únicamente se observa el plegamiento de los clivajes anteriormente descritos, pero sin llegar a formar nuevos planos de foliación (fig. 92 b).

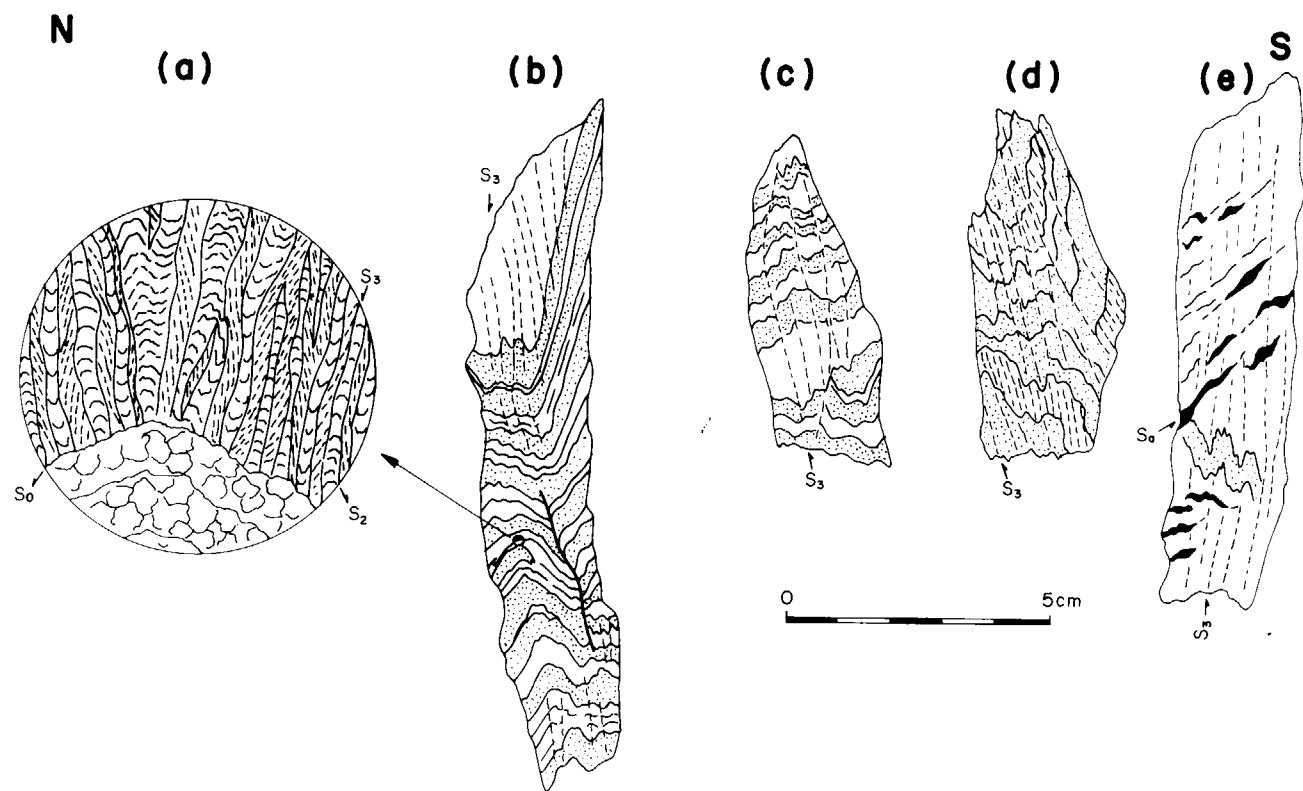


Figura 90.—Aspecto de diversos pliegues de la generación dominante a los que se asocia la foliación principal (S_3) del Anticlinal Central.

- a) Detalle a escala microscópica donde se observa que el clivaje principal es de crenulación y pliega a una fábrica primaria asociada a estructuras vergentes al norte.
- b, c, d) Aspecto en muestra de mano de los pliegues de la generación dominante.
- e) Clivaje principal afectado por una foliación posterior, posiblemente alpina; las zonas oscuras corresponden a acumulaciones de materiales opacos.

— Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties

El límite meridional del Anticlinal Central viene definido por una estructura que fue denominada Falla del sur de Joeu por KLEINSMIEDE (1960) y que en este trabajo recibe el nombre de Cabalgamiento de Puerto la Picada-Valarties. Tiene una dirección aproximada E-O y es vergente al sur, superponiendo las rocas del Anticlinal Central sobre materiales devónico-carboníferos del Sinclinorio de Plan d'Estan. A lo largo de su trazado, esta estructura es subvertical o buza al norte o al sur debido a que se encuentra plegada por estructuras posteriores, correspondientes a los pliegues de plano axial subhorizontal anteriormente citados (fig. 95).

En la zona del Puerto de Benasque, afloran solamente parte de la charnela y el flanco norte del Anticlinal Central, este último constituido por unos 2.000 metros de rocas con edad Cambro-Ordovícica, faltando parte de la charnela y todo el flanco meridional que están cortados por el Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties (DONNOT y GUERANGE, 1969) (fig. 96). Por el contrario, en la zona estudiada, en el sector del Mall Blanc y de la Roca Tolosa, es el flanco meridional el que se presenta cortado por el cabalgamiento y está constituido por rocas devónicas (mapa geológico núm. 1). Esta oblicuidad entre el Anticlinal Central y el Cabalgamiento

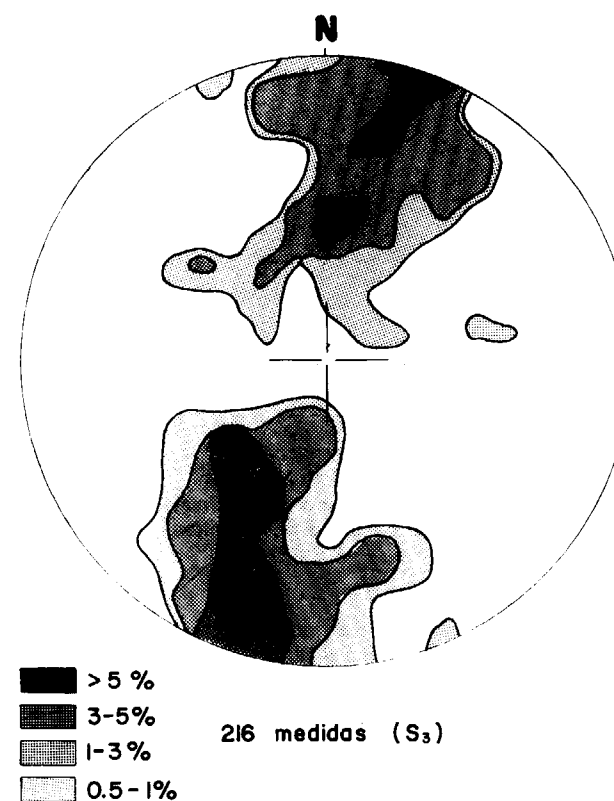


Figura 91.—Estereograma donde se muestran los polos de la foliación dominante (S_3). Todas las medidas pertenecen al Anticlinal Central y se aprecia que pasa de estar vertical a muy tendida, debido a la existencia de estructuras posteriores.

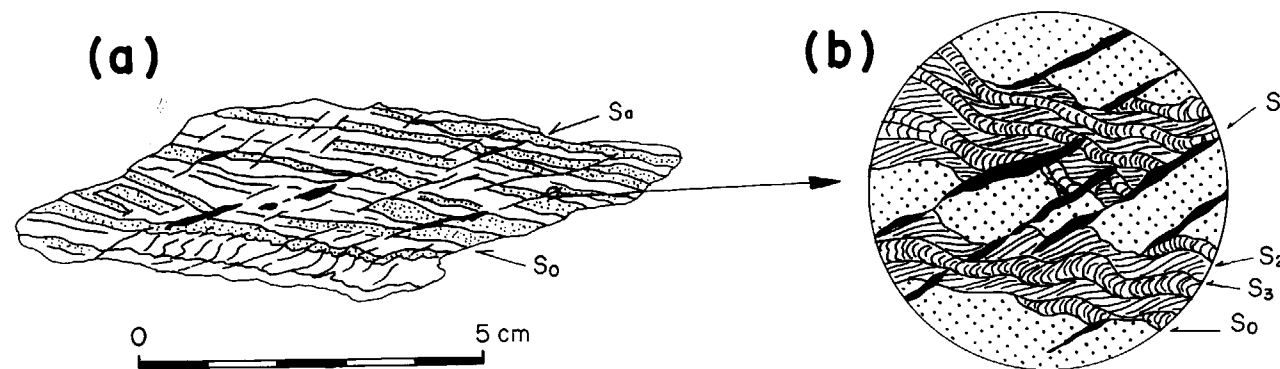


Figura 92.

- a) Aspecto en muestra de mano del clivaje subhorizontal (S_a), que deforma a las estructuras de la generación dominante.
- b) Aspecto microscópico de la misma foliación (S_a) que cuando afecta a cuarcitas produce una fuerte disolución por presión y por el contrario en los niveles pizarrosos únicamente produce un microplegamiento.



Figura 93.—Pliegue al que se asocia el clivaje de crenulación dominante (S_3) del Anticlinal Central, que deforma una fábrica previa (S_2). Escala de la barra, 0,1 mm.



Figura 94.—Aspecto anastomosado del clivaje de crenulación dominante en el Anticlinal Central (S_3), afectando a pizarras presilúricas. Se observa el clivaje primario (S_2). Escala de la barra, 50 micras.

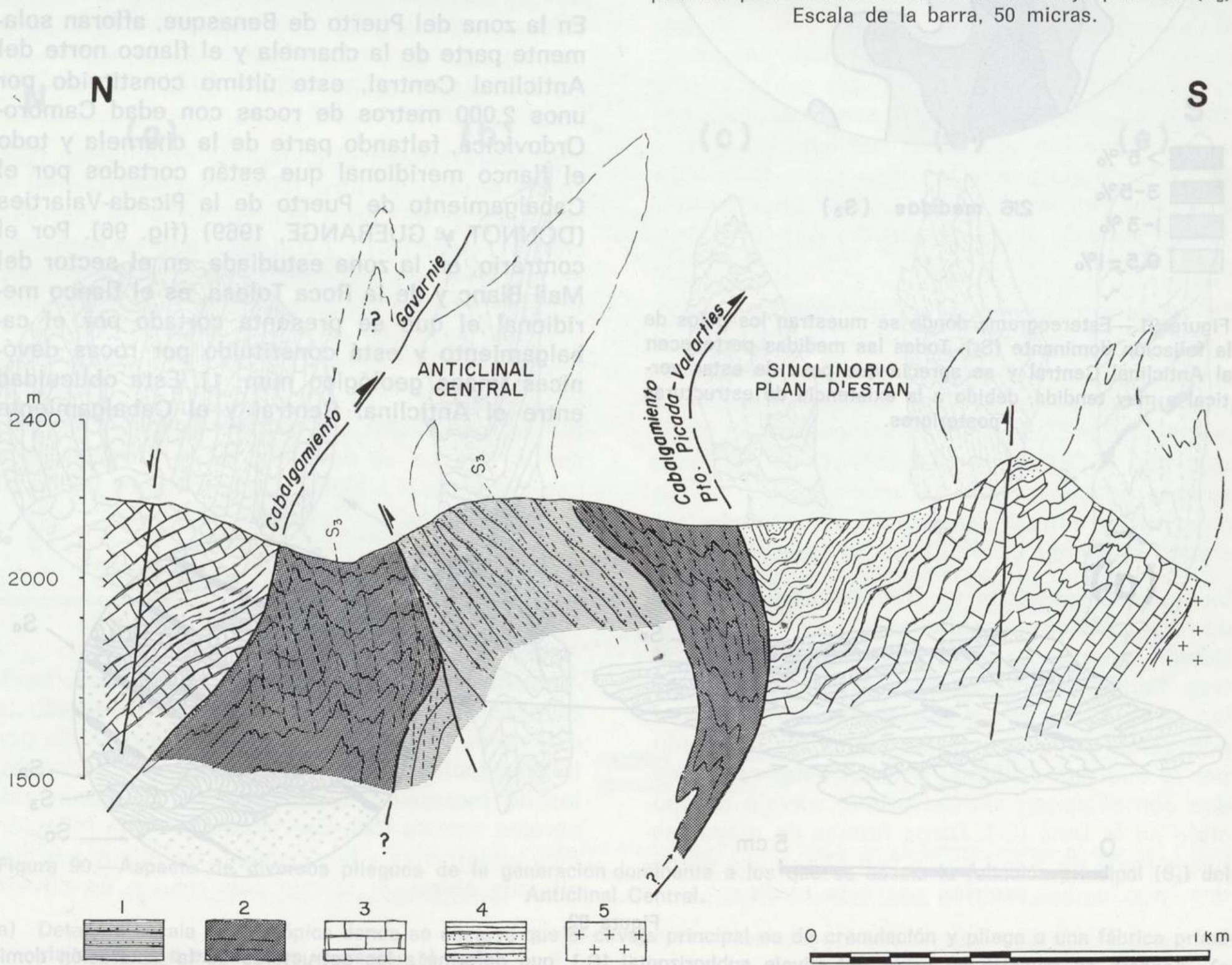


Figura 95.—Corte geológico del Anticlinal Central, unos 2 kilómetros al oeste de Valarties, donde se observa el Cabalgamiento del Puerto de La Picada-Valarties plegado, posiblemente por estructuras alpinas.

1. Roccas presilúricas.—2. Ampelitas silúricas.—3. Calizas devónico-carboníferas.—4. Carbonífero en facies «Culm». 5. Granodiorita. Localización en figura 14.



Figura 93.—Pliegue al que se asocia el clivaje de crenulación dominante (S_3) del Anticlinal Central, que deforma una fábrica previa (S_2). Escala de la barra, 0,1 mm.

Figura 94.—Aspecto anastomosado del clivaje de crenulación dominante en el Anticlinal Central (S_3), afectando a pizarras presilúricas. Se observa el clivaje primario (S_2). Escala de la barra, 50 micras.

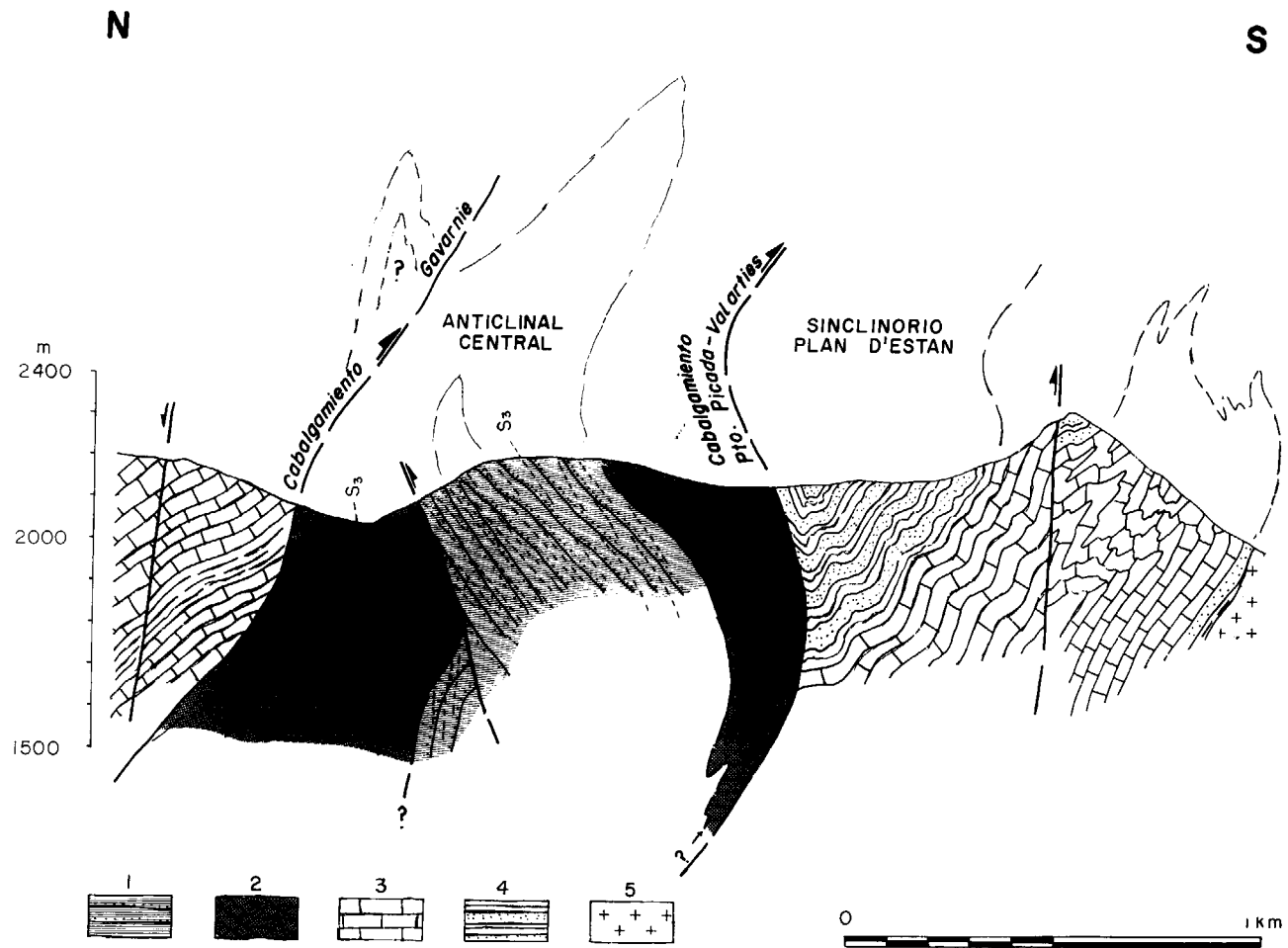


Figura 95.—Corte geológico del Anticlinal Central, unos 2 kilómetros al oeste de Valarties, donde se observa el Cabalgamiento del Puerto de La Picada-Valarties plegado, posiblemente por estructuras alpinas.

1. Rocas presilúricas.—2. Ampelitas silúricas.—3. Calizas devónico-carboníferas.—4. Carbonífero en facies «Culm». 5. Granodiorita. Localización en figura 14.

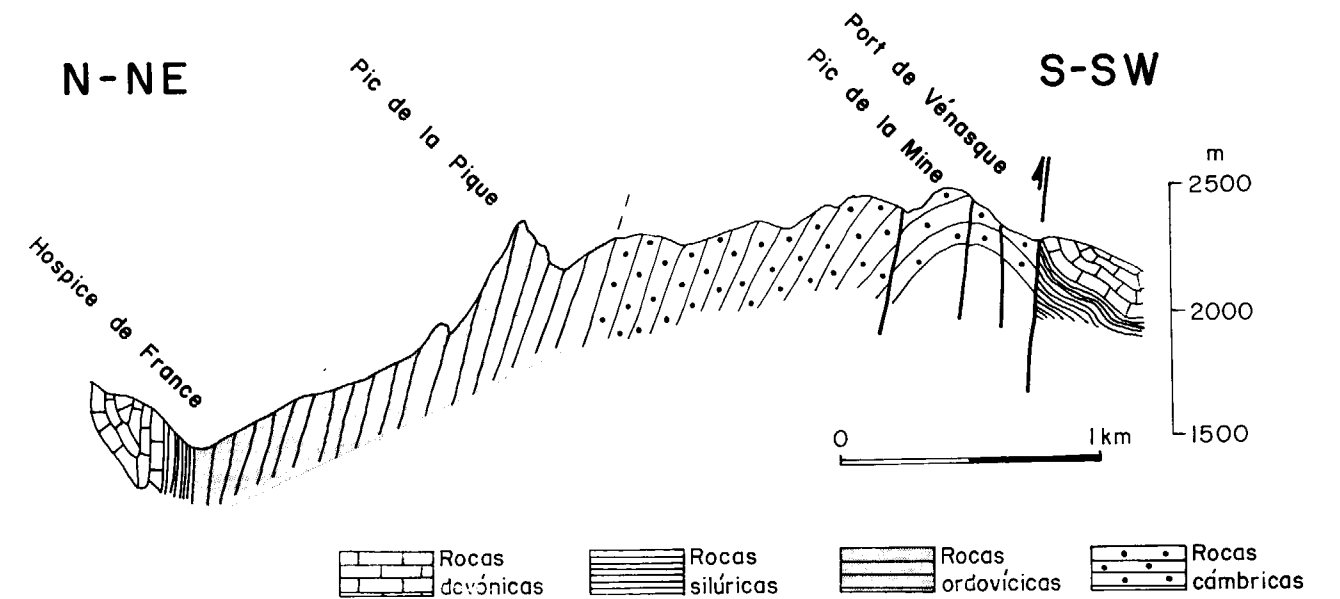


Figura 96.—Corte geológico del Anticlinal Central entre el Hospice de France y el Puerto de Benasque, al oeste del área estudiada. Según DONNOT y GUERANGE (1969). Situación en mapa de la figura 34.

de Puerto de la Picada-Valarties parece sugerir que dicho cabalgamiento es posterior al Anticlinal Central y por lo tanto puede ser de edad tardihercínica o alpina. En la zona de Artiga de Lin, el trazado del cabalgamiento parece estar afectado por pliegues de la generación principal (ver mapa geológico núm. 1). Esto puede deberse a que el Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties fuese un accidente hercínico que rejugó posteriormente, debido a la aparición de estructuras fuera de secuencia.

Son escasas las estructuras asociadas al plano de cabalgamiento. Sin embargo, láminas delgadas de algunas calizas muy próximas al plano de cabalgamiento muestran la existencia de una fábrica marcada por cristales de calcita fuertemente elongados, lo que da idea de la deformación existente (fig. 97).

— Cabalgamiento de Gavarnie

El Anticlinal Central aparece separado del Sinclinatorio del Valle de Arán por otro cabalgamiento de dirección aproximada E-O que se encuentra en posición subvertical. Esta estructura fue cartografiada desde la zona de Gavarnie hasta el área estudiada por MAJESTE-MENJOULAS

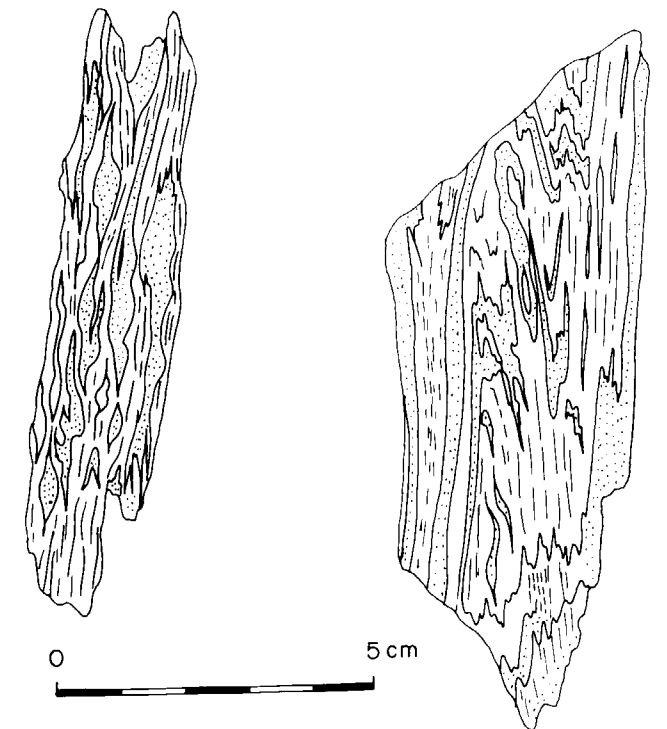


Figura 97.—Calizas fuertemente deformadas junto al Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties.

(1979 a), y corresponde a la traza norte del Cabalgamiento de Gavarnie. A lo largo de su trazado, desde Gavarnie hasta el área estudiada, se puede observar que cabalga tanto a rocas paleozoicas como a materiales posthercínicos (figura 34).

Dentro de la zona estudiada, al norte del Pico de la Solana, entre los valles de Valarties y Aiguamoix, afloran rocas permotriásicas intensamente deformadas, reconocidas por primera vez por MATTAUER y SEGURET (1966). Estas rocas deben de pertenecer al autóctono del Manto de Gavarnie. En la zona del Montpius, las Calizas Basales del Devónico del bloque superior aparecen afectadas por pliegues relacionados con este cabalgamiento. Se trata de pliegues muy estirados en los que llegan a desaparecer los flancos y que deforman o reaplastan el clivaje principal

del Sinclinorio del Valle de Arán (S_3) (fig. 98 a). Otras estructuras que se podrían relacionar con el Cabalgamiento de Gavarnie son los pliegues de plano axial subhorizontal que llevan asociado un clivaje de crenulación poco penetrativo, subhorizontal (S_2) y que siempre se localizan en las proximidades del Cabalgamiento de Gavarnie.

En la figura 34 se puede observar que el trazado norte del Cabalgamiento de Gavarnie va casi siempre por los materiales silúricos, lo que parece sugerir la presencia de un despegue. Sin embargo, en la zona estudiada cambia de nivel y corta las estructuras hercínicas previas (figura 98 b). Al Este del afloramiento de rocas permotriásicas del norte del Pic de la Solana es difícil seguir el trazado de esta estructura. Más al este, en el Domo del Pallaresa, concretamente

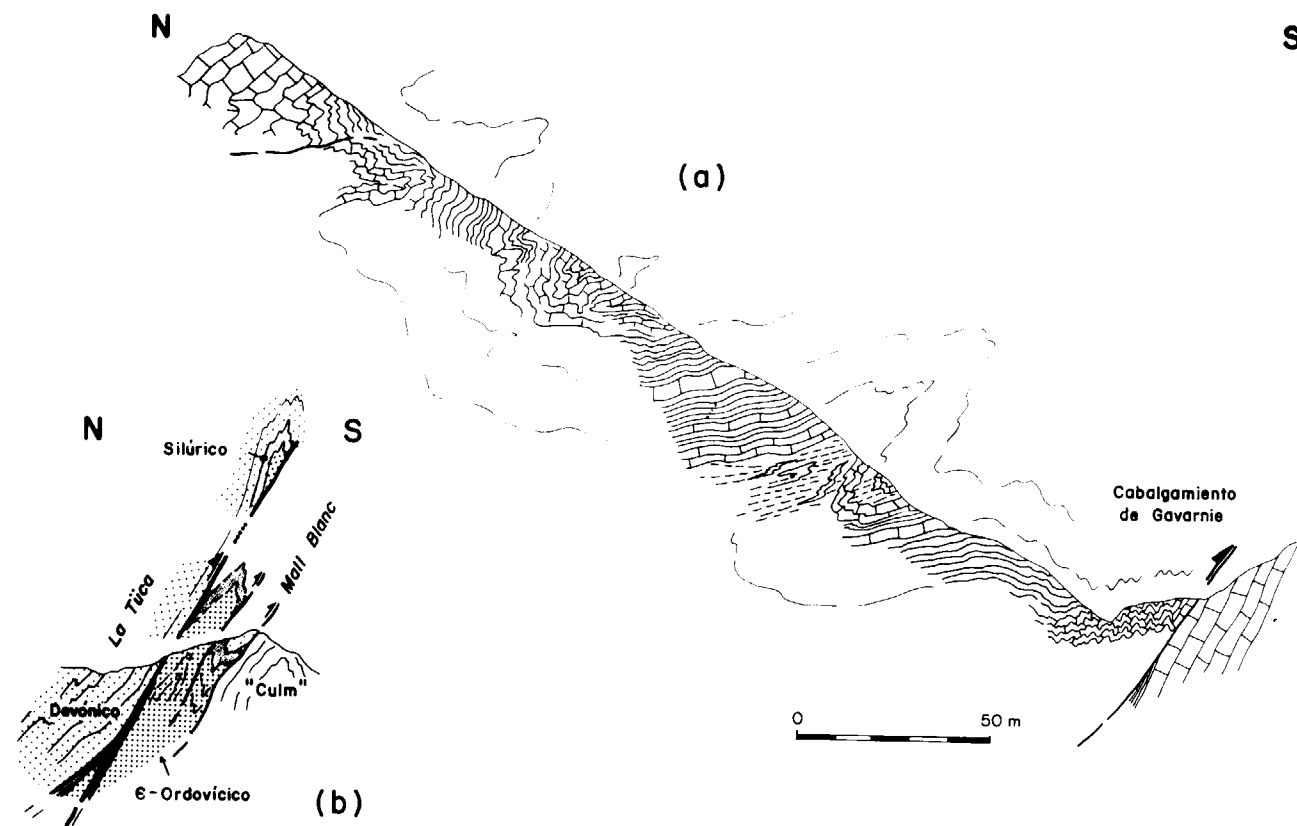


Figura 98.

- a) Corte geológico al sur del Pico Montpius, donde se observa la Caliza Basal devónica del bloque norte del Cabalgamiento de Gavarnie deformada. Localización en figura 89.
 b) Esquema donde se muestra una interpretación de cómo el Cabalgamiento de Gavarnie pudo haber cortado pliegues hercínicos para que cabalguen rocas devónicas sobre rocas presilúricas, tal y como se observa en la zona estudiada.

en Sos de Pin, MUÑOZ (1988) ha reconocido un afloramiento de ampelitas silúricas entre la serie de rocas presilúricas que puede corresponder al Cabalgamiento de Gavarnie. Aunque más al este es todavía más difícil de reconocer y el trazado de esta estructura podría coincidir con las fallas de dirección E-O que limitan el Sinclinal de Tor por el norte, o con la Falla de Merens que separa los macizos néisicos de Aston y Hospitalet. CARRERAS *et al.* (1980) proponen una edad hercínica para estas estructuras, lo cual no es óbice para que rejugasen durante la deformación alpina, tal y como ya han propuesto algunos autores (MAJESTE-MENJOULAS, 1979 a; SOULA *et al.*, 1986 c, etc.).

3.7.2. El Sinclinorio de Plan d'Estan

Por el norte está limitado por el Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties y por el sur por la Granodiorita de la Maladeta (fig. 32). En este sinclinorio afloran rocas de edad carbonífera de la serie siliciclástica del «Culm», rodeadas por unas calizas de edad devónico-carbonífera que afloran en los flancos. En el flanco meridional, la Granodiorita de la Maladeta se adapta al trazado cartográfico de estas calizas (mapa geológico núm. 1).

El Sinclinorio de Plan d'Estan es una estructura alargada, constituida por una serie de pliegues de plano axial subvertical, a los que a menudo se asocia el clivaje dominante en el Dominio de la Alta Ribagorça (S_3). En su extremo occidental esta estructura se cierra a la altura del valle de Benasque. Por su parte oriental, el sinforme se estrecha hasta la zona de Valarties, donde la Granodiorita de la Maladeta le corta por el sur, mientras que por el norte se encuentra afectado por el Cabalgamiento de Gavarnie. Como ocurre en el Anticlinal Central, y a diferencia del dominio anterior (Sinclinorio del Valle de Arán), los ejes de los pliegues están en posición subhorizontal observándose únicamente suaves cabeceos en la charnela.

En el núcleo de algunos de los anticlinales más importantes que constituyen el Sinclinorio de Plan d'Estan se observa la presencia de calizas de edad Devónico-Carbonífera, como por ejemplo en los anticlinales que se localizan en el Forau de Aiguallut y en el de la Coma de Salies. En este último, el flanco sur está afectado por

un cabalgamiento con dirección E-O, posiblemente relacionado con el pliegue y que se entronca hacia el este con el Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties. En la zona más oriental del sinclinorio, en Valarties, se observa otro anticlinal definido por las calizas de la base de la serie siliciclástica, que queda cortado por el Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties.

En el primer caso, correspondiente al cabalgamiento desarrollado en el flanco sur del anticlinal de la Coma de Salies, parece que cabalgamientos y pliegues se encuentran relacionados. Sin embargo, en Valarties se observa que las estructuras de plegamiento son anteriores a los cabalgamientos. En el epígrafe anterior se indicó que el Cabalgamiento de Puerto de la Picada-Valarties parecía encontrarse plegado en Artiga de Lin. Como se puede observar, no es clara la edad relativa de los cabalgamientos. Podría interpretarse que actuaron durante la deformación hercínica, posiblemente en relación con los pliegues de la generación principal, o antes de su formación. Posteriormente, estos cabalgamientos parece que rejugaron de nuevo, bien al final de la deformación hercínica o durante la alpina, lo cual no puede ser constatado en la región estudiada.

En el sector del puerto de Viella se observa la existencia de pliegues vergentes al norte (figura 99). Estas estructuras aparecen suavemente plegadas, posiblemente por las de la generación principal, lo cual no puede ser confirmado, ya que el clivaje dominante se encuentra poco desarrollado en este sector. Sin embargo, parece lógico considerar que los pliegues vergentes al norte sean las primeras estructuras que se desarrollan en este sector. Esta hipótesis viene reforzada por el hecho de que tanto en el Sinclinorio del Valle de Arán como en el Anticlinal Central, el clivaje primario (S_2) se relaciona con pliegues vergentes al norte. Además, como se verá más adelante, en otras zonas más meridionales (Anticlinorio de Sierra Negra), también las primeras estructuras observadas son pliegues vergentes al norte. Otros autores, como KLEINSMIEDE (1960), han interpretado estos pliegues como originados por la intrusión de la Granodiorita de la Maladeta, considerándolos las últimas estructuras hercínicas.

Las estructuras de la generación principal son pliegues de todas las escalas, con dirección pró-

xima a E-O. El plano axial es subvertical y los ejes no superan los 15° de inclinación. A estos pliegues se asocia el clivaje de crenulación principal (S₃), cuyo desarrollo depende de la litología. Cuando estos pliegues afectan a la serie siliciclástica son poco apretados en general, con ángulo entre flancos no menor de 70° (fig. 100 b). Afectando a lutitas, en lámina delgada, el clivaje se muestra como una crenulación poco penetrativa que deforma a una fábrica anterior. El clivaje primario viene definido por la orientación de cristales de moscovita, generalmente alargados. En algunos casos podría tratarse de un clivaje asociado a estructuras previas (S₂), que como se ha indicado, pueden corresponder a pliegues de vergencia norte. En otros casos se ha podido comprobar que existe una foliación de carácter primario correspondiente a una fábrica sedimentaria, ya que aparece deformada por estructuras de carga («load cast») y que puede ser confundida con el clivaje (S₂) que se asocia a los pliegues primitivos. La crenulación que se asocia a

las estructuras de la generación dominante llega ocasionalmente a desarrollar dominios, en los que los microlitos tienen un espesor de aproximadamente 30 micras. Estos dominios son de escasa longitud, discontinuos, y en ellos se acumulan algunos materiales opacos.

Cuando los pliegues de la generación dominante afectan a calizas o a tramos pizarrosos de la serie del «Culm» son mucho más apretados, pudiendo llegar a ser isoclinales. En estos casos, el clivaje principal (S₃) está mucho mejor desarrollado y a menudo enmascara a la estratificación (fig. 101).

3.7.3. La estructura de la Granodiorita de la Maladeta

La Granodiorita de la Maladeta fue reconocida ya desde los primeros estudios geológicos que se realizaron en la Zona Axial pirenaica (DURO-

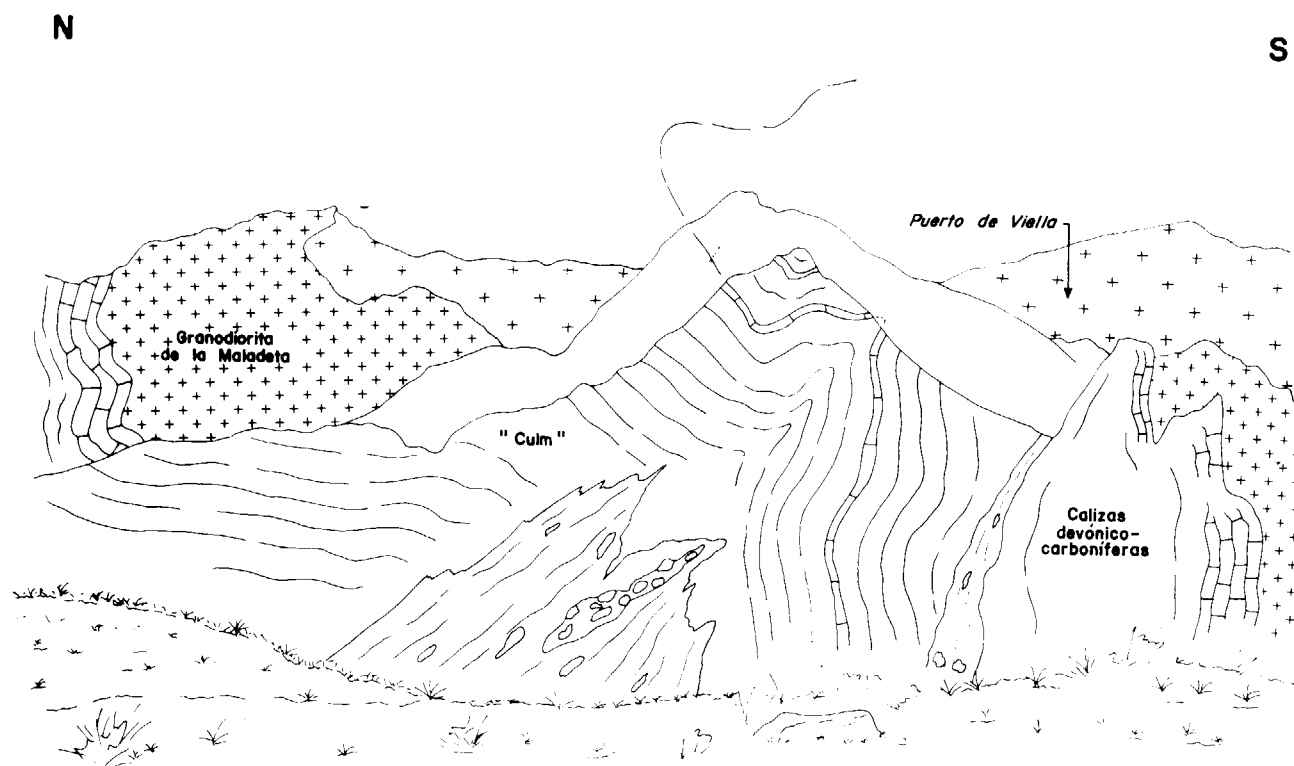


Figura 99.—Panorámica de la zona del puerto de Viella desde el Cap de Toro, donde se puede observar la existencia de pliegues vergentes al norte plegados por pliegues derechos.

CHER, 1844; LEYMERIE, 1862 y 1870; CARALP, 1887, entre otros). Por otra parte, DALLONI (1910, 1930) la denominó más tarde Macizo de los Montes Malditos.

En los tiempos más recientes, CHARLET (1979 y 1982) cartografió las diferentes facies de la granodiorita (fig. 102). De su estudio, este autor pudo deducir la existencia de dos grandes unidades. La primera, denominada Unidad de Boí, que ocupa la parte central y oriental del macizo

y comprende granitos y granodioritas de grano grueso con biotita y anfíbol. La otra Unidad, denominada de Aneto, ocupa la parte occidental y consiste principalmente en granitos con biotita, moscovita y cordierita; también aparecen granodioritas de grano medio ricas en biotita y anfíboles.

La Granodiorita de la Maladeta intruye a materiales de edad Namuriense y posiblemente Westfaliense, que afloran en el Sinclinatorio de Plan

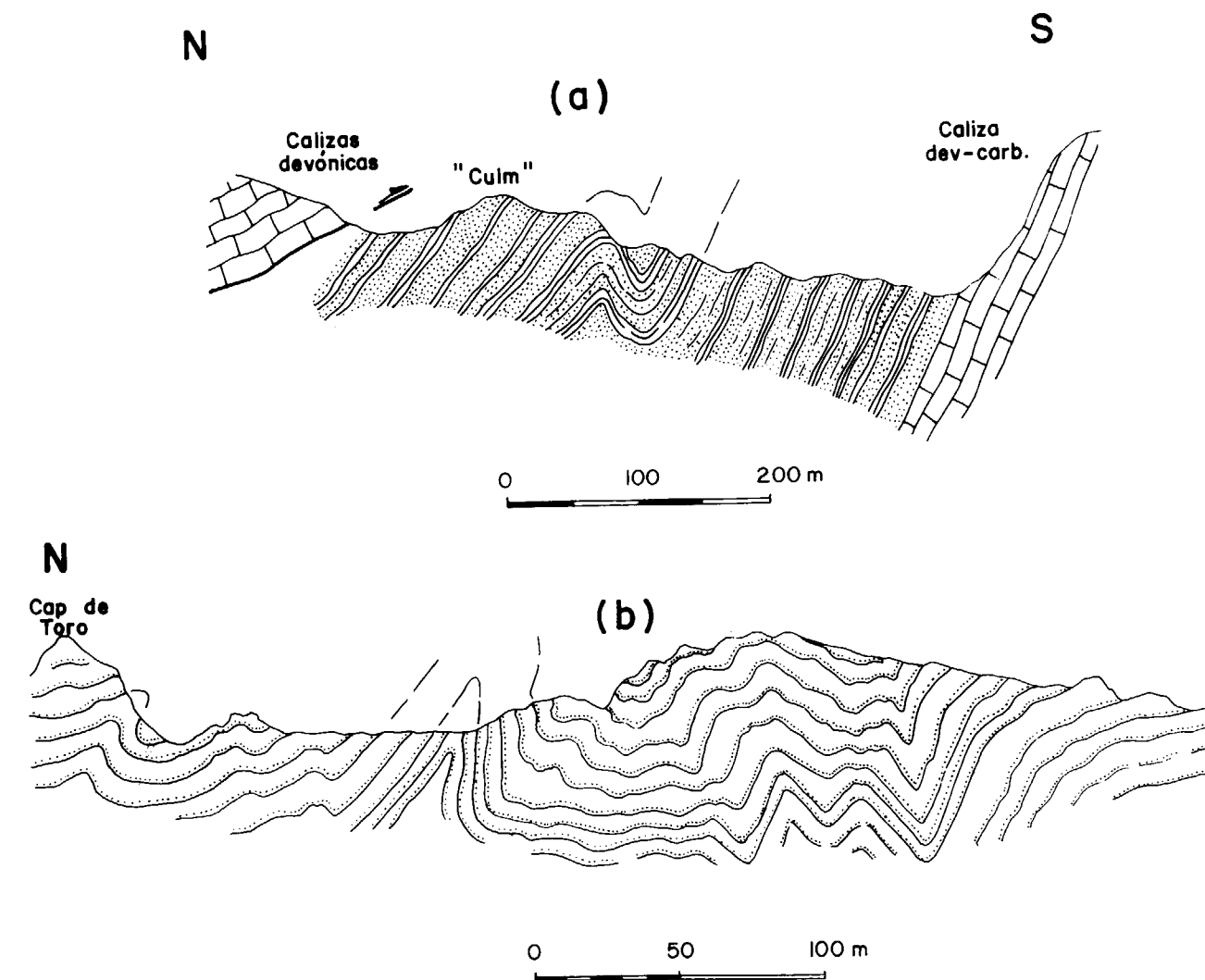


Figura 100.—Cortes geológicos en las rocas siliciclásticas del Carbonífero del Sinclinatorio de Plan d'Estan, donde se observa un buen desarrollo de pliegues derechos o ligeramente vergentes al sur.

- a) Corte entre la Roca Tolosa y el Pic de Coma Salies.
- b) Corte por la zona del Cap de Toro, los pliegues que en la figura están más apretados corresponden a secciones aparentes. Localización en figura 28.

d'Estan. En la zona de Tredos, este cuerpo ígneo está cubierto por rocas permo-triásicas que no presentan aureola de contacto. Basándose en estos datos, la edad relativa de la Granodiorita de la Maladeta se situaría entre el Westfaliense y el Permo-Trías. Mediante la aplicación del método de datación Rb-Sr, MICHARD-VITRAC *et al.* (1979) obtuvieron una edad absoluta de 277 ± 7 m.a. (Estefaniense-Pérmico).

En lo referente a la estructura de la Granodiorita de la Maladeta, se observan diversas zonas de cizalla, la mayoría posiblemente originadas durante la deformación alpina. Las más importantes se muestran en la figura 103 y representan dos sistemas de fallas, uno con dirección NE-SO y otro NO-SE. Algunas de las fracturas tienen gran importancia, como la Falla de Valarties o la de San Nicolau. Otro importante sistema de fallas tiene una dirección entre E-O y N-110-E, parecidas a las observadas por LAMOROUX (1977) en el Granito de Neouvielle, al oeste del área estu-

diada (fig. 34) y consideradas por este mismo autor como fracturas alpinas.

Dentro de la zona estudiada, las fracturas más importantes con esta dirección son la de Baños de Boí, al sur de la Granodiorita, y las que se localizan al NE de la misma. Estas últimas están relacionadas con el Cabalgamiento de Gavarnie, en una zona donde la Granodiorita de la Maladeta se ve involucrada en la deformación alpina ligada a esta estructura. Concretamente, este sector se sitúa entre los valles de Valarties y Aiguamoix (mapa geológico núm. 1), donde se ha observado la existencia de zonas de cizalla afectando a las rocas ígneas. Estas zonas de cizalla aparecen como estrechas bandas (menos de 0,5 m.) con una importante deformación, separando cuerpos graníticos indeformados.

A escala microscópica, se observan diversas estructuras que indican la existencia de una importante deformación dentro de las zonas de ci-

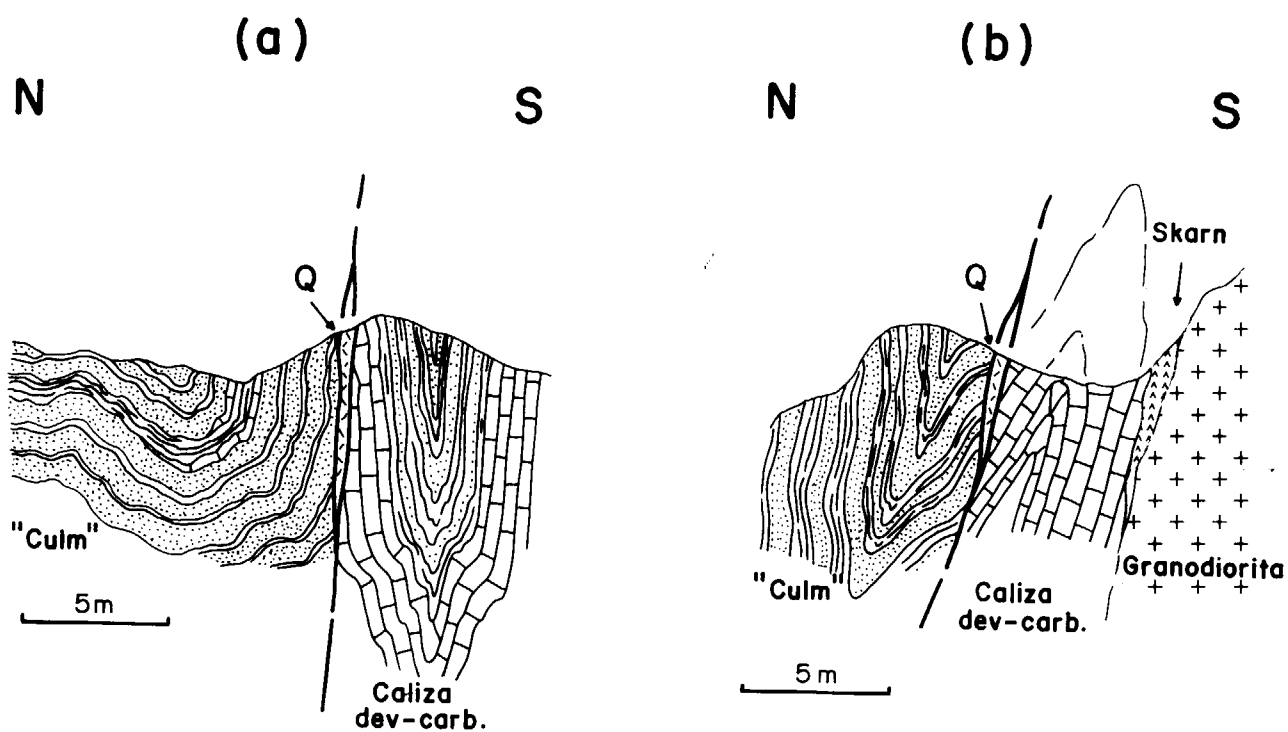


Figura 101.—Cortes geológicos donde se observan pliegues derechos de la generación dominante que afectan a las calizas del Devónico Superior - Carbonífero Inferior y Carbonífero en facies «Culm». Cortes realizados en las proximidades del Estanyet (corte (a) al oeste y corte (b) al este). Localización en figura 28.

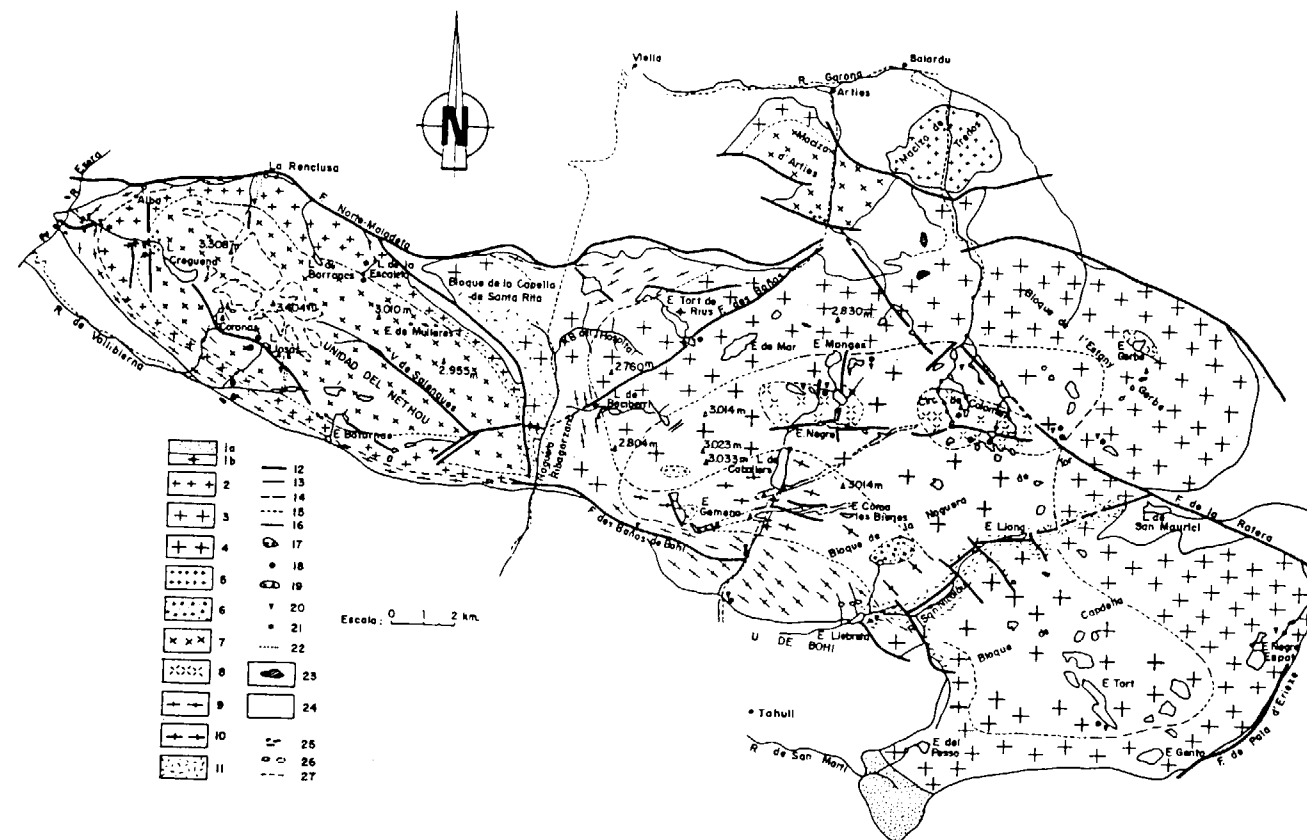
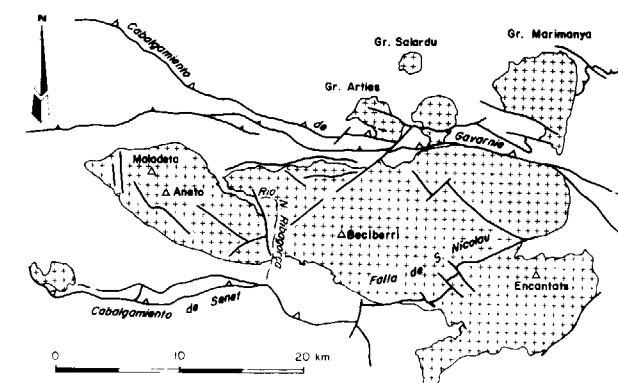


Figura 102.—Mapa de la Granodiorita de la Maladeta, según CHARLET (1979).

1a. Gabros y dioritas de grano fino (facies de Tahull y del Esera).—1b. Enclaves básicos y facies heterogéneas.—2. Diorita y granodiorita de grano medio con biotita y anfíboles.—3. Granodiorita y granito de grano grueso con biotita y anfíboles.—4. Granito porfiroide con biotita y anfíboles accesorios.—5. Granito de grano fino con biotita y anfíboles (Granito de Tredòs).—6. Granito de Besiberri.—7 Granito de garno medio con biotita, cordierita y moscovita. Granito de las crestas.—8. Granito de grano medio con biotita, cordierita y moscovita. Granito de los circos.—9. Facies orientadas de dioritas, granodioritas y granitos de grano medio a grueso con frecuentes biotitas y anfíboles (2 y 3).—10. Facies orientadas de granito porfiroide con biotita y anfíboles accesorios (4).—11. Milonitas ligadas a accidentes (facies epizonada del río San Nicolás).—12. Contacto neto.—13. Contacto progresivo.—14. Transición gradual.—15. Contacto no observado.—16 Fallas.—17. Granitos y microgranitos leucocráticos de grano fino.—18. Fases heterogéneas de diabasa-aplita.—19. Aplito-pegmatita con manchas de turmalina.—20. Aplito-pegmatita con agujas de turmalina.—21. Rocas anchibasálticas.—22. Microgranitos potásicos con estructura porfídica.—23. Pérmico.—24. Paleozoico.—25. Enclaves metasedimentarios.—26. Lagos y glaciares.—27. Carreteras.



zalla. Así, la figura 104 es un esquema de una lámina delgada de una zona de cizalla que en el campo tiene dirección aproximada E-O y buza fuertemente hacia el norte. En la parte superior de la lámina se observa una zona con abundantes cristales de cuarzo, en los que se puede apreciar una fuerte reducción del tamaño de grano

Figura 103.—Esquema de la Granodiorita de la Maladeta, donde se muestran las principales fallas que afectan a este cuerpo ígneo y a su encajante.

por recristalización dinámica, dando lugar a la formación de subgranos y nuevos granos. Los bordes de la banda enriquecida en cuarzo pueden asumirse como paralelos al límite de la zona de cizalla. En la parte inferior de la figura 104 se observa que hay un salto en el gradiente de deformación. Así, en esta parte de la zona de cizalla se observa una menor recristalización y los granos de cuarzo son de mayor tamaño. También aparecen peces de mica («mica-fish»), con recristalización dinámica en los bordes. Se observa la presencia de «shear bands», seguramente correspondientes a planos de «extensional crenulation cleavage» (C'), que compartimentan una foliación (S). El sentido de movimiento de estas milonitas se puede deducir a partir de la

observación de los planos S y C' y sería del bloque norte hacia el sur. Por otra parte, entre los minerales se observa que a menudo aparecen algunos que conservan su forma inicial, y que generalmente son de feldespato y mica; también pueden encontrarse algunos cuarzos, pero la mayoría han recristalizado. En algunos de los cristales de feldespato se reconocen colas de recristalización que parecen relacionarse con los planos C en vez de hacerlo con los C'. El sentido de movimiento deducible para estos casos es también hacia el sur (fig. 104).

También en este mismo sector (borde norte de la Granodiorita de la Maladeta) se observa que existen otras zonas de cizalla con menor defor-

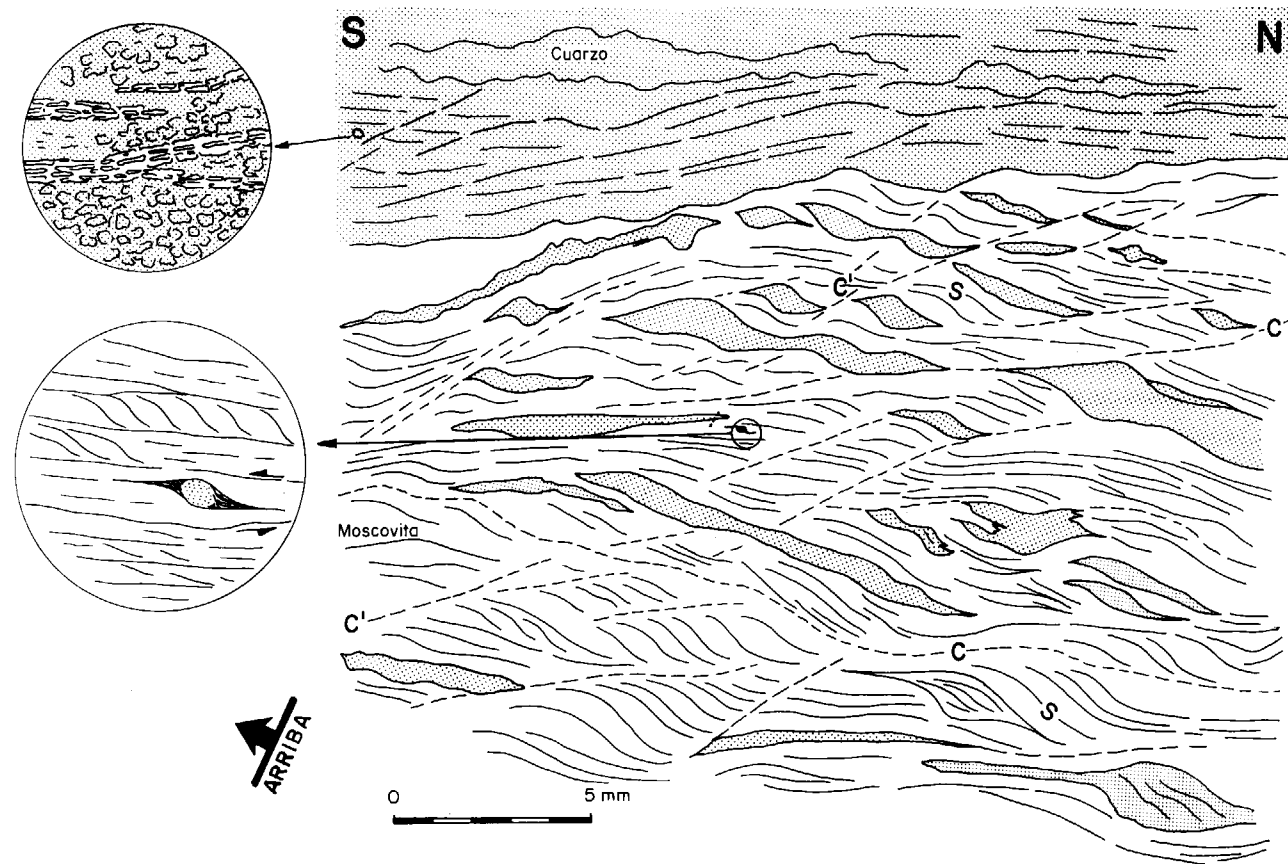


Figura 104.—Aspecto de las milonitas desarrolladas en la Granodiorita de la Maladeta, próximas al Cabalgamiento de Gavarnie, entre Valarties y Aiguamoix, donde se observa la existencia de planos S, C y C' («extensional crenulation cleavage»). Detalle de la parte superior izquierda: banda rica en cuarzo con fuerte reducción del tamaño de grano. Detalle de la parte inferior izquierda: cristal de feldespato con colas de recristalización que indican el sentido de movimiento. Muestra cortada perpendicularmente a la foliación macroscópica dominante y paralelamente a la lineación principal.

mación, donde los bordes de la zona de cizalla parecen corresponder a planos de tipo C. En este caso también se observa la existencia de cuarzos recristalizados en zonas determinadas, pero por el contrario, muchos conservan su forma y tamaño inicial, aunque se reconoce la existencia de fábricas dimensionales. Los granos de cuarzo que no han recristalizado, muestran extinción ondulante, bandas de deformación («deformation bands») y zonas de «kink bands». Los feldespatos muestran una deformación más frágil, encontrándose rotos y rotados:

El conjunto de estas zonas de cizalla que aparecen en el borde norte de la Granodiorita de la Maladeta, puede considerarse como formado por rocas miloníticas. Prueba de ello es que muestra la existencia de lineaciones de estiramiento en el campo, foliación milonítica y numerosas evidencias de recristalización, como se ha indicado anteriormente. Su edad puede considerarse alpina, ya que afectan a la Granodiorita tardi-

hercínica de la Maladeta y están muy próximas al Cabalgamiento de Gavarnie. El sentido de movimiento deducido en el campo y a escala microscópica es del bloque norte hacia el sur.

3.7.4. El Anticlinorio de Sierra Negra

El Anticlinorio de Sierra Negra es una estructura hercínica que previamente fue denominada Anticlinal sur por KLEINSMIEDE (1960). Posteriormente, MEY (1967) la denominó Anticlinal de Explax y por último ARCHE (1971) fue quien se refirió a ella con el nombre de Anticlinorio de Sierra Negra. En el presente trabajo se ha estudiado esencialmente su parte oriental, donde su dirección por lo general es E-O. En el núcleo de este antiforme afloran rocas silúricas, y en la parte oriental, el anticlinorio se encuentra cortado por la Granodiorita de la Maladeta (fig. 105 y mapa geológico núm. 2).

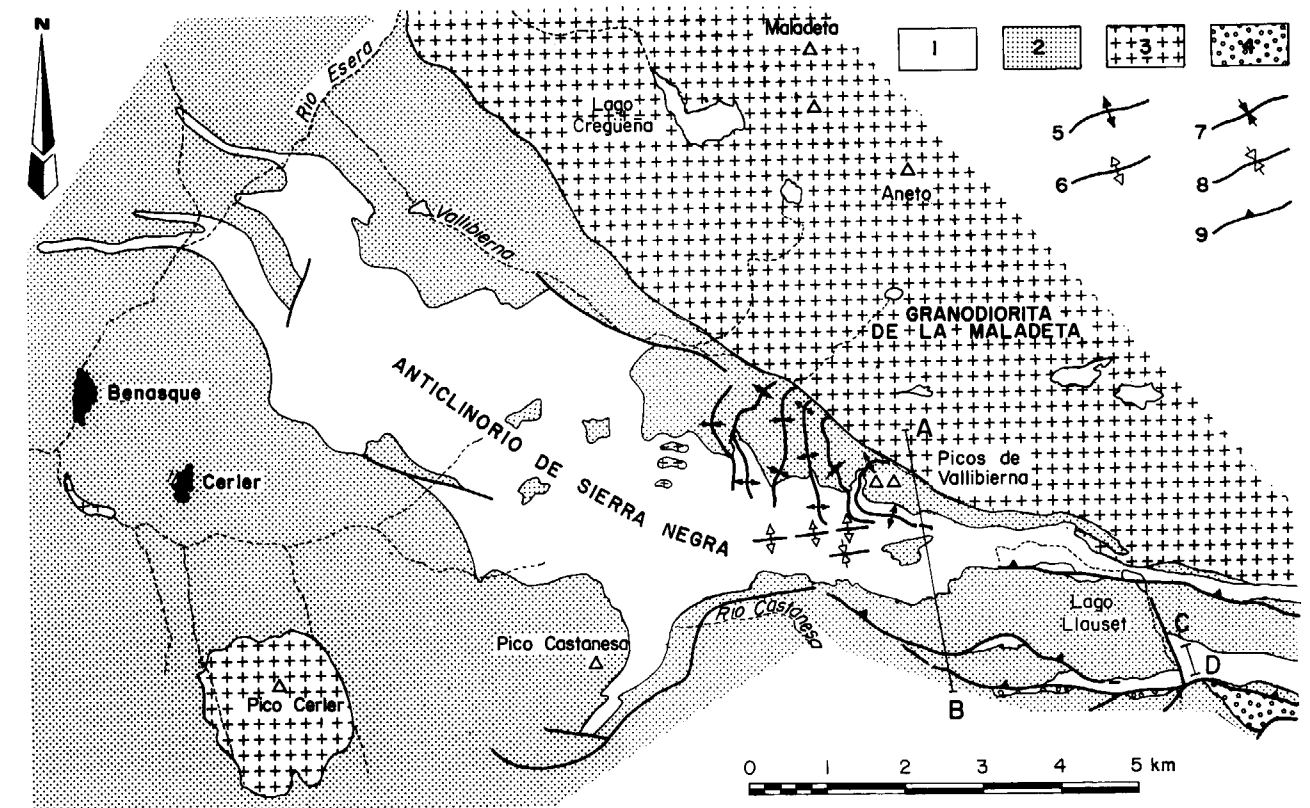


Figura 105.—Mapa geológico del Anticlinorio de Sierra Negra.

1. Rocas silúricas y presilúricas.—2. Rocas devónicas.—3. Granodiorita.—4. Rocas posthercínicas.—5. Traza axial de anticlinal vergente al norte.—6. Traza axial de anticlinal de la generación dominante.—7. Traza axial de sinclinal vergente al norte.—8. Traza axial de sinclinal de la generación dominante.—9. Cabalgamiento.—A-B. Situación del corte de la figura 106.—C-D. Situación del corte de la figura 118.

Se trata de un anticlinorio de morfología similar a un pliegue en caja (mapa geológico núm. 2 y del corte geológico de la figura 106), como resultado de la interferencia de los dos sistemas de pliegues con direcciones similares y vergencias contrarias. En el flanco norte del anticlinorio, junto al contacto con la Granodiorita de la Maladeta, se observa la relación entre estos dos sis-

temas de pliegues, así como su edad relativa (figs. 106, 107, 108, 109 y 110).

— Estructuras primitivas

En la parte oriental del Anticlinorio de Sierra Negra, el flanco norte muestra un primer siste-

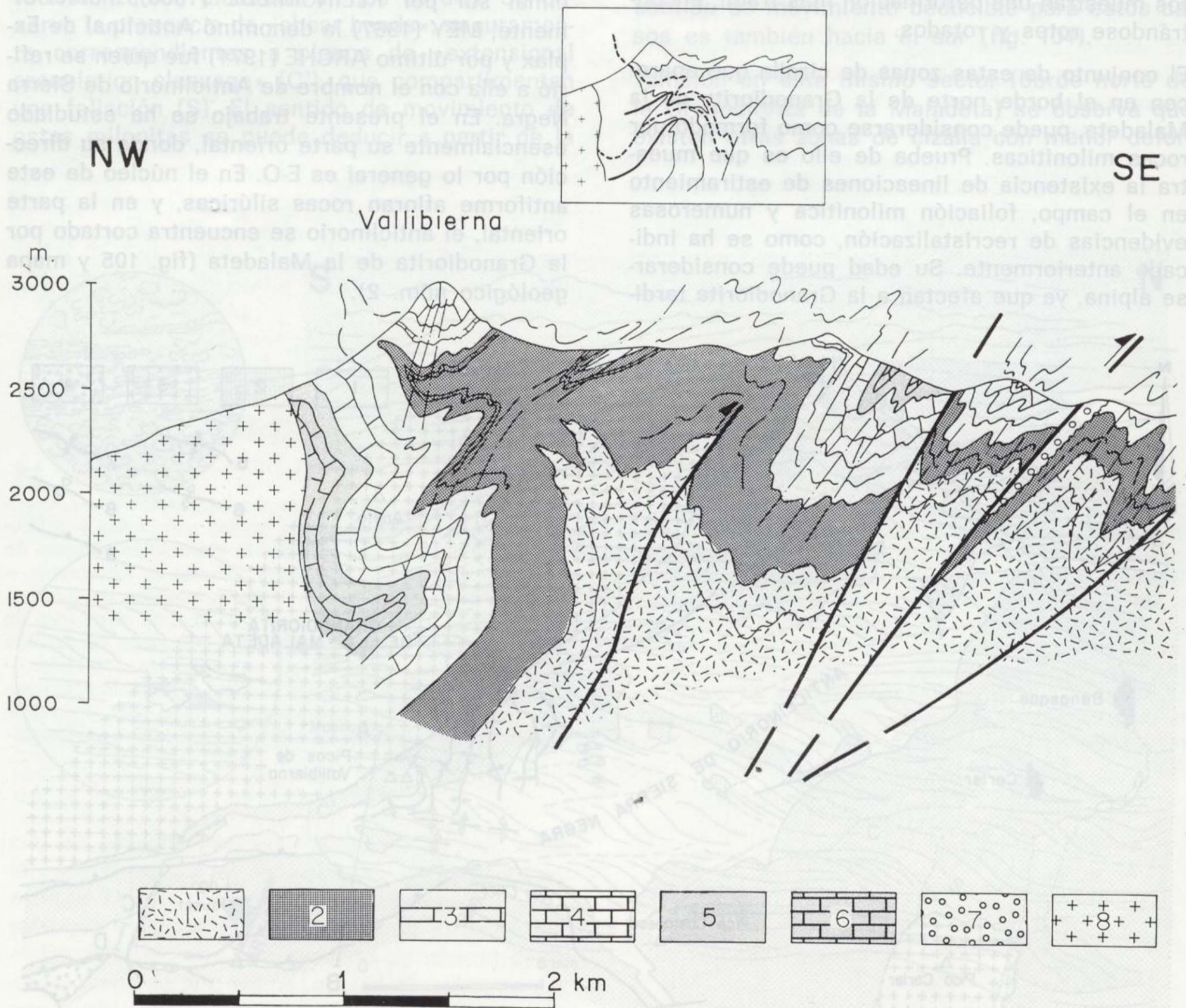


Figura 106.—Corte geológico de la parte oriental del Anticlinorio de Sierra Negra.

1. Rocas presilúricas.—2. Rocas silúricas.—3. Fm. Rueda.—4. Fm. Basibé.—5. Fm. Fonchanina.—6. Fm. Mañanet.—7. Rocas posthercínicas.—8. Granodiorita. En el recuadro de la parte superior se representa el trazado de los planos axiales de los pliegues vergentes al norte. Localización en figuras 105 y 120b. Este corte corresponde a la parte septentrional del corte C-D, situado en el mapa geológico núm. 2.

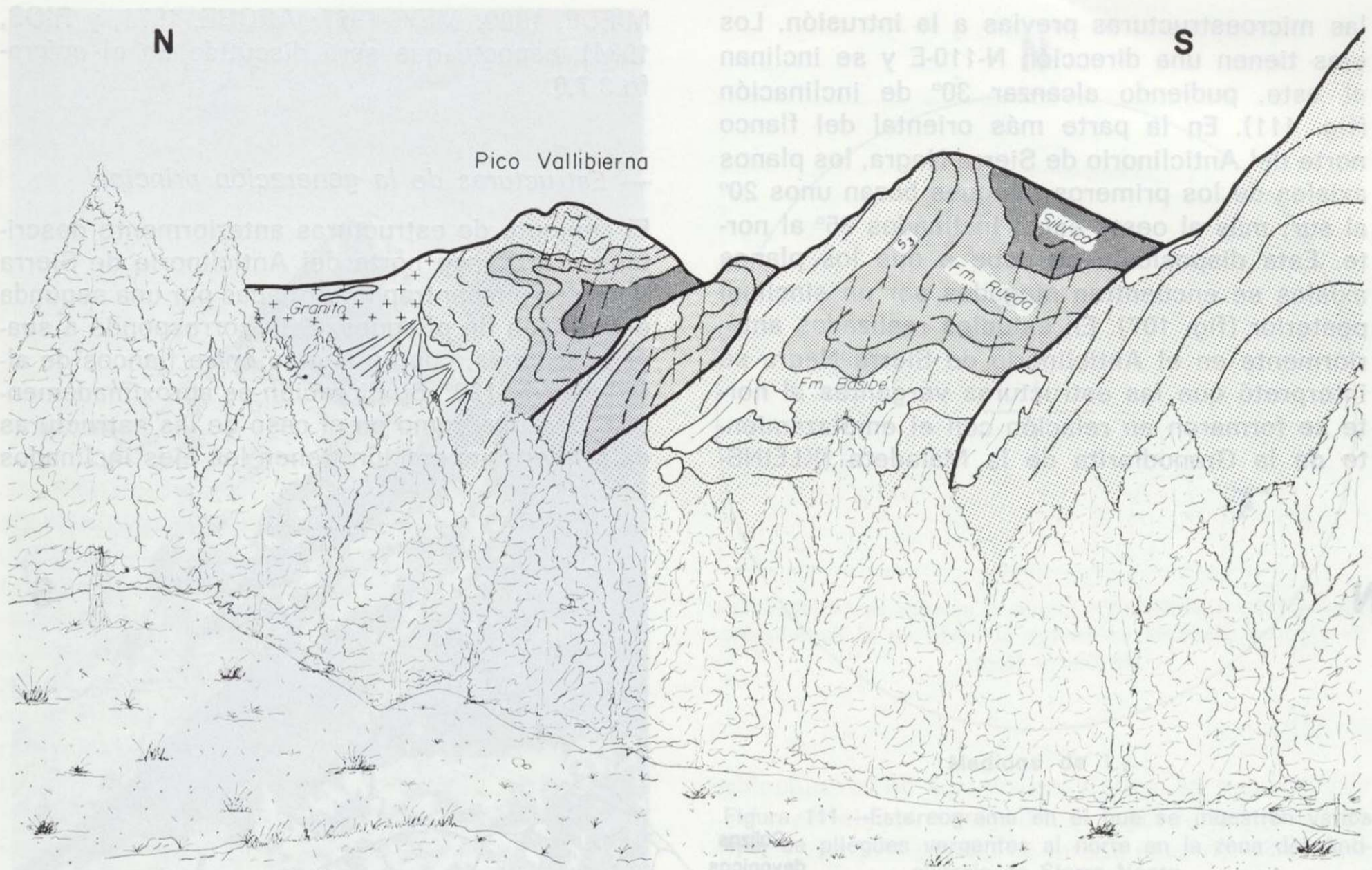


Figura 107.—Panorámica de los picos situados al sur de Vallibierna, donde se aprecia la existencia de pliegues vergentes al norte deformados por estructuras de la generación dominante. Esquema de la figura 108.



Figura 108.—Panorámica de Sierra Negra desde Vallibierna. Se observan pliegues vergentes al norte en el flanco sur del Anticlinorio de Sierra Negra. Un esquema de esta fotografía aparece en la figura 107.

ma de pliegues de escala cartográfica que tienen un trazado axial N-S (fig. 105 y mapa geológico núm. 2). Las mesoestructuras de esta primera generación de pliegues son escasas. Se trata de pliegues de dirección E-O (fig. 111), con un ángulo entre flancos que no supera los 30° (fig. 112). Geométricamente, se aproximan al tipo «chevron fold» con formas D-E y poseen amplitudes entre 3-4 según la clasificación de HUDLESTON (1973) (fig. 113). Según la clasificación de RAMSAY (1967), predominan los pliegues de clase 1C (fig. 114 c, d y e) y a veces hay algunos próximos a la clase 1B (fig. 114 a y b). A estas estructuras va asociado un clivaje de plano axial (S_2) poco penetrativo que, en este sector, se encuentra mal desarrollado, puesto que la mayoría de los materiales afectados por él son calizas muy recrystalizadas, en buena parte debido a la proximidad de la Granodiorita de la Maladeta que ha borrado muchas de

las microestructuras previas a la intrusión. Los ejes tienen una dirección N-110-E y se inclinan al este, pudiendo alcanzar 30° de inclinación (fig. 111). En la parte más oriental del flanco norte del Anticlinorio de Sierra Negra, los planos axiales de los primeros pliegues buzan unos 20° al sur; más al oeste están inclinados 25° al norte. Esta disposición se debe a que los planos axiales se encuentran plegados por un sinclinal posterior (fig. 107). En estudios realizados anteriormente en el Anticlinorio de Sierra Negra se interpretó que las estructuras vergentes al norte se formaron en relación con el emplazamiento de la Granodiorita de la Maladeta (KLEINS-

MIEDE, 1960; MEY, 1967; ARCHE, 1971, y RIOS, 1984), aspecto que será discutido en el epígrafe 3.7.6.

— *Estructuras de la generación principal*

El conjunto de estructuras anteriormente descritas en el flanco norte del Anticlinorio de Sierra Negra se encuentran deformadas por una segunda generación de pliegues. Esta corresponde a suaves flexiones, con un ángulo entre flancos de alrededor de 120°. Su dirección es aproximadamente E-O, y que como en el caso de las estructuras de primera generación tienen los ejes inclinados

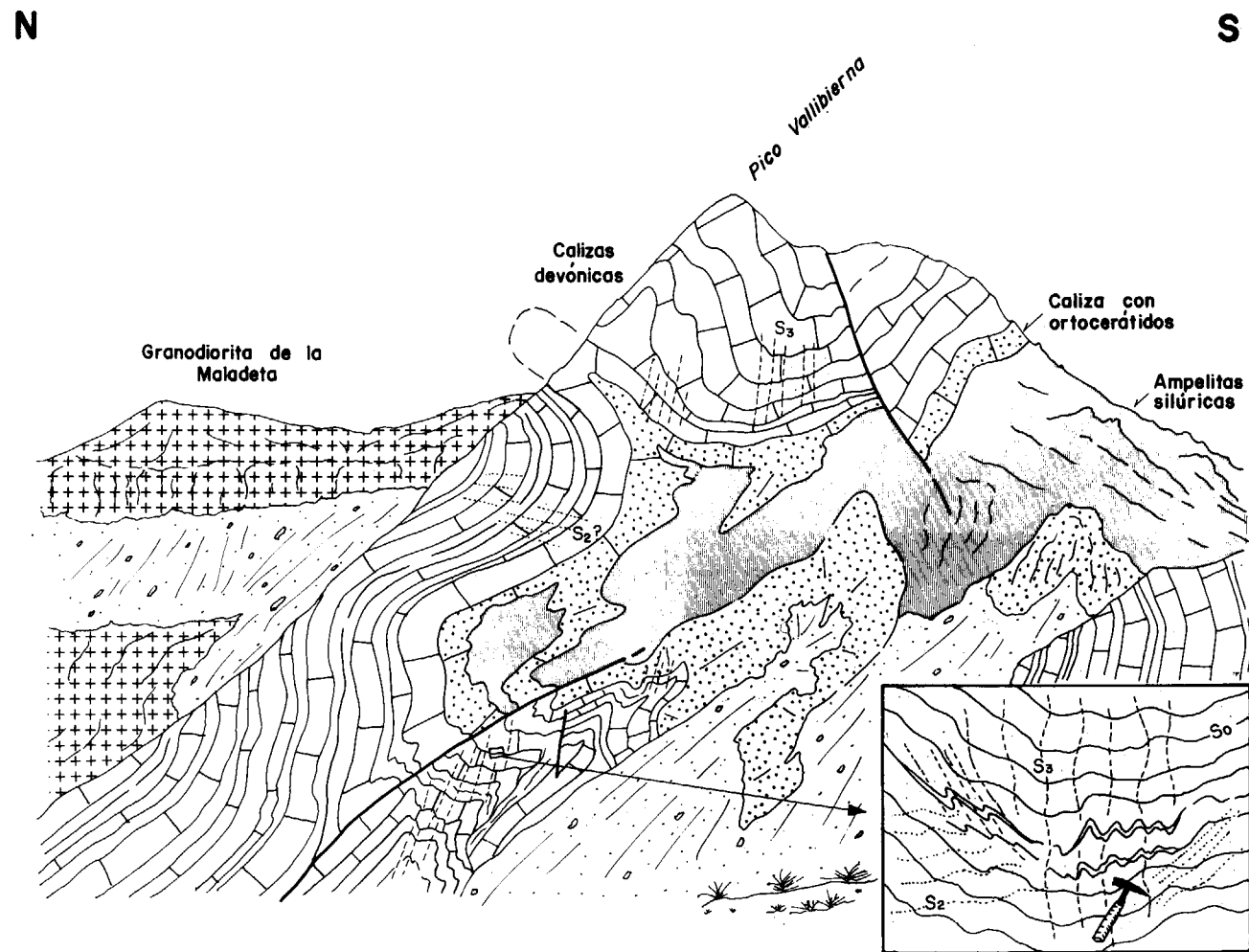


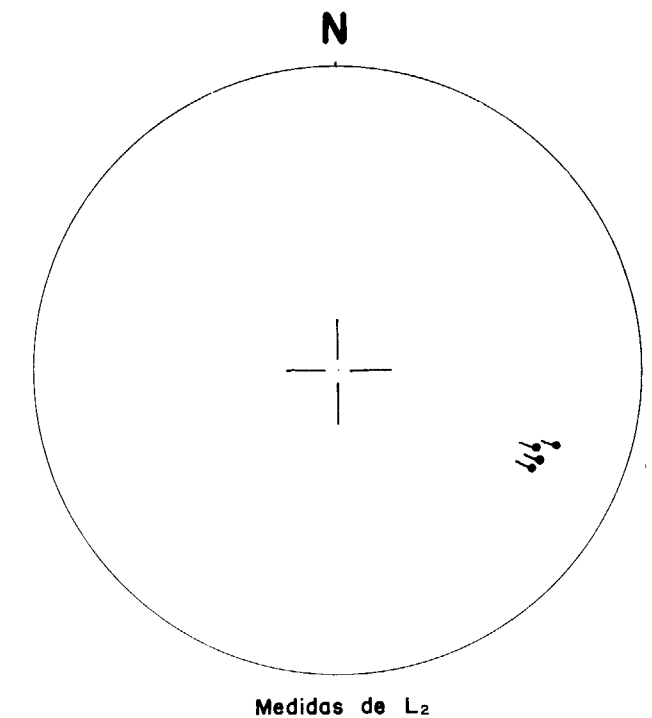
Figura 109.—Panorámica del Pico Vallibierna, donde se aprecia un anticlinal vergente al norte deformado por pliegues derechos a los que va asociado el clivaje principal. A escala de afloramiento puede llegar a observarse una foliación previa (S_2) asociada a las estructuras de vergencia norte. Esquema de la figura 110.



Figura 110.—El Anticlinorio de Vallibierna, deformado por pliegues derechos de la generación principal. Un esquema de esta fotografía aparece en la figura 109.

al este (fig. 115). El plano axial es subvertical o inclinado hacia el norte, nunca menos de 70°. Por tanto, la interferencia de ambos sistemas de pliegues da lugar a figuras tipo 3 de RAMSAY (figuras 106, 107 y 109). Esta segunda generación de pliegues lleva asociado un clivaje de crenulación bien desarrollado (S_3) que es la foliación principal de esta área y que corta de manera clara a las estructuras previas. En lámina delgada esta foliación se aprecia mal, a causa de la proximidad de la Granodiorita de la Maladeta que desarrolla una aureola de contacto, dificultando la observación de este clivaje.

En el flanco sur del Anticlinorio de Sierra Negra no se han reconocido estructuras de primera generación y las estructuras de la generación dominante se encuentran mucho mejor desarro-



Medidas de L_2

Figura 111.—Estereograma en el que se muestran varios ejes de pliegues vergentes al norte en la zona del Anticlinorio de Sierra Negra.



Figura 112.—Pliegues menores del flanco inverso del Anticlinorio de Vallibierna deformados por estructuras de la generación principal.

lladas. Se trata de pliegues isoclinales o con un ángulo entre flancos muy bajo. Su dirección es próxima a E-O y los ejes, al igual que en el flanco norte, se inclinan hacia el este (fig. 115). A estas

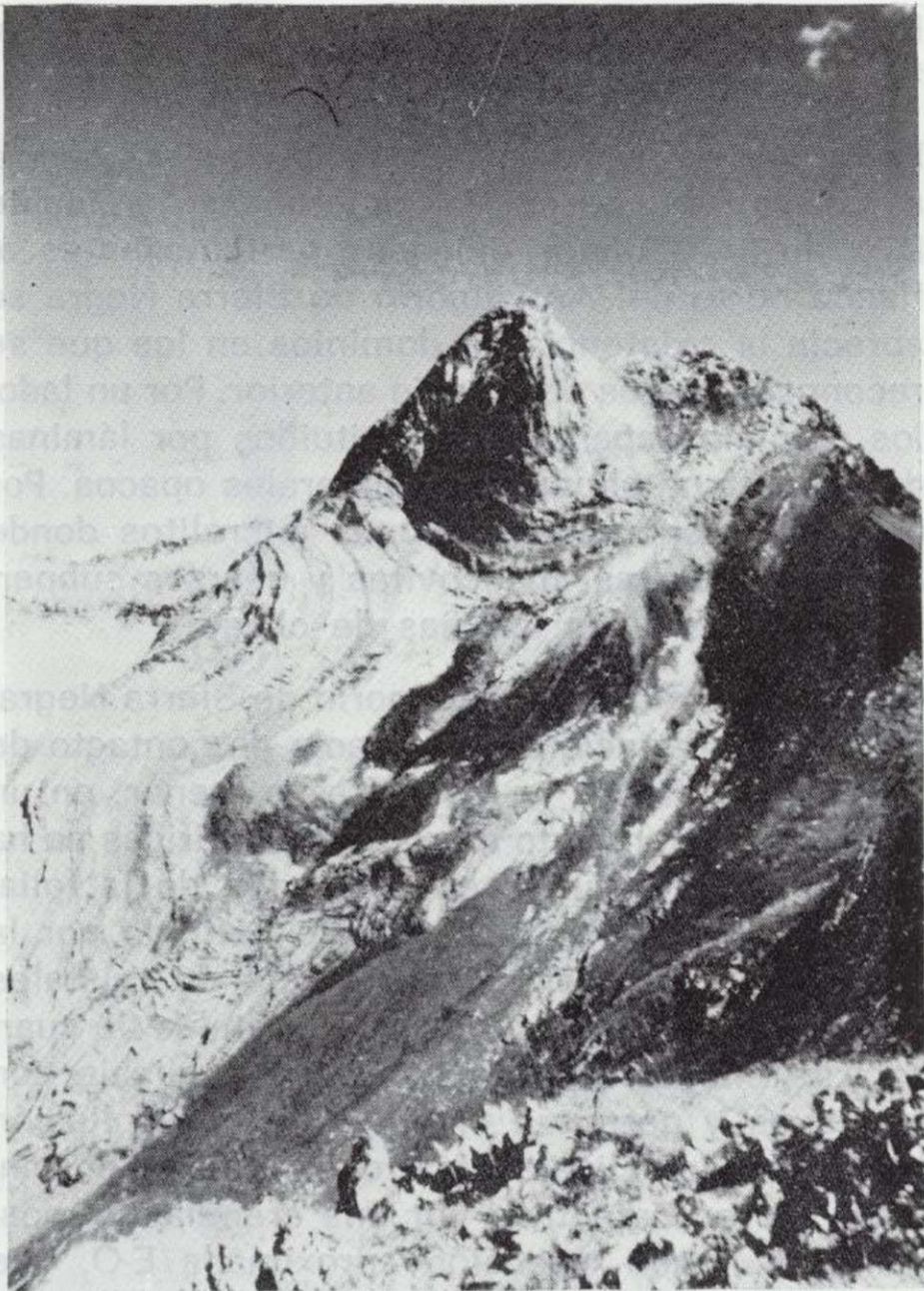
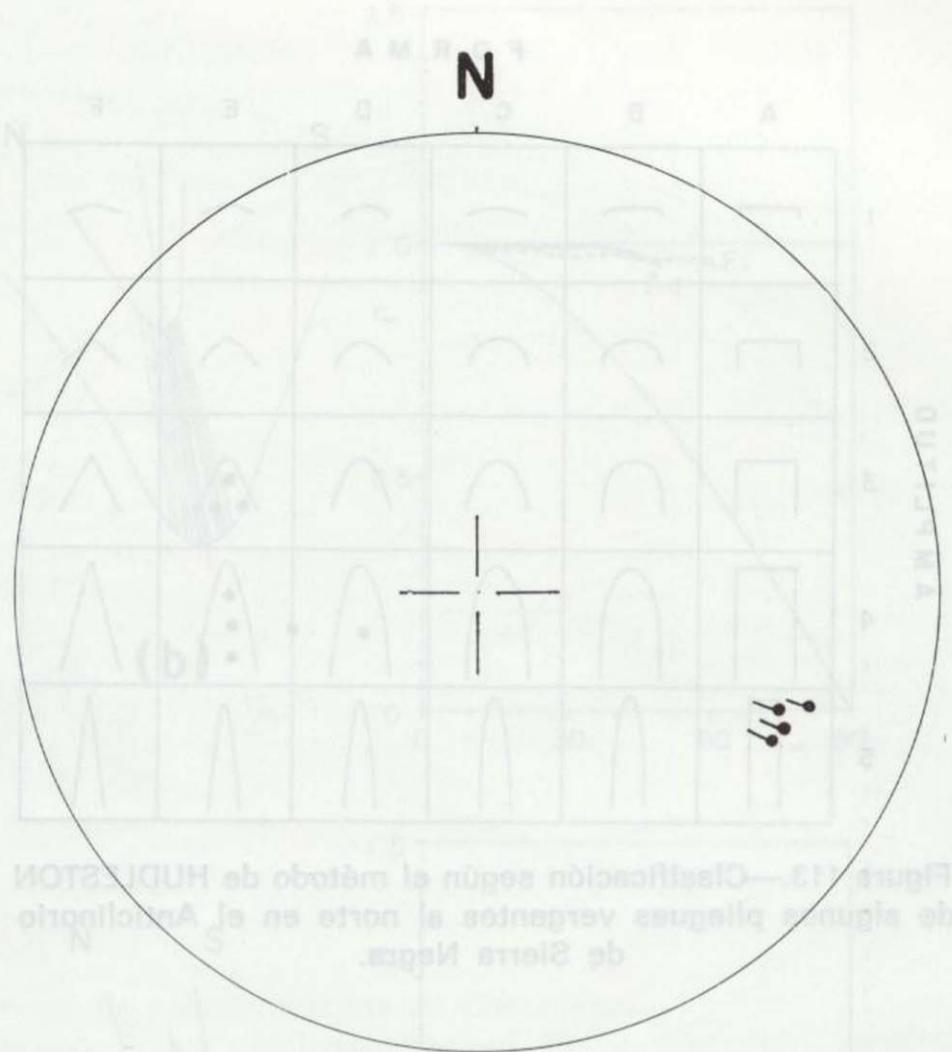


Figura 110.—El Anticlinorio de Vallibierna, deformado por pliegues derechos de la generación principal. Un esquema de esta fotografía aparece en la figura 109.

al este (fig. 115). El plano axial es subvertical o inclinado hacia el norte, nunca menos de 70°. Por tanto, la interferencia de ambos sistemas de pliegues da lugar a figuras tipo 3 de RAMSAY (figuras 106, 107 y 109). Esta segunda generación de pliegues lleva asociado un clivaje de crenulación bien desarrollado (S_3) que es la foliación principal de esta área y que corta de manera clara a las estructuras previas. En lámina delgada esta foliación se aprecia mal, a causa de la proximidad de la Granodiorita de la Maladeta que desarrolla una aureola de contacto, dificultando la observación de este clivaje.

En el flanco sur del Anticlinorio de Sierra Negra no se han reconocido estructuras de primera generación y las estructuras de la generación dominante se encuentran mucho mejor desarro-



Medidas de L_2

Figura 111.—Estereograma en el que se muestran varios ejes de pliegues vergentes al norte en la zona del Anticlinorio de Sierra Negra.

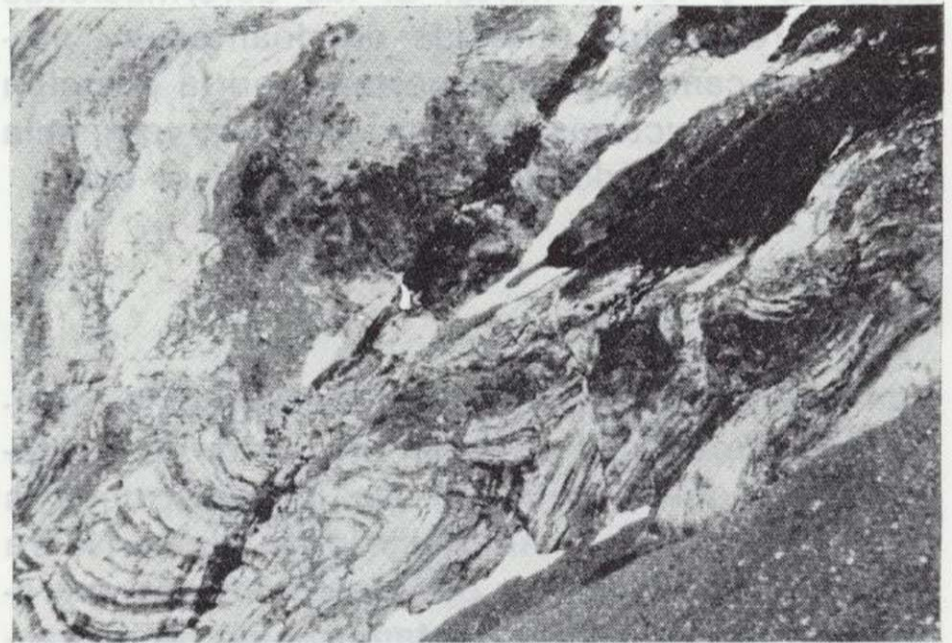


Figura 112.—Pliegues menores del flanco inverso del Anticlinorio de Vallibierna deformados por estructuras de la generación principal.

lladas. Se trata de pliegues isoclinales o con un ángulo entre flancos muy bajo. Su dirección es próxima a E-O y los ejes, al igual que en el flanco norte, se inclinan hacia el este (fig. 115). A estas

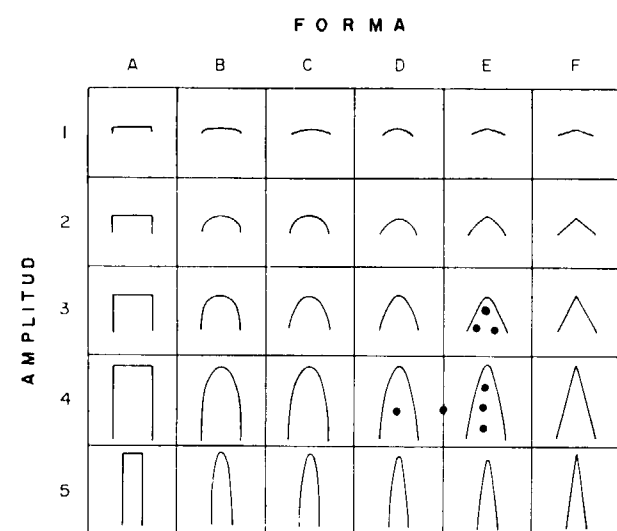


Figura 113.—Clasificación según el método de HUDLESTON de algunos pliegues vergentes al norte en el Anticlinorio de Sierra Negra.

estructuras se asocia un clivaje de crenulación (S_2) muy penetrativo que llega en ocasiones a borrar la S_0 . En este sector el clivaje (S_2) y el plano axial de los pliegues de segunda generación reconocible en la zona se encuentran buzando unos entre 50° y 70° al norte. Si las deformaciones posteriores a los pliegues dominantes no producen un cambio muy importante en la posición de estas estructuras, en este sector la vergencia de los pliegues dominantes es hacia el sur.

— Microestructuras

Como ya ha sido comentado anteriormente, debido a la proximidad de la Granodiorita de la Maladeta, la observación de las microestructuras relacionadas con el Anticlinorio de Sierra Negra es difícil. El motivo es que generalmente aparecen borradas debido al metamorfismo de contacto que desarrolla la Granodiorita, el cual es posterior al desarrollo de los dos sistemas de pliegues que configuran este anticlinorio.

En cuanto a las primeras estructuras reconocibles en esta zona, que corresponden a pliegues vergentes al norte, las microestructuras asociadas rara vez se observan en el campo. En lámina delgada, únicamente en casos excepcionales se llega a apreciar un clivaje muy poco desarrollado

(S_2) marcado por la orientación de algunos cristales de clorita y moscovita.

En lo que se refiere a la foliación que se asocia a las estructuras de la generación dominante (S_2), en las láminas delgadas pertenecientes al flanco norte del Anticlinorio de Sierra Negra se aprecia la existencia de dominios en los que se reconocen restos del clivaje anterior. Por un lado, los dominios aparecen constituidos por láminas de clivaje con abundantes minerales opacos. Por otra parte, se reconocen unos microlitos donde aparecen cloritas, moscovitas y cuarzos subperpendiculares a las láminas de clivaje.

En el flanco sur del Anticlinorio de Sierra Negra, donde la influencia de la aureola de contacto de la Granodiorita de la Maladeta es menor, en un pequeño afloramiento de rocas presilúricas se ha podido observar un buen desarrollo de la foliación principal (S_2). Esta aparece definida por la orientación dimensional preferente de cristales de moscovita, clorita y algunos cristales de cuarzo. Los planos que configuran este clivaje son continuos y permiten clasificar a esta foliación (S_2) como un clivaje pizarroso. El clivaje principal aparece afectado por una crenulación posterior (S_3), con dirección aproximada E-O, que podría ser alpina. En lámina delgada llega a ser un clivaje de crenulación que resulta del microplegamiento de la fábrica dominante. En este clivaje de crenulación (S_3) se llegan a diferenciar unos dominios incipientes, que corresponden a los flancos de los micropliegues, marcados por moscovitas y minerales opacos. Los microlitos corresponden a la zona de charnela y son más ricos en cuarzo.

— Cabalgamientos

Al oeste del lago Llauset, afectando al flanco sur del Anticlinorio de Sierra Negra, se ha observado un cabalgamiento vergente al sur, a través del cual aparecen rocas presilúricas sobre las ampelitas del Silúrico. No existen datos que permitan conocer la edad de esta estructura, aunque por la situación en que se encuentra podría ser hercínica, relacionada con el Anticlinorio de Sierra Negra. Por otra parte, al sur de esta zona existen numerosos cabalgamientos cuya edad se puede constatar fácilmente como alpina, ya que aparecen involucrados materiales mesozoicos, lo que hace dudar de la edad de este cabalgamiento.

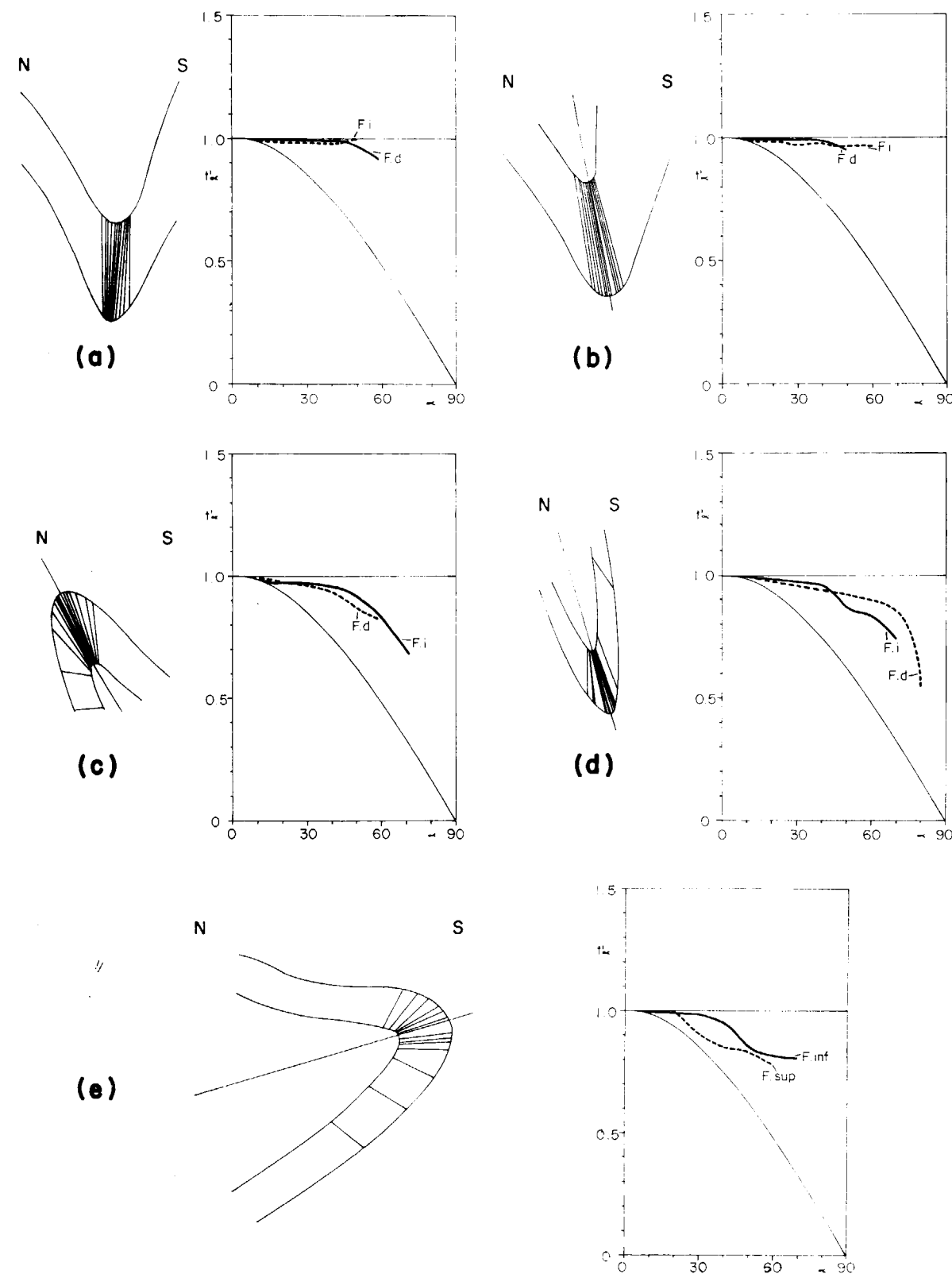


Figura 114.—Clasificación por el método de Ramsay de diversos pliegues menores del Anticlinorio de Vallibierna. a y b) Pliegues menores situados en la zona de charnela; son pliegues de morfología «chevron fold» próximos al tipo 1B. c y d) Pliegues menores situados en la zona de charnela de tipo 1C. e) Pliegue menor situado en el flanco inverso de tipo 1C.

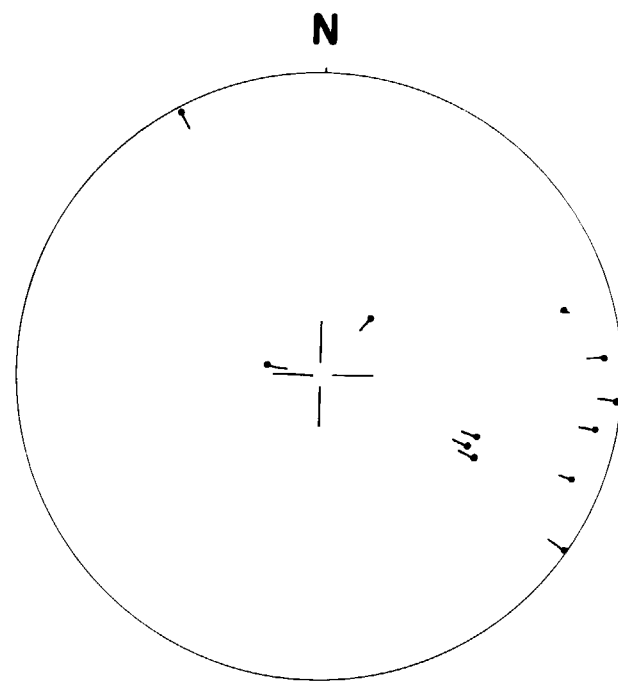
Medidas de L_3

Figura 115.—Estereograma donde se muestran algunas lineaciones de intersección (L_3) entre la estratificación y la foliación dominante (S_3), medidas del Anticlinorio de Sierra Negra.

to que aparentemente se relaciona con una estructura hercínica.

3.7.5. Sector de cabalgamientos de Castanesa

Este sector comprende el área localizada entre el flanco sur del Anticlinorio de Sierra Negra y el límite meridional de la Zona Axial pirenaica (fig. 32). Los materiales paleozoicos que afloran en este sector tienen una edad entre Ordovícico y Devónico, siendo las rocas de esta última edad las más abundantes. En el capítulo de estratigrafía estos materiales fueron descritos en los epígrafes con título sucesiones presilúrica y devónica del sector de la Alta Ribagorça (capítulos 2.1.3. y 2.3.2., respectivamente).

La característica estructural más destacada de esta zona es la existencia de numerosos cabalgamientos imbricados. En la introducción ya se argumenta que estos cabalgamientos delimitan

láminas cabalgantes constituidas por rocas paleozoicas que preservan la estructura hercínica en su interior. En estas unidades cabalgantes suelen encontrarse materiales triásicos involucrados en la deformación, lo que implica una edad alpina para estas estructuras (fig. 116 y mapa geológico núm. 2).

El flanco sur del Anticlinorio de Sierra Negra aparece constituido por una serie de pliegues que involucran a los materiales devónicos (mapa geológico núm. 2). En el collado de Menada, la serie devónica está plagada y afectada por un cabalgamiento que tiene un salto poco importante e involucra materiales triásicos.

Al sur del Pico Menada aparece otro cabalgamiento que buza al norte unos 45° y superpone la serie devónica sobre materiales ordovícicos. La causa de que superponga rocas más modernas sobre más antiguas, probablemente, se debe a que corta estructuras previas (fig. 116). Más al este, en la carretera que conduce al lago Llauset desde Aneto, este cabalgamiento afecta a rocas filonianas y graníticas intercaladas en la serie silúrico-devónica. En este sector dichas rocas se encuentran afectadas por pliegues, actualmente vergentes al sur, a los que se asocia el clivaje principal de este sector (S_3) (fig. 117). A escala de detalle y en lámina delgada se observa que la foliación dominante (S_3) es un clivaje de crenulación. Todo este conjunto de rocas paleozoicas se ve además deformado por otros pliegues abiertos, posiblemente alpinos, a los que se asocia un clivaje poco penetrativo (S_a). Asimismo, se reconocen zonas de cizalla vergentes al sur, posiblemente relacionadas con el cabalgamiento (fig. 118).

— Lámina cabalgante de Senet

MEY (1968) denominó Unidad de Sierra Negra a todo el conjunto de rocas que afloran entre el que aquí se ha denominado Cabalgamiento de Senet y el borde sur de la Granodiorita de la Maladeta. En este trabajo se ha realizado una división del sector de cabalgamientos de Castanesa basándose en las estructuras alpinas. Por este motivo se ha preferido denominar Lámina de Senet al conjunto de rocas que afloran entre el cabalgamiento que aparece al sur del Pico de Menada anteriormente descrito y el Cabalgamiento

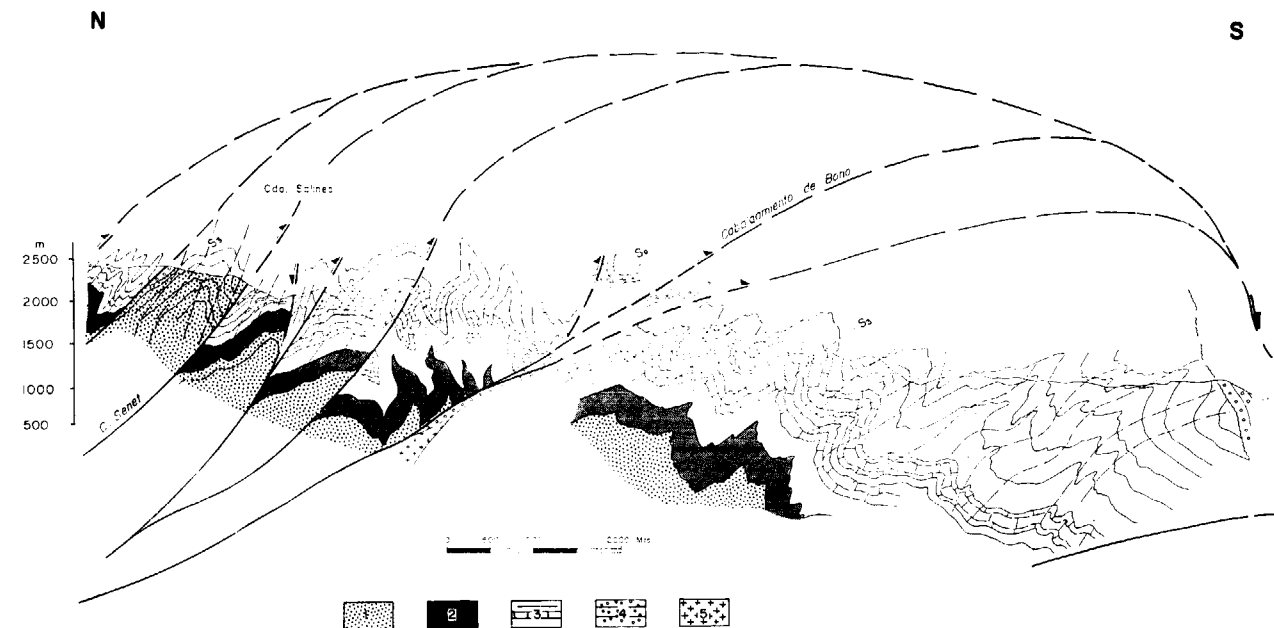


Figura 116.—Corte geológico del Sector de cabalgamientos de Castanesa.

1. Rocas presilúricas.—2. Rocas silúricas.—3. Rocas devónicas.—4. Rocas posthercínicas.—5. Rocas graníticas. Localización en la figura 120. Este corte corresponde a la parte meridional del corte C-D, situado en el mapa geológico núm. 2.



Figura 117.—Aspecto de campo de los pliegues de la generación principal del Dominio de la Alta Ribagorça, a los que se asocia el clivaje principal (S_3). Carretera del lago Llauset. Norte, a la izquierda.

de Senet (mapa geológico núm. 2). Las rocas de este «horse» presentan varios pliegues que en conjunto dibujan un antiformal vergente al sur, al que se asocia el clivaje principal del Dominio de la Alta Ribagorça (S_3) (fig. 119).

En algunos sectores la foliación dominante (S_3), al microscopio, se muestra como un clivaje de crenulación. Por el contrario, en algunas rocas lutíticas no presenta este aspecto de crenulación, sino que viene definido por dominios continuos, penetrativos, donde aparece una importante acumulación de materiales opacos y filosilicatos. El espesor de los microlitos varía entre 10 y 70 micras, siendo de 50 micras el grosor más frecuente. En estos microlitos se observa la existencia de clorita, sericita, cuarzo y moscovita. La orientación preferente de los filosilicatos suele ser buena y define la foliación. Todo este conjunto de características permiten clasificar esta foliación como un clivaje pizarroso grosero. También se observan cristales de cuarzo y clorita con los bordes paralelos a la foliación y cortados, además de reconocerse crecimientos de cuarzo en los extremos de los cristales (fig. 119). Ocasionalmente, se aprecia la existencia de un clivaje previo ($S_1?$) definido por la orientación de clorita y sericita. Las relaciones existentes entre la estratificación y este clivaje primario ($S_1?$) parecen asociar esta foliación con estructuras vergentes al sur (fig. 119), aunque los datos que permiten establecer esta vergencia son escasos y poco claros.

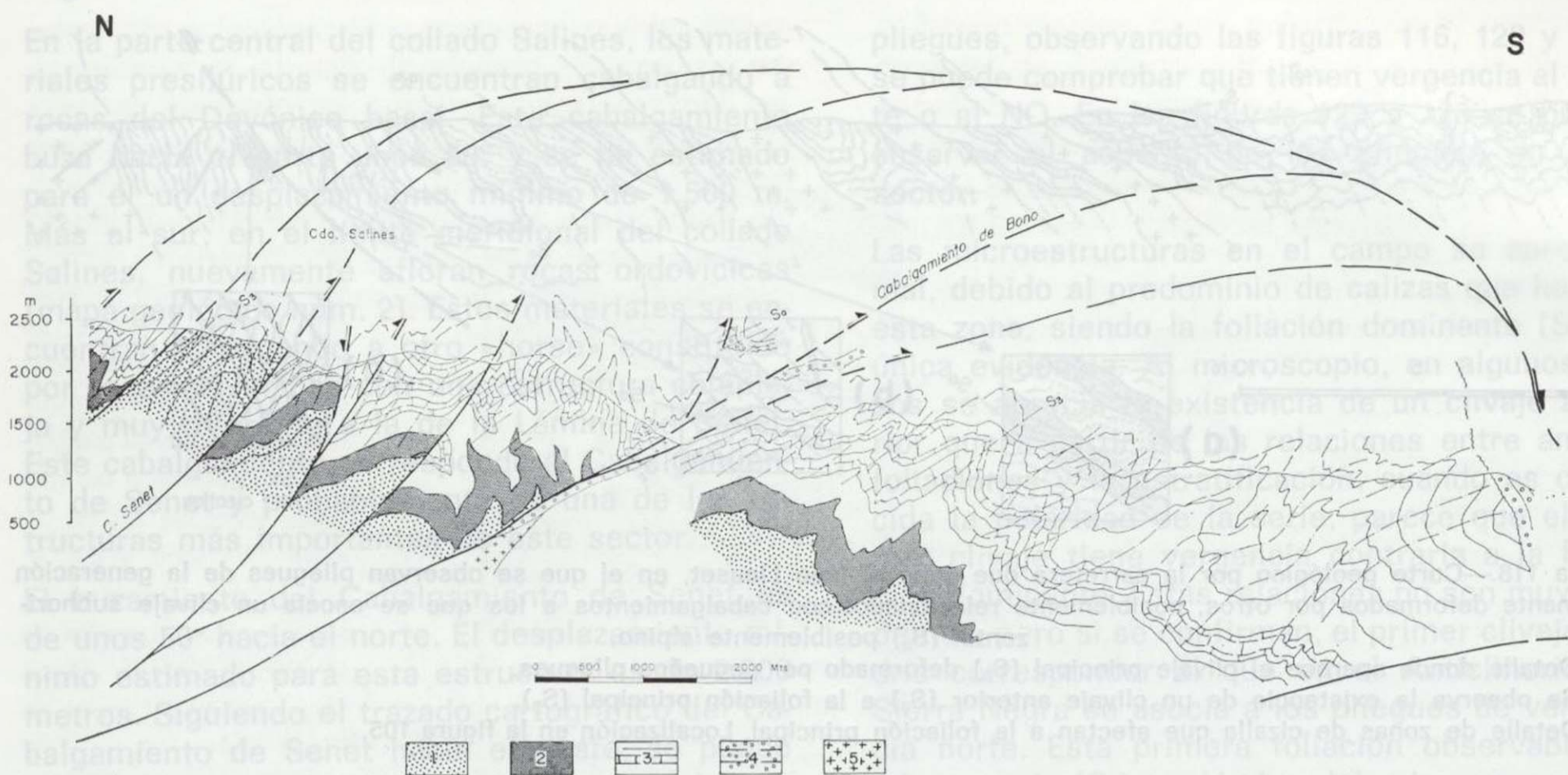


Figura 116.—Corte geológico del Sector de cabalgamientos de Castaneda.

1. Rocas presilúricas.—2. Rocas silúricas.—3. Rocas devónicas.—4. Rocas posthercínicas.—5. Rocas graníticas. Localización en la figura 120. Este corte corresponde a la parte meridional del corte C-D, situado en el mapa geológico núm. 2.

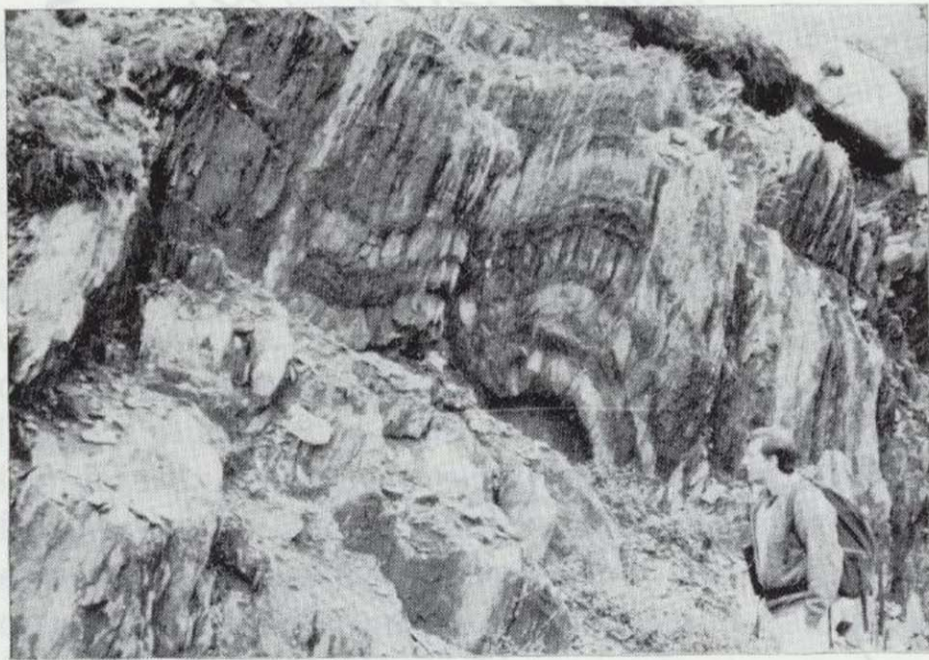


Figura 117.—Aspecto de campo de los pliegues de la generación principal del Dominio de la Alta Ribagorça, a los que se asocia el clivaje principal (S_3). Carretera del lago Llauset. Norte, a la izquierda.

de Senet (mapa geológico núm. 2). Las rocas de este «horse» presentan varios pliegues que en conjunto dibujan un antiformal vergente al sur, al que se asocia el clivaje principal del Dominio de la Alta Ribagorça (S_3) (fig. 119).

En algunos sectores la foliación dominante (S_3), al microscopio, se muestra como un clivaje de crenulación. Por el contrario, en algunas rocas lutíticas no presenta este aspecto de crenulación, sino que viene definido por dominios continuos, penetrativos, donde aparece una importante acumulación de materiales opacos y filosilicatos. El espesor de los microlitos varía entre 10 y 70 micras, siendo de 50 micras el grosor más frecuente. En estos microlitos se observa la existencia de clorita, sericita, cuarzo y moscovita. La orientación preferente de los filosilicatos suele ser buena y define la foliación. Todo este conjunto de características permiten clasificar esta foliación como un clivaje pizarroso grueso. También se observan cristales de cuarzo y clorita con los bordes paralelos a la foliación y cortados, además de reconocerse crecimientos de cuarzo en los extremos de los cristales (fig. 119). Ocasionalmente, se aprecia la existencia de un clivaje previo ($S_1?$) definido por la orientación de clorita y sericita. Las relaciones existentes entre la estratificación y este clivaje primario ($S_1?$) parecen asociar esta foliación con estructuras vergentes al sur (fig. 119), aunque los datos que permiten establecer esta vergencia son escasos y poco claros.

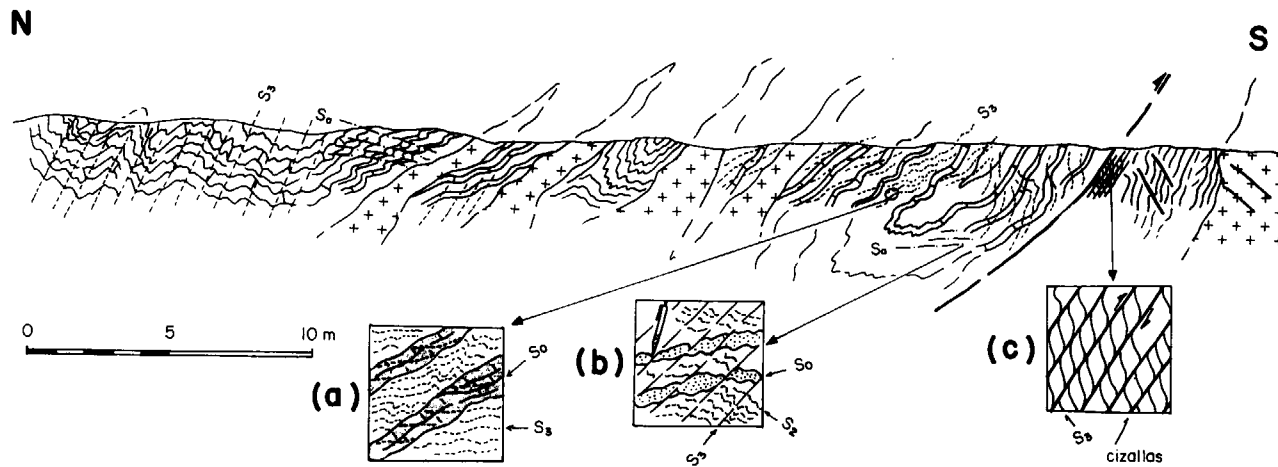


Figura 118.—Corte geológico por la carretera que sube al lago Llauset, en el que se observan pliegues de la generación dominante deformados por otros, posiblemente relacionados con cabalgamientos a los que se asocia un clivaje subhorizontal (S_3) posiblemente alpino.

- a) Detalle donde aparece el clivaje principal (S_3) deformado por pequeños pliegues.
 b) Se observa la existencia de un clivaje anterior (S_2) a la foliación principal (S_3).
 c) Detalle de zonas de cizalla que afectan a la foliación principal. Localización en la figura 105.

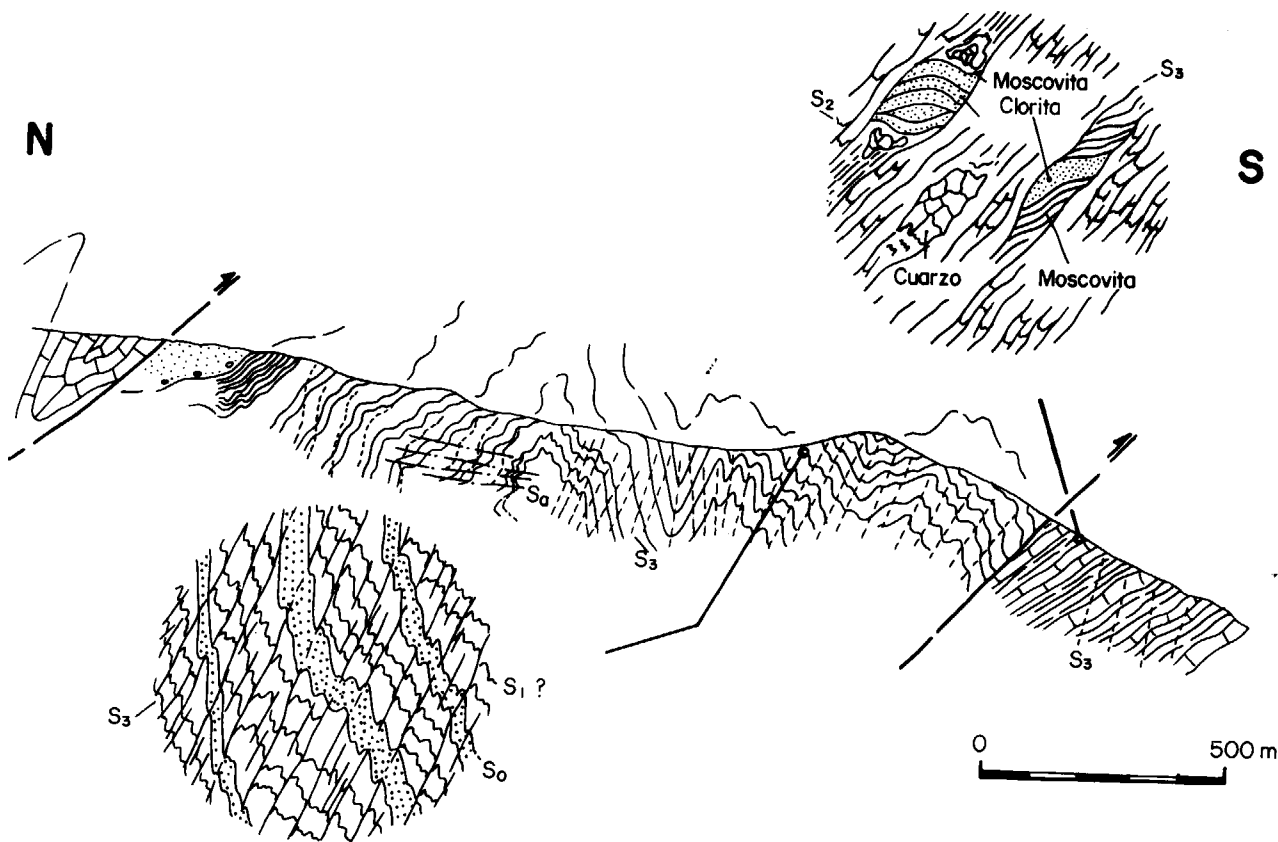


Figura 119.—Corte geológico de la Lámina de Senet. Se observan pliegues derechos de la generación principal a los que se asocia la foliación dominante (S_3), la cual deforma una previa que parece relacionarse con estructuras vergentes al sur ($S_1?$). Se observan crecimientos de clorita a partir de moscovitas posiblemente formadas durante el desarrollo del primer clivaje. Las estructuras principales aparecen deformadas por pliegues a los que se asocia un clivaje subhorizontal (S_1), posiblemente alpino.

En la parte central del collado Salines, los materiales presilúricos se encuentran cabalgando a rocas del Devónico basal. Este cabalgamiento buza hacia el norte unos 50° y se ha estimado para él un desplazamiento mínimo de 1.500 m. Más al sur, en el límite meridional del collado Salines, nuevamente afloran rocas ordovícicas (mapa geológico núm. 2). Estos materiales se encuentran cabalgando a otro «horse» constituido por rocas devónicas con una estructura compleja y muy diferente a la de la Lámina de Senet. Este cabalgamiento corresponde al Cabalgamiento de Senet y probablemente es una de las estructuras más importantes de este sector.

El buzamiento del Cabalgamiento de Senet es de unos 50° hacia el norte. El desplazamiento mínimo estimado para esta estructura es de 2.000 metros. Siguiendo el trazado cartográfico del Cabalgamiento de Senet hacia el oeste, se puede constatar que se trata de una estructura importante, pues se puede seguir durante varios kilómetros (fig. 34).

— Lámina cabalgante de Bono

El Cabalgamiento de Bono (MEY, 1967) limita por el sur esta nueva lámina que se sitúa en la zona del pico Sarronal (fig. 116). Con el Cabalgamiento de Senet, estas son las dos estructuras alpinas más importantes del sector de Castanosa. Ambos cabalgamientos compartimentan un «horse» en el que afloran materiales devónicos intensamente afectados por pliegues, dando lugar a numerosas figuras de interferencia. La litología existente permite realizar una cartografía muy detallada de esta zona. Sin embargo, la estructura que se observa es compleja y difícil de encajar en el contexto de la región estudiada (fig. 120 c).

La estructura interna de la Lámina cabalgante de Bono consiste principalmente en dos sistemas de pliegues que tienen los ejes y las lineaciones de intersección inclinadas hacia el norte unos 20° ó 30° (fig. 120 a). El último sistema lleva asociado el clivaje dominante en este sector (S_3) que en esta área posee una dirección entre E-O y N-100-E. Aunque el trazado de estas estructuras en general es muy variable, la vergencia de estos segundos pliegues es hacia el sur o hacia el SE. En lo referente al primer sistema de

pliegues, observando las figuras 116, 120 y 121, se puede comprobar que tienen vergencia al oeste o al NO. En las figuras 122 y 123 se puede observar el aspecto de los pliegues en este sector.

Las microestructuras en el campo se aprecian mal, debido al predominio de calizas que hay en esta zona, siendo la foliación dominante (S_3) la única evidencia. Al microscopio, en algunos casos se aprecia la existencia de un clivaje anterior que a partir de las relaciones entre ambas foliaciones y la estratificación, cuando es conocida la polaridad de la serie, parece que el primer clivaje tiene vergencia contraria a la foliación dominante. Estas relaciones no son muy evidentes, pero si se confirman, el primer clivaje podría corresponder al que en el Anticlinorio de Sierra Negra se asocia a los pliegues de vergencia norte. Esta primera foliación observable al microscopio (S_2), en lámina delgada, aparece como un clivaje primario definido por la orientación de pequeños cristales de moscovita, sericita y clorita. Este clivaje se puede clasificar como un clivaje pizarroso grosero.

La foliación dominante (S_3) casi siempre resulta del microplegamiento de la fábrica anterior. Da lugar a un clivaje de crenulación bien desarrollado, donde se pueden distinguir unos dominios con acumulaciones de cristales de moscovita y de materiales opacos. Los microlitos tienen un espesor variable entre 30 y 80 micras, siendo de 50 micras el grosor más común. En ellos existe un mayor contenido en cuarzo y corresponden a las zonas de charnela o flancos cortos de los micropliegues, según se trate de pliegues simétricos o asimétricos, respectivamente. En muchas ocasiones, cuando la foliación principal afecta a niveles arenosos se muestra como un clivaje primario. En estos casos aparecen unos dominios ricos en materiales opacos, que limitan unos microlitos donde predominan los minerales desorientados. Algunos cristales de cuarzo tienen cortados los bordes paralelos al clivaje, mientras que en los extremos aparece cuarzo cristalizado. Normalmente, cuando la foliación dominante es primaria, se puede clasificar como un clivaje grosero o como un clivaje pizarroso grosero (fig. 124).

La anómala posición de los ejes de ambos sistemas de pliegues podría ser explicada por la existencia de estructuras posteriores a las de la ge-

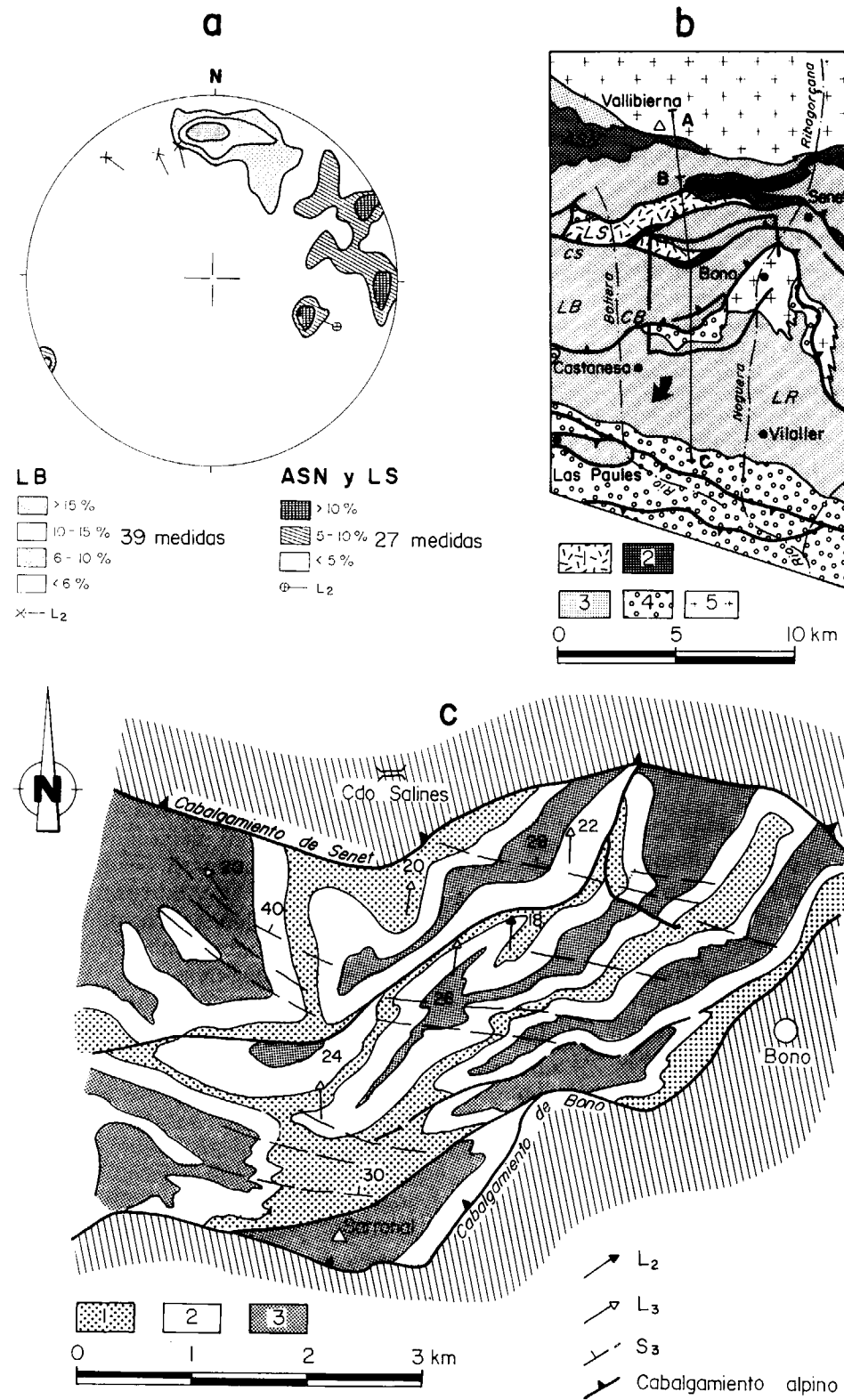


Figura 120.

- a) Estereograma en el que se muestran las lineaciones (L_3) de la generación principal de pliegues; se incluyen algunas medidas de ejes de pliegue primitivos (L_2); el área punteada corresponde a las medidas tomadas en la Lámina de Bono (LB); el área rayada corresponde a las medidas tomadas en el Anticlinorio de Sierra Negra (ASN) y Lámina de Senet (LS).
- b) Esquema geológico del área comprendida entre la Granodiorita de la Maladeta y el límite sur de la Zona Axial pirenaica: A-B. Situación del corte geológico de la figura 106, y B-C. Situación del corte geológico de la figura 116.—ASN. Anticlinorio de Sierra Negra.—LS. Lámina cabalgante de Senet.—LB. Lámina cabalgante de Bono.—LR. Lámina cabalgante de Rialp. 1. Rocas cambro-ordovícicas.—2. Rocas silúricas.—3. Rocas devónicas.—4. Rocas posthercynicas.—5. Granitoides.
- c) Cartografía del área correspondiente a la Lámina de Bono, donde se observa cómo pliegues con dirección N-S son cortados perpendicularmente por el clivaje dominante (S_3); las lineaciones de la generación dominante tienen dirección N-S.—1. Fm. Fonchanina.—2. Fm. Basibé.—3. Fm. Rueda.

neración principal. Sin embargo, puede observarse que el clivaje dominante (S_3) no se encuentra afectado de manera importante por estas hipotéticas estructuras (fig. 120 c), por lo que habría que invocar a una rotación horizontal global del «horse». Otra posible explicación sería la existencia de estructuras anteriores a la formación de los pliegues de la generación dominante. A favor de esta última hipótesis está

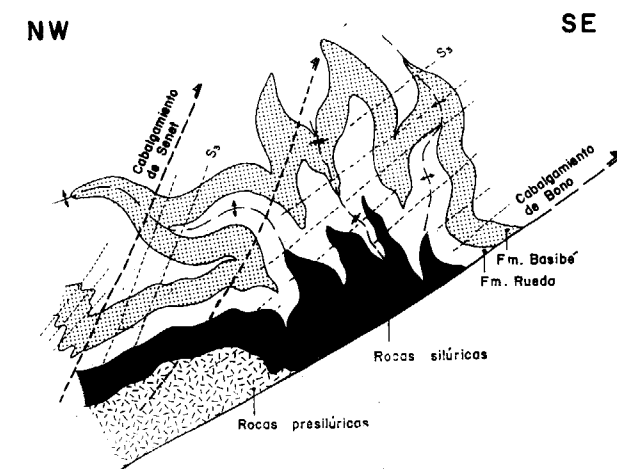


Figura 121.—Corte geológico esquemático de la Lámina de Bono. Se han restaurado los cabalgamientos superiores al de Bono para observar la interferencia de pliegues que existe con anterioridad al emplazamiento de estas estructuras. Los segundos pliegues, de la generación dominante, a los que se asocia la foliación principal (S_3), pueden estar reapretados durante la deformación alpina.

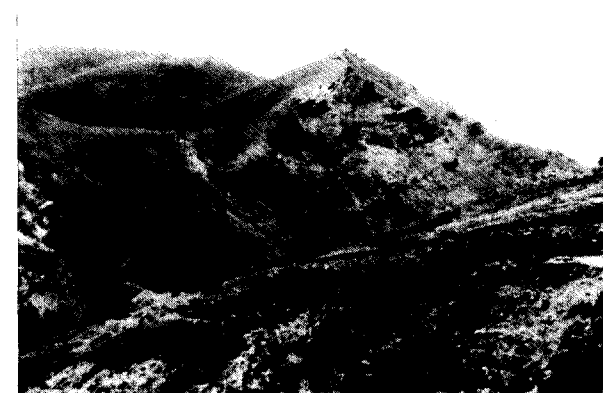


Figura 122.—Sinclinal de la generación dominante del Dominio de la Alta Ribagorça, en las Calizas de Basibé de la lámina cabalgante de Bono. Zona del río Baliera. Oeste, a la izquierda.

el hecho de que otros autores, en el sector occidental de Andorra, situado al este de la zona estudiada, reconocieron la existencia de pliegues previos a la foliación dominante con dirección N-S, además de los vergentes al norte (SPEK-SNIJDER, 1987; CIRES et al., 1990).

En el Cabalgamiento de Bono, localizado en este sector al sur del pico Sarronal (fig. 116), se

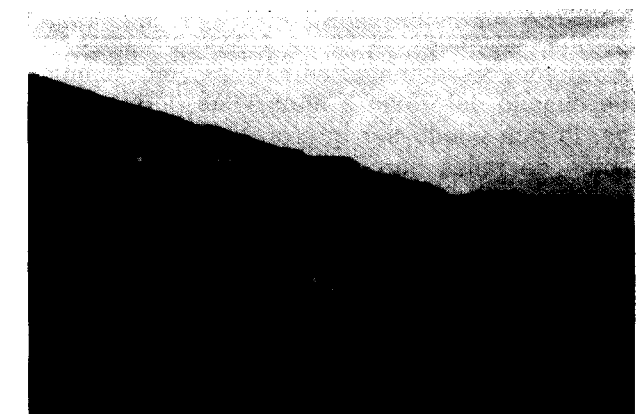


Figura 123.—Interferencia de pliegues en la lámina cabalgante de Bono, zona del collado Salines. Los segundos pliegues tienen dirección norte-sur, pertenecen a la generación principal de estructuras del Dominio de la Alta Ribagorça, y a ellos se asocia el clivaje principal (S_3). Los primeros pliegues también tienen una dirección próxima a norte-sur y vergencia entre oeste y SO. Oeste, a la izquierda.

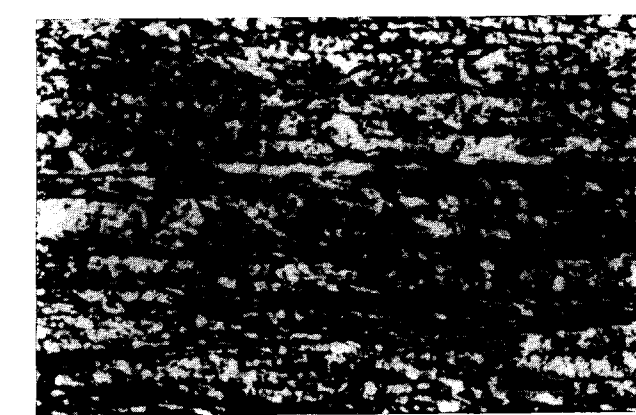


Figura 124.—Aspecto de la foliación dominante del Dominio de la Alta Ribagorça (S_3) en rocas devónicas de la lámina cabalgante de Bono. Obsérvese que es un clivaje de crenulación, ya que deforma una fábrica previa (S_2). Escala de la barra, 0,1 mm.

neración principal. Sin embargo, puede observarse que el clivaje dominante (S_3) no se encuentra afectado de manera importante por estas hipotéticas estructuras (fig. 120 c), por lo que habría que invocar a una rotación horizontal global del «horse». Otra posible explicación sería la existencia de estructuras anteriores a la formación de los pliegues de la generación dominante. A favor de esta última hipótesis está

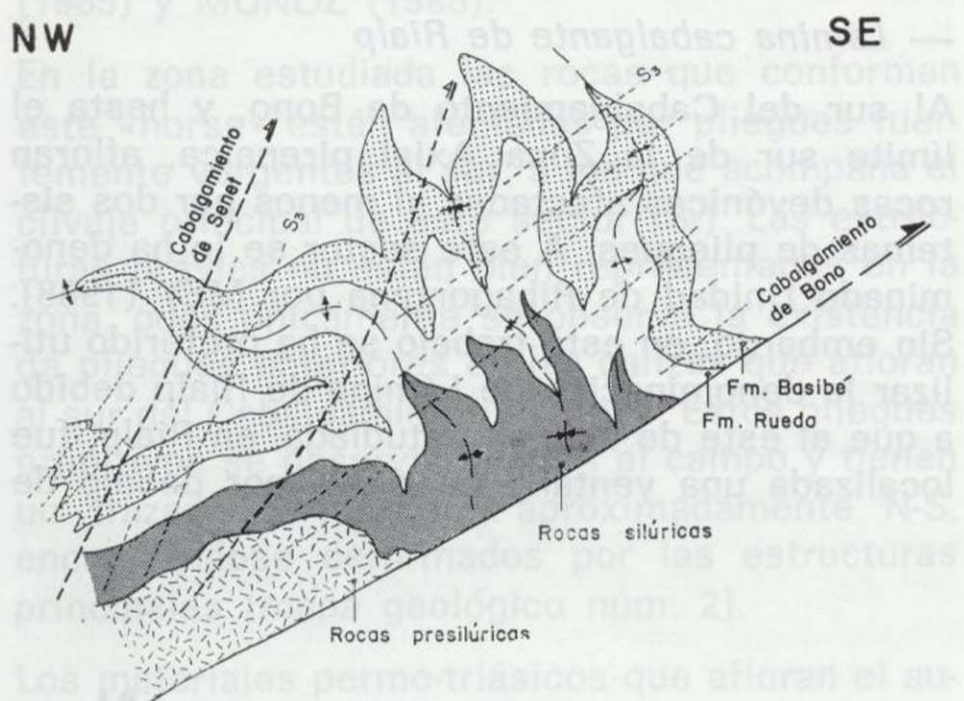


Figura 121.—Corte geológico esquemático de la Lámina de Bono. Se han restaurado los cabalgamientos superiores al de Bono para observar la interferencia de pliegues que existe con anterioridad al emplazamiento de estas estructuras. Los segundos pliegues, de la generación dominante, a los que se asocia la foliación principal (S_3), pueden estar reapretados durante la deformación alpina.



Figura 122.—Sinclinal de la generación dominante del Dominio de la Alta Ribagorça, en las Calizas de Basibé de la lámina cabalgante de Bono. Zona del río Baliera. Oeste, a la izquierda.

el hecho de que otros autores, en el sector occidental de Andorra, situado al este de la zona estudiada, reconocieron la existencia de pliegues previos a la foliación dominante con dirección N-S, además de los vergentes al norte (SPEK-SNIJDER, 1987; CIRES et al., 1990).

En el Cabalgamiento de Bono, localizado en este sector al sur del pico Sarronal (fig. 116), se



Figura 123.—Interferencia de pliegues en la lámina cabalgante de Bono, zona del collado Salines. Los segundos pliegues tienen dirección norte-sur, pertenecen a la generación principal de estructuras del Dominio de la Alta Ribagorça, y a ellos se asocia el clivaje principal (S_3). Los primeros pliegues también tienen una dirección próxima a norte-sur y vergencia entre oeste y SO. Oeste, a la izquierda.

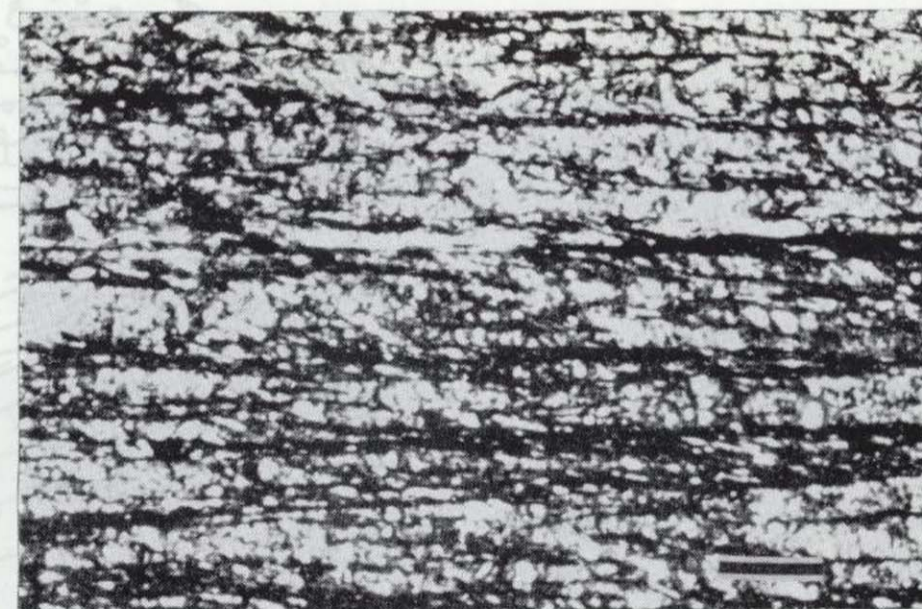


Figura 124.—Aspecto de la foliación dominante del Dominio de la Alta Ribagorça (S_3) en rocas devónicas de la lámina cabalgante de Bono. Obsérvese que es un clivaje de crenulación, ya que deforma una fábrica previa (S_2). Escala de la barra, 0,1 mm.

encuentran involucradas rocas triásicas. El cabalgamiento buza unos 30° al norte y el desplazamiento estimado para esta estructura en la zona del corte de la figura 116 es de 3,5 kilómetros como mínimo. Sin embargo, al este de Vilaller, en la ladera izquierda del río Noguera Ribagorçana, el desplazamiento mínimo que se observa para esta estructura es de 5,5 kilómetros. Hacia el oeste, en la zona situada al NO de Denuy, se observan varios cabalgamientos que cortan los dos sistemas de pliegues previos anteriormente descritos (mapa geológico núm. 2). En algunos casos, estas fallas presentan un salto más grande cuando afectan a rocas prehercínicas que cuando deforman a materiales permo-triásicos, lo que puede ser interpretado como reactivación de fallas hercínicas durante la deformación alpina (fig. 125).

El análisis de las cartografías de MEY (1967) y de WENNEKERS (1968) sugiere que el Cabalgamiento de Bono podría prolongarse hacia el oes-

te, hasta la zona situada al norte de Castejón de Sos, lo cual aún no ha podido ser comprobado. En este sector este Cabalgamiento podría girar hacia el sur como consecuencia del cierre antiformal alpino. Una vez en el flanco sur, esta estructura afecta a rocas mesozoicas principalmente y podría correlacionarse con alguna de las existentes en las Unidades de las Nogueras (figura 34).

— Lámina cabalgante de Rialp

Al sur del Cabalgamiento de Bono, y hasta el límite sur de la Zona Axial pirenaica, afloran rocas devónicas afectadas al menos por dos sistemas de pliegues. A este sector se le ha denominado Unidad de Ribagorzana por MEY (1968). Sin embargo, en este trabajo se ha preferido utilizar la denominación de Lámina de Rialp debido a que al este de la zona estudiada, en Rialp, fue localizada una ventana tectónica por debajo de

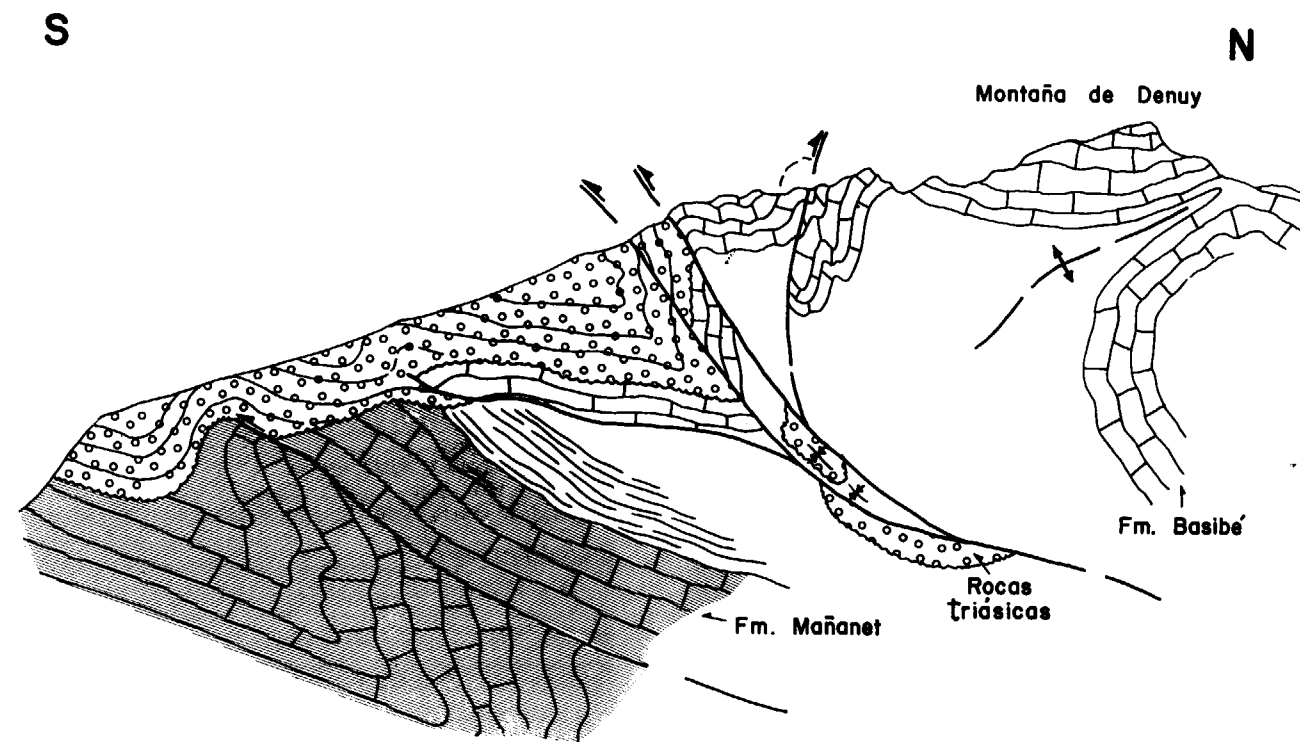


Figura 125.—Esquema geológico de la panorámica que se observa desde las proximidades de Castanesa. Los cabalgamientos parecen tener mayor salto cuando afectan a rocas paleozoicas que cuando afectan a rocas triásicas, por lo que puede tratarse de estructuras hercínicas reactivadas durante la deformación alpina.

estos materiales con rocas triásicas, por JACOB et al. (1926) y JACOB (1930). Posteriormente, MULLER y ROGER (1977), ZWART (1979) y MUÑOZ (1988), incorporan esta estructura a los mapas geológicos. La Lámina de Rialp corresponde al «horse» alpino más bajo observado dentro de la zona estudiada (fig. 34). Esta unidad forma parte de la estructura antiformal alpina observada en el borde sur de la Zona Axial pirenaica, puesta de manifiesto en esta zona por WILLIAMS (1985) y MUÑOZ (1988).

En la zona estudiada las rocas que conforman este «horse» están afectadas por pliegues fuertemente vergentes al sur, a los que acompaña el clivaje principal de este sector (S_3). Las estructuras previas no están bien representadas en la zona, pues únicamente se observa la existencia de pliegues anteriores en las calizas que afloran al sur del Cabalgamiento de Bono. Estos pliegues primitivos se observan mal en el campo y tienen un trazado cartográfico aproximadamente N-S, encontrándose deformados por las estructuras principales (mapa geológico núm. 2).

Los materiales permo-triásicos que afloran el autóctono del Cabalgamiento de Bono están en posición subhorizontal. Sin embargo, los que afloran en el borde meridional de la Zona Axial pirenaica discordantes sobre las rocas devónicas, están buzando al sur unos 80° o subverticales. De esta disposición se deduce la estructura antiformal alpina que existe en esta zona. El clivaje principal del sector (S_3) se encuentra más tendido en la parte meridional que hacia el norte. Este plegamiento de la foliación se produce también como consecuencia del apilamiento antiformal originado por la superposición de láminas cabalgantes alpinas (fig. 116).

La deformación alpina de las rocas paleozoicas de esta región no es tan importante como la observada en áreas situadas más al este. Así, en la zona de Rialp, el clivaje principal se encuentra plegado por efecto del apilamiento antiformal, hasta llegar a la inversión en el flanco sur (MUÑOZ, 1988). Al sur de la Zona Axial, fuera ya del área estudiada, en la zona de Renanue (fig. 34), se puede observar cómo los pliegues de la generación dominante se encuentran en posición «facing down» (SANZ, com. pers.) (*).

(*) División de Geología. ITGE - Jaca.

Dentro de la Lámina de Rialp, las rocas paleozoicas que afloran son principalmente calizas y pizarras. En las primeras debido a la fuerte cristalización sufrida, prácticamente no se observa ninguna foliación afectándolas. Por el contrario, la foliación sí aparece bastante bien desarrollada en los tramos pizarrosos, siendo la que se asocia a los pliegues de la generación principal (S_3). En el caso de rocas lutíticas, esta foliación aparece definida por dominios enriquecidos en materiales opacos y cristalización incipiente de filosilicatos. Los microlitos tienen un grosor de entre 20 y 50 micras, siendo de 30 micras el espesor más normal (fig. 126). En estos microlitos se observa la existencia de una fábrica previa, definida por la orientación de filosilicatos que puede corresponder al clivaje primario (S_2), ya observado en sectores más septentrionales de este dominio. Este clivaje de crenulación (S_3) puede ser clasificado como un clivaje pizarroso grosero. En las capas más arenosas aparece definido por dominios anastomosados, de composición similar al caso de rocas lutíticas, dando lugar a un clivaje grosero.

En lo referente al clivaje alpino que se encuentra afectando a rocas lutíticas de edad permo-triásica, en general, se muestra como un clivaje pizarroso grosero. Cuando afecta a rocas paleozoicas no es evidente, por lo que puede interpretarse que no se ha desarrollado. Sin embargo, a la vista de la posición que en este sector de la

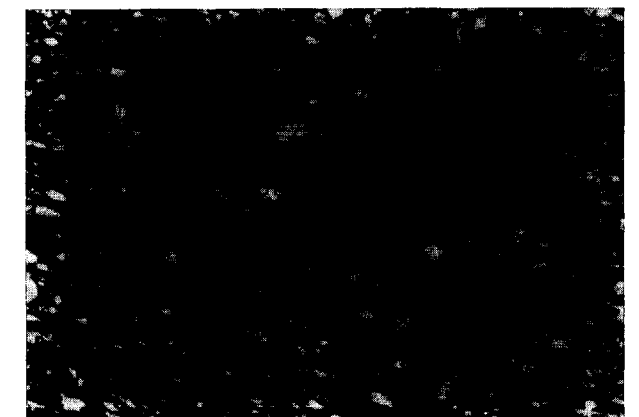


Figura 126.—Aspecto del clivaje principal del Dominio de la Alta Ribagorça en pizarras de la Fm. Vilaller de la lámina cabalgante de Rialp. Escala de la barra, 0,1 mm.

estos materiales con rocas triásicas, por JACOB et al. (1926) y JACOB (1930). Posteriormente, MULLER y ROGER (1977), ZWART (1979) y MUÑOZ (1988), incorporan esta estructura a los mapas geológicos. La Lámina de Rialp corresponde al «horse» alpino más bajo observado dentro de la zona estudiada (fig. 34). Esta unidad forma parte de la estructura antiformal alpina observada en el borde sur de la Zona Axial pirenaica, puesta de manifiesto en esta zona por WILLIAMS (1985) y MUÑOZ (1988).

En la zona estudiada las rocas que conforman este «horse» están afectadas por pliegues fuertemente vergentes al sur, a los que acompaña el clivaje principal de este sector (S_3). Las estructuras previas no están bien representadas en la zona, pues únicamente se observa la existencia de pliegues anteriores en las calizas que afloran al sur del Cabalgamiento de Bono. Estos pliegues primitivos se observan mal en el campo y tienen un trazado cartográfico aproximadamente N-S, encontrándose deformados por las estructuras principales (mapa geológico núm. 2).

Los materiales permo-triásicos que afloran el autóctono del Cabalgamiento de Bono están en posición subhorizontal. Sin embargo, los que afloran en el borde meridional de la Zona Axial pirenaica discordantes sobre las rocas devónicas, están buzando al sur unos 80° o subverticales. De esta disposición se deduce la estructura antiformal alpina que existe en esta zona. El clivaje principal del sector (S_3) se encuentra más tendido en la parte meridional que hacia el norte. Este plegamiento de la foliación se produce también como consecuencia del apilamiento antiformal originado por la superposición de láminas cabalgantes alpinas (fig. 116).

La deformación alpina de las rocas paleozoicas de esta región no es tan importante como la observada en áreas situadas más al este. Así, en la zona de Rialp, el clivaje principal se encuentra plegado por efecto del apilamiento antiformal, hasta llegar a la inversión en el flanco sur (MUÑOZ, 1988). Al sur de la Zona Axial, fuera ya del área estudiada, en la zona de Renanue (fig. 34), se puede observar cómo los pliegues de la generación dominante se encuentran en posición «facing down» (SANZ, com. pers.) (*).

(*) División de Geología. ITGE - Jaca.

Dentro de la Lámina de Rialp, las rocas paleozoicas que afloran son principalmente calizas y pizarras. En las primeras debido a la fuerte cristalización sufrida, prácticamente no se observa ninguna foliación afectándolas. Por el contrario, la foliación sí aparece bastante bien desarrollada en los tramos pizarrosos, siendo la que se asocia a los pliegues de la generación principal (S_3). En el caso de rocas lutíticas, esta foliación aparece definida por dominios enriquecidos en materiales opacos y cristalización incipiente de filosilicatos. Los microlitos tienen un grosor de entre 20 y 50 micras, siendo de 30 micras el espesor más normal (fig. 126). En estos microlitos se observa la existencia de una fábrica previa, definida por la orientación de filosilicatos que puede corresponder al clivaje primario (S_2), ya observado en sectores más septentrionales de este dominio. Este clivaje de crenulación (S_3) puede ser clasificado como un clivaje pizarroso grosero. En las capas más arenosas aparece definido por dominios anastomosados, de composición similar al caso de rocas lutíticas, dando lugar a un clivaje grosero.

En lo referente al clivaje alpino que se encuentra afectando a rocas lutíticas de edad permo-triásica, en general, se muestra como un clivaje pizarroso grosero. Cuando afecta a rocas paleozoicas no es evidente, por lo que puede interpretarse que no se ha desarrollado. Sin embargo, a la vista de la posición que en este sector de la



Figura 126.—Aspecto del clivaje principal del Dominio de la Alta Ribagorça en pizarras de la Fm. Vilaller de la lámina cabalgante de Rialp. Escala de la barra, 0,1 mm.

Zona Axial tiene de la foliación principal hercínica (S_3), podría suponerse que el clivaje alpino se superpuso a la foliación hercínica reaplastándola.

3.7.6. Secuencia de formación de estructuras en el Dominio de la Alta Ribagorça. Recapitulación de las características generales

Este dominio se caracteriza por la importancia de la deformación alpina, dado el número y desarrollo de estas estructuras. Las estructuras hercínicas se observan dentro de cada «horse» alpino y algunas veces no es posible establecer la relación que guardan entre sí. Por este motivo, se hace difícil realizar una cronología relativa de la deformación hercínica válida para todo el dominio. La secuencia deformacional propuesta para las estructuras es la siguiente:

— Estructuras primitivas (D_2)

Son las primeras reconocibles en este dominio y se trata de pliegues generalmente asimétricos. La dirección varía entre E-O en el Anticlinorio de Sierra Negra, donde la vergencia es al norte, y aproximadamente N-S en el sector de cabalgamientos de Castanesa (Lámina de Bono), donde la vergencia puede ser oeste o NO. Ocasionalmente, a estos pliegues se asocia un clivaje primario (S_2) de plano axial. Por otra parte, no siempre es posible reconocer pliegues de esta generación, siendo el clivaje la única estructura observable. Sin embargo, debido al metamorfismo, a las deformaciones posteriores y al tipo de litología (a menudo calizas muy recristalizadas), el clivaje S_2 se observa mal. Cuando esta foliación afecta a rocas pelíticas, viene definido por pequeños cristales de filosilicatos y cuarzo, principalmente.

Estos pliegues, denominados D_2 en este dominio, son comparables a los pliegues vergentes al norte del Sinclinorio del Valle de Arán. Como se ha dicho en el caso de la Lámina de Bono, estas primeras estructuras reconocibles tienen vergencia oeste o NO. Esto puede ser interpretado como debido a la existencia de hipotéticos pliegues previos, de dirección N-S, que en el caso

de existir podrían ser comparables a los pliegues precoces de dirección N-S propuestos por SPEKSNIJDER (1987) y CIRES et al. (1990), al este del área estudiada. Estructuras de este tipo también fueron reconocidas por MAJESTE-MENJOUAS (1979 a), al oeste del área estudiada, y por ZWART (1979). Sin embargo, la causa por la cual en el área estudiada las estructuras primitivas tienen dirección N-S y vergencia oeste, también podría deberse a la existencia de pliegues de dirección N-S posteriores y posiblemente alpinos.

Los pliegues vergentes al norte que afloran en el flanco norte del Anticlinorio de Sierra Negra (D_2), fueron observados anteriormente por KLEINSMIEDE (1960) y MEY (1967), quienes los interpretan como originados por el apilamiento de rocas devónicas, deslizadas hacia el norte, en relación con la Granodiorita de la Maladeta y, por tanto, con posterioridad a las estructuras de la generación principal. Por su parte, ARCHE (1971) y RIOS (1984) interpretaron igualmente las estructuras que afloran en la ladera izquierda del río Vallibierna como pliegues tardíos, simultáneos al emplazamiento de la Granodiorita de la Maladeta.

Como se ha señalado previamente en este trabajo, estos pliegues se encuentran afectados por las estructuras de la generación principal hercínica y cortados por la foliación dominante (S_3) (mapa geológico núm. 2 y figs. 106, 107 y 109), por lo que debe descartarse una edad tardihercínica para los mismos.

— Estructuras D_3

Las estructuras de esta generación son las mejor desarrolladas de este dominio. Se trata de pliegues generalmente apretados, cuyo plano axial tiene una dirección entre E-O y N-110-E. En la parte más septentrional, los ejes de los pliegues tienen direcciones próximas a E-O (Anticlinorio Central, Sinclinorio de Plan d'Estan, Anticlinorio de Sierra Negra). Por el contrario, al sur están orientados en dirección N-S (sector de cabalgamientos de Castanesa). Esta anómala dirección que tienen las estructuras de esta generación en la zona meridional puede ser debida a la existencia de estructuras anteriores con dirección N-S, aunque no debe ser descartada la exis-

tencia de estructuras posteriores que den lugar al mismo efecto. Los pliegues de esta generación normalmente son escasos en el Anticlinorio Central y muy abundantes en el resto del dominio, pudiéndose encontrar estructuras de esta generación de todas las escalas.

A estos pliegues se asocia la foliación dominante (S_3), que es un clivaje bien desarrollado. En lámina delgada, a menudo se observa que es un clivaje de crenulación que deforma a una foliación anterior (S_2). Esta foliación (S_3) está en posición subvertical en las zonas situadas al norte (Anticlinorio Central, Sinclinorio de Plan d'Estan y Anticlinorio de Sierra Negra). En el sector del cabalgamiento de Castanesa esta foliación comienza a buzarse al norte (hasta 30°), teniendo una marcada vergencia sur.

— Cabalgamientos tardihercínicos

Los pliegues de la generación principal de este dominio (D_3) se ven a menudo cortados por cabalgamientos. Algunos son alpinos, como ocurre con los que se observan en la zona de los Cabalgamientos de Castanesa; sin embargo, existen otros que podrían ser hercínicos. Los mejores ejemplos de este tipo de estructuras corresponden al Cabalgamiento de Puerto Picada-Valarties y parte de los cabalgamientos del sector de Castanesa. El Cabalgamiento de Puerto Picada-Valarties en algunos puntos se observa que está deformado por las estructuras de la generación principal (D_3). Sin embargo, se puede observar que en algún momento de su evolución ha cortado el Anticlinorio Central, de lo que se deduce que esta estructura es posterior a la formación del Anticlinorio Central. Los cabalgamientos del sector de Cabalgamientos de Castanesa, aparte de ser estructuras alpinas, pudieron haber jugado anteriormente, durante la deformación hercínica, con posterioridad al plegamiento principal. Prueba de ello es el hecho de que en algunos cabalgamientos se observa que tienen más salto cuando afectan a rocas paleozoicas que cuando afectan a rocas mesozoicas.

— Estructuras alpinas

En el Dominio de la Alta Ribagorça es donde más evidencias de deformación alpina existen,

puesto que es en el que más cabalgamientos alpinos se reconocen y donde mayor deformación alpina han sufrido las estructuras hercínicas. Tomando como referencia la foliación principal hercínica (S_3), por la relación que guarda con otras estructuras hercínicas en el Dominio del Valle de Arán (despegues en la base del Silúrico), podría decirse que antes de la deformación alpina el clivaje S_3 se encuentra buzando unos 60° al norte o algo más verticalizado. Hacia la zona de cabalgamientos de Castanesa esta foliación buza cada vez menos, hasta que en el borde sur de la Zona Axial se inclina solamente 30° al norte.

Esta disposición en abanico de la foliación principal, interpretada por ZWART (1979) como una estructuración hercínica, es, sin embargo, el resultado de la deformación alpina en esta zona. Evidencia de ello es que en el sur de este dominio se encuentra el apilamiento antiformal característico del Pirineo descrito en esta zona por primera vez por WILLIAMS (1985). Por tanto, prácticamente todo el Dominio de la Alta Ribagorça corresponde a esta estructura alpina, situándose su núcleo en el sector de cabalgamientos de Castanesa (Lámina de Rialp).

Se han realizado estudios paleomagnéticos en el sector de Cabalgamientos de Castanesa por McCLELLAND y McCAIG (1989), en los cuales se analiza la rotación sufrida por el eje paleomagnético medido en algunos diques graníticos tardihercínicos. A partir de este estudio se observa que los ejes paleomagnéticos en Lámina de Rialp se encuentran en posición subhorizontal mientras que hacia el norte (Láminas de Bono y Sennet) aparecen inclinados entre 40° y 60° hacia el norte. Estos datos son una clara muestra del efecto producido por el apilamiento antiformal alpino en este sector, aunque si se realiza un análisis comparativo entre la posición del eje paleomagnético y la foliación principal hercínica (S_3), surgen algunos problemas que pueden ser derivados de una mala determinación de la posición del eje paleomagnético o debidos a que el clivaje principal hercínico no siempre se encuentra en la misma posición. En la zona más septentrional (Anticlinorio de Sierra Negra), McCLELLAND y McCAIG (1989) observan que el eje paleomagnético vuelve a encontrarse subhorizontal. Esto parece indicar que las estructuras hercínicas hacia el norte no han variado mucho su posición respecto a la que tenían originariamente.

En lo referente al clivaje alpino que se encuentra afectando a rocas lutíticas de edad permotriásica, en las rocas paleozoicas no es evidente. Por este motivo puede interpretarse que el clivaje alpino no se ha desarrollado en las rocas paleozoicas o que debido a la coincidente posición de ambas foliaciones (S_3 y S_a) se superpuso a la foliación hercínica reaplastándola.

3.8. SECUENCIA DE FORMACION DE ESTRUCTURAS HERCINICAS EN LA TRANSVERSAL DEL VALLE DE ARAN Y DE LA ALTA RIBAGORÇA

Desde el punto de vista tectónico el área estudiada ha sido dividida en tres dominios, en los cuales se observa una estructura diferente. Sin embargo, a la vista del esquema de la figura 127, la desconexión entre unos y otros dominios no es tan evidente, ya que es posible realizar una correlación entre la práctica totalidad de las estructuras mayores. En cualquier caso llama la atención la diferente repartición de estructuras y desarrollo de las mismas, por lo que la correlación llevada a cabo será simplemente una propuesta.

Con la extensión del estudio realizado hacia las

partes oriental y occidental de la Zona Axial se solucionarían probablemente algunos de los problemas de correlación cuya solución de momento sólo puede ser planteada como posible. En el establecimiento de la correlación estructural entre los diferentes dominios debe de tenerse en cuenta que el carácter de las estructuras es función del grado metamórfico, de la cantidad de deformación y de la litología, entre otros factores.

Las estructuras que se consideren formadas durante un mismo episodio se vienen agrupando con los epígrafes D1, D2, D3 y D4. A veces, en algunos de los dominios de la región estudiada se obviarán estructuras de desarrollo local y difícil correlación, las cuales se citan pero no se incluyen en ningún epígrafe.

— Estructuras D1

La primera estructura reconocible se presenta claramente en el Domo del Garona. Se trata de un clivaje primario (S_1) reconocible principalmente en lámina delgada que debe asociarse a pliegues vergentes al sur (de acuerdo con las relaciones entre S_0 - S_1 y polaridad de la serie) de escala plurikilométrica. Estos pliegues nunca han sido detectados en la zona estudiada. Este cliva-

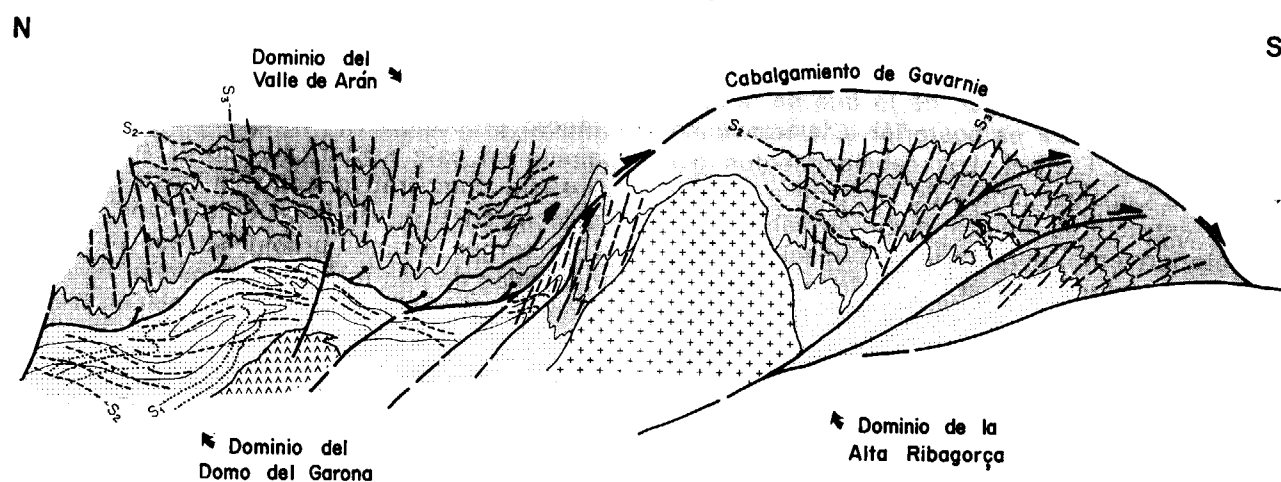


Figura 127.—Corte geológico idealizado del área estudiada donde se muestran las principales estructuras observadas y su relación. Trama gris: rocas silúricas y postsilúricas; trama de puntos: rocas presilúricas; cruces: granodiorita; V invertida: leucogranitos y pegmatitas. Línea de puntos: S_1 ; línea de trazos cortos: S_2 ; línea de trazos largos: S_3 .

je se formó en unas condiciones de metamorfismo de bajo grado, en facies de los esquistos verdes.

— Estructuras D2

Las estructuras de este episodio de deformación están desarrolladas de manera desigual en la zona estudiada. Se trata de pliegues vergentes al norte. En el Domo del Garona son pliegues acostados de todas las escalas (desde kilométricas hasta microscópicas). A ellos se asocia la foliación dominante de este dominio, que es una esquistosidad o un clivaje de crenulación (S_2). En los dominios del Sinclinorio del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça son pliegues asimétricos cuyo tamaño varía entre escala métrica y hectométrica. Se trata de las primeras estructuras y a ellas se asocia asimismo una foliación primaria (S_2).

ZWART (1979) considera que con posterioridad a la formación de estas estructuras tiene lugar el clímax del metamorfismo. Sin embargo, a la vista de algunas evidencias referentes a las relaciones tectónica-metamorfismo, y según los datos aportados por POUGET et al. (1988), parece que el clímax del metamorfismo es contemporáneo con esta generación de estructuras, aunque no debe ser descartada la idea de ZWART (op. cit.), puesto que se han reconocido crecimientos de minerales de metamorfismo con posterioridad a la esquistosidad de crenulación dominante (S_2).

— Estructuras D3

Dentro de esta generación se han incluido diversas estructuras reconocidas en toda la zona estudiada. En los dominios del Sinclinorio del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça, se considera que todo el conjunto de pliegues derechos con dirección E-O, que corresponden a las estructuras principales pertenecen a esta generación. A ellos se asocia la foliación dominante en estos dominios que es un clivaje de crenulación (S_3).

Con posterioridad a las estructuras de segunda generación (D2), en el Domo del Garona, no se observa la existencia de un desarrollo de pliegues tan importante como en los otros dos dominios. Así, el diferente acortamiento que su-

ponen con respecto a los pliegues derechos que se sitúan por encima, debe compensarse con superficies de despegue. Por tanto, los despegues observados dentro de las ampelitas del Silúrico, que circundan el Domo del Garona, se han atribuido a esta tercera generación de estructuras. Se trata de cabalgamientos convergentes hacia la base de los materiales silúricos, y que pasan hacia arriba a los pliegues dominantes del Sinclinorio del Valle de Arán.

Tanto los cabalgamientos mineralizados vergentes al sur reconocidos en el sector SE del Domo del Garona, como los supuestos cabalgamientos que resultan de la interpretación de superposiciones faunísticas anómalas en la sucesión devónica del Valle de Arán, pueden estar relacionados con los despegues de las ampelitas silúricas. Por tanto, pueden ser consideradas estructuras ligadas a la deformación D3, y afectadas por los pliegues del episodio D4 (fig. 128).

Por otra parte, en el Domo del Garona se han reconocido pliegues derechos, abiertos, de dirección N-150/170-E (P_{NO-SE}), que desarrollan una crenulación penetrativa y generalizada en todo el dominio (L_{NO-SE}). A partir de los datos que se posee, parecen corresponder a estructuras anteriores a los cabalgamientos mineralizados del Domo del Garona. Por otro lado es claro que son posteriores a los pliegues de segunda generación (D2). Por este motivo se pueden considerar como un conjunto de estructuras de desarrollo local y difícil correlación con las demás.

— Estructuras D4

Se puede considerar que son estructuras de esta generación los pliegues derechos, abiertos, de dirección E-O, y de todas las escalas, que configuran la actual forma del Domo del Garona (P_4). Estas estructuras tienen una crenulación asociada que es la denominada L_4 en capítulos precedentes y deforman a los despegues del Silúrico, incluidos en el anterior episodio de deformación (D3). Estas estructuras pueden tener una edad alpina, o al menos pudieron haberse reapretado durante esta orogenia.

— Cabalgamientos tardihercínicos

Con posterioridad a las estructuras D3, en el Dominio de la Alta Ribagorça, se ha observado

la existencia de cabalgamientos vergentes al sur que cortan a gran número de las estructuras precedentes. Estos corresponden a los cabalgamientos de Castanesa, que pese a corresponder a estructuras alpinas, algunas de ellas parecen haber jugado previamente durante la deformación hercínica, puesto que son cortadas por los granitos. Estas pueden considerarse las últimas estructuras hercínicas del área estudiada.

— Microestructuras

En la región estudiada se han reconocido varias foliaciones y crenulaciones desigualmente repar-

tidas a lo largo de toda la zona y que muestran una evolución de unas áreas a otras, lo que da idea del grado de metamorfismo de cada sector en el momento de formarse las microestructuras.

La primera foliación reconocible se encuentra en el Domo del Garona y corresponde al clivaje primario (S_1) asociado a estructuras de vergencia sur. En general, presenta un buen desarrollo dando lugar casi siempre a un clivaje pizarroso definido por la orientación dimensional preferente de pequeños cristales de moscovita, clorita y cuarzo. En ocasiones, constituye la foliación mejor desarrollada, siendo más evidente que el cli-

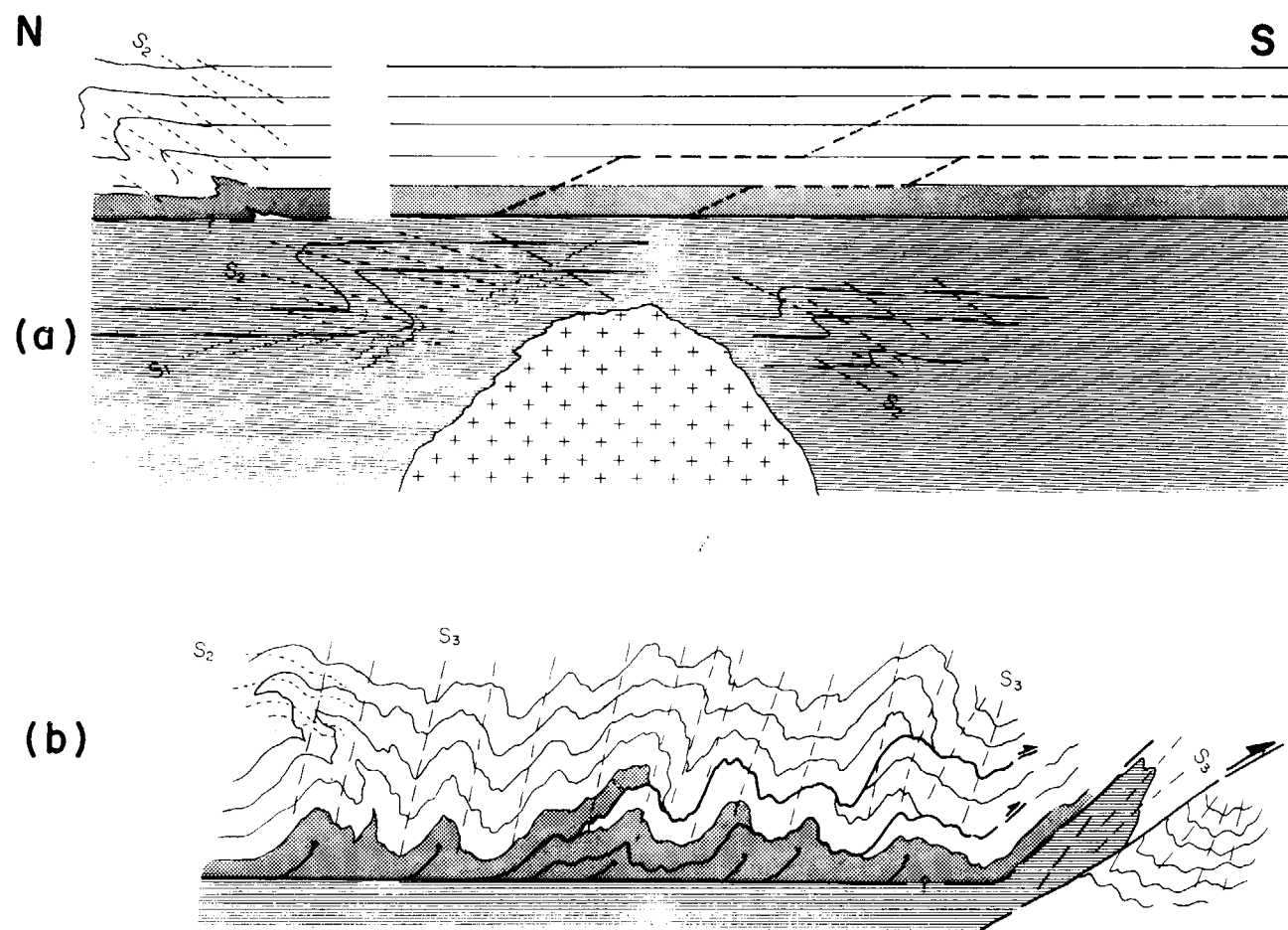


Figura 128.—Esquema en el que se muestran todas las estructuras agrupadas como D_3 .

- a) Situación anterior a la formación de estructuras D_3 .
 b) Estructuras D_3 : posibles cabalgamientos plegados que afectan a rocas devónicas, despegues en la base de los materiales silúricos, pliegues derechos en las rocas devónicas y clivaje dominante (S_3) asociado a ellos. Se incluyen en el esquema los cabalgamientos fuera de secuencia que cortan a los pliegues derechos, aunque pueden considerarse estructuras posteriores a las D_3 .

vaje principal (S_2), aunque en la mayoría de los casos sólo se observa en lámina delgada. Fuera del Domo del Garona nunca ha sido observado este clivaje, únicamente al sur del área estudiada, en el Sector de cabalgamientos de Castanesa, más concretamente en las rocas presilúricas de la Lámina de Senet aparece una foliación primaria que parece estar asociada a estructuras vergentes al sur. Sin embargo, no está claro este dato, por lo que parece raro que se trate de la S_1 .

La segunda foliación (S_2) se reconoce de manera desigual en toda la zona estudiada y va asociada a pliegues de vergencia norte. En el Sector de cabalgamientos de Castanesa, hacia el sur, es donde aparece menos desarrollada y en numerosos casos no es evidente. Sin embargo, hacia el norte comienza a presentarse muy clara, siendo muy evidente en lámina delgada. En el Sinclinario de Plan d'Estan, nuevamente aparece como un clivaje incipiente o no se observa. En áreas aún más septentrionales, concretamente en el Anticlinal Central, esta foliación se encuentra bien desarrollada y constituye una fábrica primaria definida por la orientación dimensional preferente de cristales de moscovita, clorita, cuarzo y materiales opacos, reconociéndose ya bastante recristalización asociada, lo que permite clasificarla como un clivaje pizarroso.

En el Sinclinario del Valle de Arán, hacia la parte meridional, esta foliación (S_2) aparece poco desarrollada o incluso no llega a observarse. Por el contrario, hacia el norte, se muestra como una foliación primaria que se observa muy claramente lámina delgada, con un desarrollo comparable al que tiene en el Anticlinal Central. En el sector más septentrional del Sinclinario del Valle de Arán, en ocasiones, este clivaje (S_2) constituye la foliación mejor desarrollada.

En el Domo del Garona, esta foliación (S_2) es la principal. Aparece como una esquistosidad o un clivaje de crenulación muy bien desarrollado y se puede comprobar en diversos casos que es sincrónica o algo anterior al clímax de metamorfismo hercínico.

La tercera foliación observable corresponde al clivaje de crenulación (S_3), que es la foliación más extendida de zona estudiada, ya que siempre corresponde al clivaje principal, salvo en el Domo del Garona, donde no se reconoce. Por lo general, su desarrollo es bueno, siendo un cli-

vaje de crenulación en los dominios del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça. En algunas zonas se presenta como un clivaje primario (parte del Sinclinario de Plan d'Estan y hacia el sur del Sector cabalgamientos de Castanesa), que normalmente suele tener buen desarrollo, aunque menor que en las otras zonas. Por lo general, resulta del microplegamiento de la S_2 y cuando aparece como un clivaje primario se puede clasificar como un clivaje pizarroso grosero, donde actúan principalmente mecanismos de disolución por presión, así como la cristalización incipiente de algunas moscovitas y cuarzo.

En el Domo del Garona se observa la existencia de dos crenulaciones relacionadas con pliegues derechos, son las denominadas L_{NO-SE} y L_4 . Ambas microestructuras tienen un buen desarrollo e incluso en ocasiones pueden llegar a dar lugar a un clivaje de crenulación grosero y discontinuo. Fuera del Domo del Garona estas microestructuras no han sido observadas.

Por último, en determinadas zonas, principalmente del Dominio de la Alta Ribagorça, se ha reconocido la presencia de una foliación posterior a todas las estructuras hercínicas reconocidas (S_a) y que, por tanto, podría ser alpina. No está claro que en todos los casos se trate de la misma foliación, aunque siempre aparece como un clivaje de crenulación bastante espaciado (1 a 0,5 centímetros), irregular y discontinuo. Se observa que actúan principalmente mecanismos de disolución por presión cuando afecta a rocas arenosas. Cuando se desarrolla sobre rocas pizarrosas produce el microplegamiento de las foliaciones previas.

REFERENCIAS

- ARCHE, A. (1971): *Estudio estratigráfico de las cabeceras de los ríos Esera y Pique (Pirineos Centrales, España, Francia)*. Tesis doctoral. Univ. de Madrid, 197 pp.
 CARALP, J. (1887): *Structure géologique du Val d'Aran*. Soc. d'Histoire Nat., Toulouse, 21 année, pp. 24-33.
 CARRERAS, J.; JULIVERT, M. & SANTANACH, P. (1980): *Hercynian mylonite belts in the eastern Pyrenees: an example of shear zones associated with late folding*. J. Struct. Geol., Oxford, 2, 1/2, pp. 5-9.
 CHARLET, J. M. (1979): *Le massif granitique de la Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles), synthèse des données géologiques*. Ann. Soc. géol. Belgique, Liège, 102, pp. 313-323.

- CHARLET, J. M. (1982): *Les grands traits géologiques du massif de la Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles)*. Pirineos, Jaca, 116, pp. 57-66.
- CIRES, J.; ALIAS, G.; POBLET, J. & CASAS, J. M. (1990): *La estructura del Anticlinal de la Massana (Hercínico del Pirineo Central)*. Geogaceta, Madrid, 8, pp. 42-44.
- DALLONI, M. (1910): *Etude géologique des Pyrénées de l'Aragon*. Ann. Fac. Sc., Marseille, XIX, 444 pp.
- DALLONI, M. (1930): *Etude géologique des Pyrénées catalanes*. Ann. Fac. Sc., Marseille, XXVI, 373 pp.
- DONNOT, M. & GUERANGE, B. (1969): *Coupe du Cambro-Ordovicien de L'Hospice de France au Port de Venasque (Luchon, Haute Garonne, Pyrénées centrales)*. Repport BRGM, Orleans, 69 SGL 080 GEO, 52 pp.
- DUROCHER, J. (1844): *Essai pour servir à la classification du terrain de transition des Pyrénées et observations diverses sur cette chaîne de montagnes*. Ann. mines, Paris (4), VI, pp. 15-112.
- HUDLESTON, P. J. (1973): *Fold morphology and some geometrical implications of theories of fold development*. Tectonophysics, Amsterdam, 16, pp. 189-214.
- JACOB, Ch. (1930): *Zone axiale versant Sud et versant Nord des Pyrenées*. Bull. Soc. géol. France, Livre Cent. Jub. (1830-1930), 2, pp. 389-410.
- JACOB, Ch.; FALLOT, P.; ASTRE, G. & CIRY, R. (1926): *Observations tectoniques sur le versant méridional des Pyrénées centrales et orientales*. C. R. du XIV Congr. géol. intern., Madrid, X, pp. 335-410.
- KLEINSMIEDE, W. F. J. (1960): *Geology of the Valle de Arán (Central Pyrenees)*. Leidse Geol. Meded., 25, pp. 129-245.
- LAMOUREUX, C. (1976): *Les mylonites dans le Massif du Néouvielle (textures, déformations intracrystallines). Déformations pyrénéennes dans un complexe plutonique hercynien*. Thèse 3ème Cycle, Toulouse, 148 pp.
- LEYMERIE, M. (1862): *Réunion extraordinaire de la Société géologique de la France à Saint Gaudens*. Bull. Soc. géol. Fr., Paris, 2e., 19, pp. 1089-1163.
- LEYMERIE, M. (1870): *Explication d'une coupe transversale des Pyrénées françaises passant par Luchon et Montréjeau, comprenant le massif de la Maladeta, avec projection du versant gauche des collées de la Pique et de la Garonne*. Bull. Soc. géol. Fr., Paris (2), XXVII, pp. 573-585.
- MAJESTE-MENJOUAS, C. (1979a): *Evolution alpine d'un segment de chaîne varisque: Nappe de Gavarnie, chevauchement Cinq-Monts-Gentiane (Pyrénées centrales et occidentales)*. Thèse Sci., Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 343 pp.
- MATTAUER, M. & SEGURET, M. (1966): *Sur le style des déformations tertiaires de la zone axiale hercynienne des Pyrénées*. C. R. Somm. Soc. géol. Fr., Paris, 1, pp. 10-13.
- McCLELLAND, E. & McCaIG, A. M. (1989): *Palaeomagnetic estimates of rotations in compressional regimes and potential discrimination between thin-skinned and deep crustal deformation*. In: C. KISSEL and C. LAJ (Eds.): *Palaeomagnetic Rotations and Continental Deformation*, pp. 365-379.
- MEY, P. H. W. (1967): *The Geology of the Upper Ribagorzana and Ballera valleys, Central Pyrenees, Spain*. Leidse Geol. Meded., 41, pp. 153-220.
- MEY, P. H. W. (1968): *Geology of the Upper Ribagorzana and Tor valleys, Central Pyrenees, Spain*. Leidse Geol. Meded., 41, pp. 229-292.
- MICHARD-VITRAC, A.; ALBAREDE, F. & DEPUIS, Ch. (1979): *Implications génétiques des compositions isotopiques en Sr, Pb, et O dans la série gabbros-granodiorite-granite du Massif de la Maladeta (Pyrénées centrales)*. 7ème Réunion annuelle des Sc. de la Terre, Lyon, 328 pp.
- MULLER, J. & ROGER, Ph. (1977): *L'évolution structurale des Pyrénées (Domaine central et occidental). Le segment hercynien, la chaîne de fond alpine*. Géologie Alpine, 53, pp. 149-191.
- MUÑOZ, J. A. (1988): *Estructura de las unidades surpirenaicas en la transversal del corte ECORS*. Guía de campo de la «Reunión extraordinaria ECORS-PIRINEOS», Baussens - Balaguer.
- POUGET, P.; LAMOUREUX, C. & DEBAT, F. (1988): *Le dôme de Bosost (Pyrénées centrales): réinterprétation majeure de sa forme et de son évolution tectonométamorphique*. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 307, série II, pp. 949-955.
- RAMSAY, J. G. (1967): *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill, New York, 568 pp.
- RIOS, L. M. (1984): *Reflexiones sobre las relaciones del encajante Paleozoico con los granitos. Ejemplo de los Pirineos de Benasque (provincia de Huesca)*. I Congr. Esp. Geol., Segovia, V, pp. 313-332.
- SOULA, J. C.; LAMOUREUX, Ch.; VILLARD, P.; BESSIERE, G.; DEBAT, P. & FERRET, B. (1986 c): *The Mylonite zones in the Pyrenees and their place in alpine tectonic evolution*. Tectonophysics, Amsterdam, 129, pp. 115-147.
- SPEKSNIJDER, A. (1987): *The detection and significance of early deformation in the southern Variscan Pyrenees, Spain; implications for regional Paleozoic structural evolution*. Geol. Rundschau, Stuttgart, 76, 2, pp. 451-476.
- WENNEKERS, J. H. N. (1968): *The geology of the Esera valley and the Lys-Caillaouas massif. Central Pyrenees, Spain, France*. Thesis, Univ. Leiden, 46 pp. In: ZWART, 1979.
- WILLIAMS, G. D. (1985): *Thrust tectonics in the south central Pyrenees*. J. Struct. Geol., Oxford, 7, 1, pp. 11-17.
- ZWART, H. J. (1979): *The Geology of the Central Pyrenees*. Leidse Geol. Meded., 50, 74 pp.

Original recibido: Septiembre de 1991.

Original aceptado: Octubre de 1991.

Geología y prospección geoquímica para oro, en la zona de Lora del Río (Sevilla).

Por P. HIGUERAS (1); J. BÖRRERO (2); R. URBANO (3) y J. L. ORDOÑEZ (3)

RESUMEN

El presente artículo describe y resume las conclusiones de mayor interés puestas de manifiesto en el estudio de las anomalías de geoquímica para oro detectadas en la cuenca del Arroyo Barbacal, al norte de la provincia de Sevilla. El estudio incluye el reconocimiento geológico y metalogénico de la zona, y una campaña de geoquímica multielemental con 27 elementos determinados en 1.268 muestras.

Las formaciones geológicas sobre las que se sitúan las anomalías se han caracterizado desde los puntos de vista estratigráfico, petrológico y estructural, y se han correlacionado con otras Formaciones de la Zona de Ossa-Morena. También se han estudiado y sistematizado los indicios mineros existentes en la zona y alrededores, con objeto de establecer una relación entre estos tipos de yacimientos y las anomalías geoquímicas.

La prospección geoquímica multielemental y el correspondiente tratamiento informático de datos ha permitido establecer asociaciones entre los elementos analizados, así como su relación con las distintas formaciones geológicas e indicios mineros de la zona.

Entre las conclusiones más significativas se puede señalar la relación detectada entre el oro y otros elementos indicadores, como As, Sb, Hg, Cu, y la localización de los niveles y/o estructuras portadoras de la mineralización aurífera, en relación con indicios o afloramientos estratoligados de gossan, y zonas hidrotermalizadas, con cuarzo+sulfuros, que pueden corresponder a removilizaciones sincinemáticas respecto a la primera fase de deformación hercínica de mineralizaciones sinérgicas.

Palabras clave: Prospección geoquímica multielemental, Estadística, Oro, Hercínico, Sevilla.

ABSTRACT

The present paper describes and summarizes the results of a geological and soil geochemistry survey for gold carried out in the area of Arroyo Barbacal, north of Sevilla province. The study includes a geological and metallogenetic description of the area and elaboration of the results of a multielemental geochemical survey which comprises the analyses of 27 elements from 1,268 samples.

The geological formations of the area are petrographically, stratigraphically and structurally characterized, and they are tentatively correlated with other known formations elsewhere in the Ossa-Morena Zone.

The mineral showings of the area and their surroundings were systematized in order to establish a relationship between the type of deposit and its geochemical signature.

Computer statistic analysis of the data from the multielemental geochemical survey allowed the establishment of association among the various elements, and of these with the geological formations and mineral showings.

One of the most significant conclusions is that gold and its associated path-finders As, Sb, Hg, Cu are related to gold-bearing horizons and (or) structures, as gossan-type stratabound showings and outcrops and hydrothermal zones with quartz and sulfides which could be synkinematic remobilizations of syngenetic mineralizations during the first phase of the Hercynian orogeny.

Key words: Multielemental geochemical prospecting, Statistics, Gold, Hercynian, Sevilla.

(1) Depto. Ingeniería Geológica y Minera. E. U. P. Almadén. Univ. Castilla-La Mancha. 13400 Almadén (Ciudad Real).

(2) IARA. Junta de Andalucía. Avda. República Argentina, 25, 5.ª planta. 41071 Sevilla.

(3) Instituto Tecnológico Geominero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

1. INTRODUCCION

La zona de El Pedroso-Peñaflor-Lora del Río-Constantina ha sido objeto de investigación minera para Au desde que CALDERON (1880) señaló la presencia de laminillas de este metal en la Sierra de Peñaflor. Posteriormente, durante la realización de la Hoja MAGNA de Ventas Quemadas (IGME, 1973) se hace de nuevo referencia a la existencia de oro nativo, en forma de laminillas observadas en las corneanas piroxénicas del borde Oeste del granito de El Pedroso.

A partir de estos datos, el ITGE ha venido desarrollando sucesivas fases de investigación, a una de las cuales corresponde el presente artículo, en el que se sintetizan los trabajos realizados dentro del Proyecto «Investigación para metales preciosos en las Reservas Estatales "Cerro Muriano A2" y "Hueznar"» (ITGE-MAYASA, 1989), y cuyo objetivo principal era la localización de zonas anómalas de interés aurífero, así como su caracterización geoquímica y metalogénica.

En el presente artículo se describen fundamentalmente los resultados obtenidos en la geoquímica de suelos realizada, los tratamientos estadísticos realizados, tanto de carácter monoelemental como multivariados, y establecemos la relación entre las diferentes anomalías geoquímicas obtenidas y las formaciones geológicas y mineralizaciones sobre las que se sitúan.

2. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

El sector investigado se sitúa desde el punto de vista geológico en la parte más meridional del anticlinorio Olivenza-Monesterio-Lora del Río (ALIA, 1963). De manera sucinta, describimos aquí las características geológicas del área de estudio, en la que afloran materiales volcánicos, volcano-sedimentarios, plutónicos y/o subvolcánicos que pueden tener relación genética con la mineralización investigada; la figura 1 muestra el mapa geológico de área estudiada.

2.1. Estratigrafía

Desde el punto de vista estratigráfico, la secuencia de materiales presentes en el área sería la siguiente:

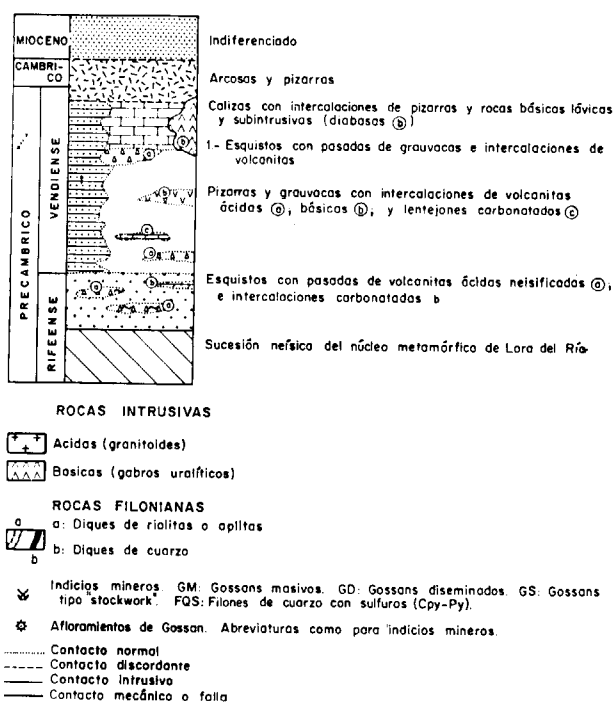
* Sucesión neísica y granito anatéctico del nú-

cleo metamórfico de Lora del Río (ARRIOLA y GARROTE, 1980).

- * Esquistos con pasadas de volcanitas ácidas neisificadas.
- * Pizarras y grauvacas epiclásticas con intercalaciones de volcanitas ácidas y básicas y esporádicas intercalaciones carbonatadas.
- * Calizas con intercalaciones de pizarras y rocas básicas.
- * Esquistos con pasadas arenosas e intercalaciones de volcanitas.
- * Arcosas y pizarras (Formación Torreárboles de LIÑAN, 1978).
- * Calizas bioclásticas y arcillas del Mioceno.

Son todos ellos materiales característicos del Grupo de Córdoba-Fuenteovejuna (APALATEGUI et al., 1985), o del Supergrupo de Valencia de las Torres-Cerro Muriano (QUESADA et al., 1987).

Siguiendo el orden establecido describimos las características más interesantes de cada uno de estos conjuntos.



Leyenda figura 1.

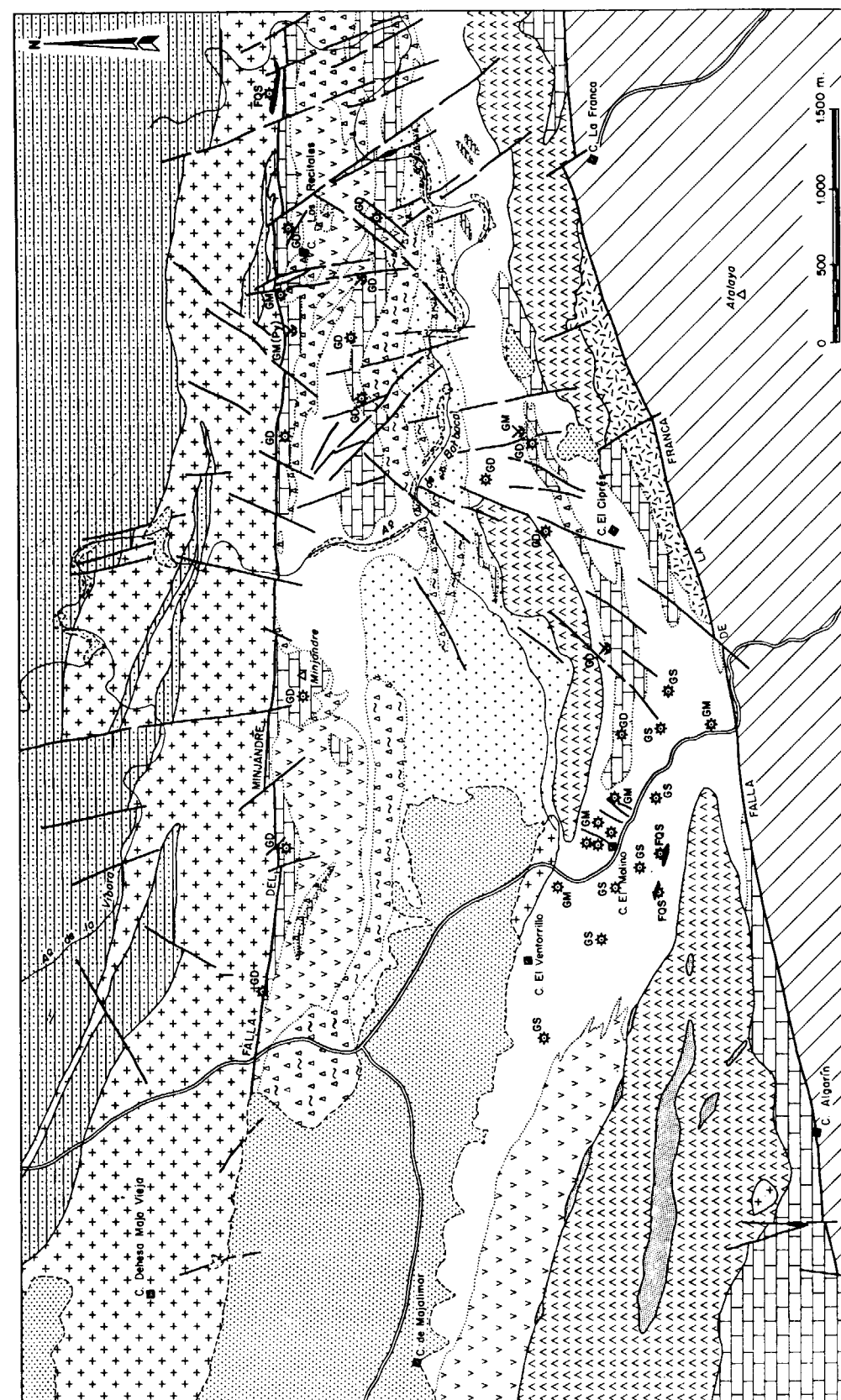


Figura 1.—Mapa geológico del área estudiada.

— La Sucesión neísica del núcleo metamórfico de Lora del Río está constituida por neises con intercalaciones de esquistos de colores claros, y anfibolitas. Debe ser correlacionable con la Formación Blastomilonítica de DELGADO (1971). Estos materiales no se han estudiado en detalle en el presente trabajo, dado que quedan al Sur de la zona de interés, y separados del resto por una fractura importante (falla de La Franca), como se observa en el plano geológico, figura 1.

— Los esquistos con pasadas de volcanitas ácidas neisificadas constituyen la base de la secuencia estratigráfica de la zona de mayor interés minero.

Los materiales característicos son esquistos con un grado bajo a muy bajo de evolución metamórfica, que proceden de sedimentos pelíticos con algunas pasadas arenosas ricas en matriz (grauvacas). Los minerales de neoformación metamórfica que comportan estas rocas son moscovita y biotita. Las intercalaciones volcánicas corresponden a cuerpos lenticulares de metarriolitas, procedentes de rocas tobáceas con fenoclastos de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos en una matriz cuarzo-sericítica, que han sufrido un proceso tectonometamórfico que condiciona el desarrollo de una incipiente textura ocelar.

Este tramo basal de la serie, de potencia desconocida, por no aflorar el muro de la misma, podría correlacionarse con las Sucesiones Montemolín y/o Tentudía de la Hoja de Monesterio (EGUILUZ et al., 1984; EGUILUZ, 1987).

— Las pizarras y grauvacas epiclásticas con intercalaciones de volcanitas ácidas y básicas, y con esporádicas intercalaciones carbonatadas, es un tramo complejo, que incluye una secuencia pizarroso-grauváquica, procedente de un sedimento lutítico-arenoso con una patente influencia volcanoclástica, que se evidencia en el carácter epiclástico de las intercalaciones grauváquicas, con abundantes clastos feldespáticos, y litoclastos volcánicos micro a criptocristalinos embalados en una matriz muy clorítica. Además, son muy frecuentes las intercalaciones de lavas y tobas ácidas (riolitas), y de tobas algo retrabajadas de carácter básico. Menos frecuen-

tes son las intercalaciones carbonatadas, de geometría lenticular, muy impuras, y que muestran laminaciones estromatolíticas.

Esta sucesión, de unos 800 a 1.000 m. de potencia probable, podría ser correlacionable con la parte más alta de la Sucesión Tentudía (EGUILUZ et al., 1984) y/o con la Formación Malcocinado de FRICKE (1941).

— Por encima de la sucesión descrita se sitúan unas calizas con intercalaciones de pizarras y rocas básicas. Las calizas son similares a las descritas en la sucesión anterior, con colores grises, y laminaciones estromatolíticas, muy impuras, con abundante cuarzo detrítico, y clorita que constituyen nivelillos discontinuos; las rocas básicas (lavas fenoandesíticas), aparecen interestratificadas y en cambio lateral de facies con las calizas, y muestran recristalización metamórfica indicativa de condiciones próximas al límite de los grados muy bajo y bajo. Las pizarras son semejantes a las de la sucesión anterior.

En la base de este tramo o sucesión carbonatada se puede reconocer un nivel característico, constituido por jaspes rojos, de 0,5 a 1 m. de potencia, que incluso aparece como clastos dentro de las calizas superiores. Se trata de un horizonte silíceo-hematítico que interpretamos como la culminación o el techo de la secuencia volcano-sedimentaria anterior, correspondiente con el episodio exhalativo de la actividad volcánica señalada, y posiblemente constituyendo el horizonte portador de las mineralizaciones asociadas.

La potencia del tramo es, como mínimo, del orden de los 250 m., pero no se conoce con exactitud, ya que no aflora el techo del mismo. Podría ser correlacionable con la Formación Loma del Aire de la Hoja de Guadalcanal (APALATEGUI et al., 1985).

— Los esquistos con pasadas de grauvacas e intercalaciones de volcanitas constituyen una sucesión que aflora al Norte de la zona de interés, y separada de la misma por la Falla del Minjandre (fig. 1), por lo que no se puede establecer de forma directa su relación con las sucesiones que acabamos de describir.

Se trata de una serie mayoritariamente detrítica,

constituida por pizarras con pasadas de grauvacas, arcosas y materiales volcanoclásticos, con un claro predominio de las pizarras.

No se ha estudiado en detalle, dado que aflora fuera de la zona de interés. Podría ser correlacionable con alguna de las formaciones volcanosedimentarias precámbricas: Sucesiones Tentudía, Montemolín o Formación Malcocinado, y por tanto, podría ser también correlacionable con alguna de las formaciones que acabamos de describir.

— Aparentemente por encima de los materiales descritos y entre éstos y la falla de La Franca, justo al Sur de la zona de interés minero, afloran unos materiales arenosos feldespáticos con pasadas pizarrosas, con coloraciones violáceas, amarillentas e incluso blancas, que recuerdan a la Formación Torreárboles definida por LIÑAN (1978). Al microscopio, las areniscas son arcosas líticas con matriz sericítica, semejantes a las de la Formación señalada.

La edad de esta formación, suponiendo su correlación con la de Torreárboles, sería la correspondiente al límite Cámbrico-Precámbrico (LIÑAN, 1978).

— Como materiales claramente postorogénicos, tenemos, en forma de isleos erosivos, calizas bioclásticas y arcillas correspondientes al Mioceno. Las arcillas corresponden al tramo basal, que puede faltar; está constituido por una potencia máxima de unos 2 a 5 m. de arcillas amarillentas. Las calizas son muy oquerosas, y contienen abundante fauna, correspondiente a ostreidos y equinodermos, que le asignan una edad Tortoniense Superior; su potencia es muy variable, y no suele superar los 25-30 m.

2.2. Petrología

Con respecto a las rocas ígneas que afloran en el área de interés, se diferencian rocas intrusivas ácidas, básicas y rocas filonianas:

* Rocas intrusivas ácidas: Granito aplítico alcalino de Algarín; granito alcalino gráfico del Ventorrillo; granito cataclástico de Peñalevanto; granito de Maja Vieja.

* Rocas intrusivas básicas: Gabros uralíticos.

* Rocas filonianas: Diques de riolitas; diques de apilitas; diques de diabasas; diques de cuarzo.

— Las rocas intrusivas ácidas corresponden a rocas plutónicas (facies gruesa del granito de Maja Vieja) o subvolcánicas (granitos aplíticos, gráficos), de composición mineralógica variable, desde granitos alcalinos, muy ricos en feldespato potásico, hasta tonalitas; el ferromagnesiano más extendido es la biotita, a la que se une ocasionalmente moscovita con carácter secundario.

Su textura es también muy variada, desde granuda de grano medio a aplítica, con desarrollo en algunos casos de texturas gráficas entre cuarzo y feldespato potásico.

Afloran constituyendo pequeños cuerpos intrusivos, que no producen metamorfismo de contacto apreciable. El mayor de ellos es el de Maja Vieja, que constituye un gran afloramiento en forma de cuña limitado por el Sur por la Falla del Minjandre, e intruyendo, por el Norte, a los esquistos con pasadas de grauvacas e intercalaciones de volcanitas antes descritos; en este último caso sí se aprecia en lámina delgada efecto de recristalización térmica.

También en relación con este cuerpo intrusivo de Maja Vieja se han reconocido materiales migmatíticos, cortados por pequeños filoncillos de diferenciados graníticos.

— Las rocas intrusivas básicas corresponden a gabros uralíticos, que intruyen siempre en el mismo horizonte estratigráfico: pizarras y grauvacas epiclásticas con intercalaciones de volcanitas ácidas y básicas y esporádicas intercalaciones carbonatadas; este dato hace sospechar que sean rocas subvolcánicas penicontemporáneas del depósito de esta sucesión.

Se trata de rocas granudas, de color verde oscuro y tamaño de grano medio, con textura dolerítica, constituida por un entramado de plagioclasa subidiomorfa con piroxeno intersticial; este piroxeno está afectado por un importante proceso de alteración uralítica, que lo transforma sucesivamente en anfíbol incoloro, anfíbol fibroso (uralita-actinolita), biotita y clorita; también la plagioclasa acusa una notable sericitización.

— Las rocas filonianas constituyen diques de

diversas naturalezas: riolitas porfídicas, con fenocristales de cuarzo y feldespato en matriz vítrea; aplitas, con feldespato potásico muy abundante, y con una alteración notable; diabasas de grano fino; y cuarzo hidrotermal de baja temperatura, con pirita frecuente y calcopirita ocasional.

2.3. Tectónica

La tectónica que afecta a los materiales que afloran en la zona investigada es la correspondiente a la Orogenia Hercínica; no existen evidencias en la zona de una actividad tectónica anterior (ver discusión sobre este tema en QUE-SADA, 1990, y APALATEQUI et al., 1990). Las estructuras o fases de deformación que se han reconocido aquí son las siguientes:

- Una primera sinmetamórfica y inesquistosa, que produce plegamiento de tendencia isoclinal con vergencia al SO, y esquistosidad de plano axial, desarrollada en los niveles metapelíticos como esquistosidad de flujo. En las rocas básicas este proceso produce recristalización metamórfica indicativa de condiciones de grado muy bajo a bajo.
- Una segunda fase se manifiesta como pliegues de geometría cilíndrica, y más suaves que los de la fase anterior.
- Por último, se reconoce una deformación frágil, en la que se han establecido las siguientes familias de fracturas:

* Fracturas E-O. A este grupo corresponden las grandes fallas del Minjandre y La Franca. Se corresponden bien con los grandes accidentes longitudinales que separan dominios en la Zona de Ossa-Morena, interpretadas tradicionalmente como desgarres sinestrosos con una cierta componente horizontal, que limitarían bandas en las que la deformación interna es la del modelo teórico de RIEDEL (1929) para cizallas (ver DRESEN, 1991). En la figura 2 se muestra este esquema, en el que estas fracturas serían las del tipo «F».

* Fracturas N20-35°E. Constituirían, de acuerdo con el referido modelo de la figura 2, el tipo «R1» (desgarres sinestrosos) de RIEDEL (op. cit.).

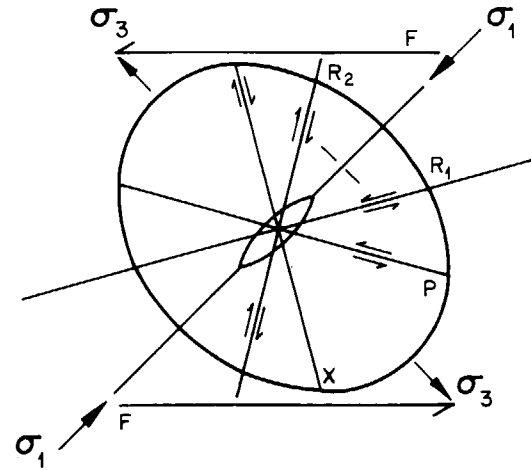


Figura 2.—Esquema del modelo teórico de RIEDEL para cizallas, para los materiales de la zona estudiada.

* Fracturas N40-45°E. Corresponden, en el esquema referido, a las fracturas tensionales, distensivas, de la cizalla. Suelen tener interés metalogénico (APALATEGUI et al., 1985; IGME, 1984).

* Fracturas N150-170°E. Asimilables al tipo «X» (desgarres dextrorsos) de RIEDEL (op. cit.). Es un grupo muy bien representado en el área.

* Fracturas N120-130°E. Poco representadas en el área. Son asimilables al tipo «P» del modelo.

3. INDICIOS MINEROS DEL AREA

Dentro del área investigada no se conoce actividad minera alguna de importancia; las labores que se han reconocido no son más que pequeños indicios, que no superan los 10 m. de profundidad. Considerando un área más extensa, desde Peñaflor hasta El Pedroso aproximadamente, los indicios mineros existentes se podrían clasificar, de acuerdo con su morfología y sustancia o sustancias explotadas, en los siguientes tipos:

1. Indicios estratiformes:

* Estratoligados de sulfuros gossanizados (principalmente de pirita), que suelen encajar en el tramo carbonatado con intercalaciones de

pizarras y rocas básicas. Para nosotros son los más interesantes, ya que pensamos que con ellos aparecen relacionadas las mineralizaciones de oro.

- * Estratiformes de Fe que encajan en carbonatos. Son especialmente frecuentes, y de mayor desarrollo minero, al Sur de El Pedroso.
- * Estratiformes de Barita-Fe, que encajan en la sucesión de pizarras con pasadas de volcánicas básicas, al Norte de la Falla del Minjandre.
- * Estratiformes de sulfuros (pirita-calcopirita) que encajan en las rocas metamórficas del núcleo de Lora del Río. El más conocido es la mina de Peñaflor.
- * Estratiformes de Fosfatos que encajan en los materiales carbonatados de techo.

2. Indicios filonianos:

- * De cuarzo con pirita y trazas de calcopirita, con algunos contenidos significativos de oro; son pequeños diques que encajan a favor de la esquistosidad, y que aparecen justo en la zona en la que se sitúan las anomalías de geoquímica en oro de mayor intensidad.
- * De Cu que encajan en materiales metamórficos del núcleo de Lora del Río, con paragénesis de calcopirita y minerales de alteración (azurita y malaquita).
- * De sulfuros complejos (Pb, Cu, Zn, Fe) que enclavan en la formación arcósica de Torreárboles.

3. Indicios masivos y/o de skarn, asociados a los materiales carbonatados descritos en el epígrafe anterior y relacionados con las rocas intrusivas ácidas y/o básicas:

En la figura 1 se muestra la situación de los indicios existentes dentro del área estudiada, de acuerdo con esta tipología.

De estos tipos, consideramos que los que presentan interés metalogénicos para Oro, de acuerdo con los datos de geoquímica de suelos que exponemos más adelante, son los estratoligados de sulfuros gossanizados, y los filones de cuarzo con sulfuros \pm Au.

Los gossans se pueden subdividir, según su morfología aparente, en gossans estratoides masivos y diseminados, y gossans en stockwork.

Los primeros (gossans estratoides masivos) son los más importantes, y su morfología sugiere un origen relacionado con mineralizaciones volcánico-sedimentarias, como es el caso de Los Recitales, donde puede observarse, en un socavón parcialmente hundido, la correspondencia del gossan con la oxidación de una mineralización sedimentaria de pirita, con muy escasas blenda, galena y calcopirita, de grano muy fino.

En los de tipo stockwork se observa una estructuración interna que sugiere que han sido afectados por deformación rotacional, de tipo cizalla, y habrían sido afectadas por procesos hidrotermales. Corresponden, evidentemente, a removilización sintectónicas.

También se pueden destacar los diques de cuarzo con pirita y calcopirita, que interpretamos como correspondientes a removilización más tardías en la etapa tectonometamórfica hercínica de las mineralizaciones anteriores, a favor de las superficies de esquistosidad.

4. PROSPECCION GEOQUIMICA REALIZADA

En la zona se han realizado dos campañas sucesivas de geoquímica de suelos: una previa, experimental, realizada por el ITGE, integrada por 150 muestras, analizadas para Au, Sb, Hg, As, Pb, Zn, Cu y Ba por Absorción Atómica; la segunda, realizada por MAYASA, está integrada por 1.268 muestras, y se analizaron para Au, Sb y Hg mediante Absorción Atómica, y para P, As, Sn, Pb, B, Zn, Cd, Cu, Ag, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Y, Be, Ba, Al, Mg y Ti, por Espectrometría de Plasma ICP. La situación de las muestras queda reflejada en el plano de la figura 3.

Los resultados analíticos se han sistematizado por métodos estadísticos mono y multivariados, incluyendo estadística básica, análisis de histogramas, y análisis factorial, como más importantes. No se han considerado los resultados para B, Cd, Ag, Mo, Sn ni W, por situarse la mayor parte de las muestras por debajo de límite de detección.

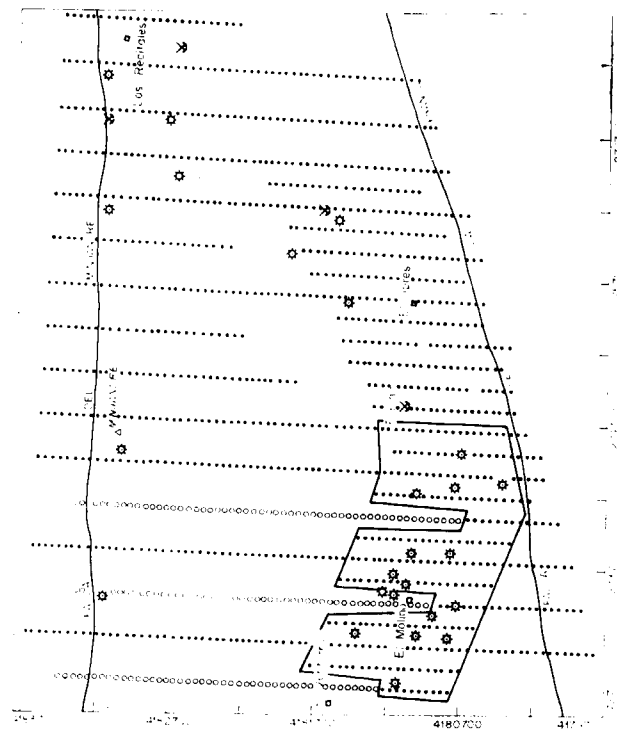


Figura 3.—Situación de muestras. (●): Muestra ITGE-MAYASA. (○): Muestra ITGE. (▲): Indicio minero. (✱): Afloramiento de gossan. Tipología: Ver figura 1. Zona recuadrada: Muestras seleccionadas para análisis multivariante.

4.1. Estadística básica

La tabla 1 muestra los parámetros estadísticos monoelementales para las diversas variables analizadas. A efectos de cálculos de estos parámetros se consideran solamente las muestras con valores por encima del límite de detección.

Estos valores muestran, en su mayor parte, un rango de variabilidad normal en este tipo de reconocimientos. En concreto, los elementos P, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Nb, Y, Be, Al, Mg y Ti están dentro de los límites de variación del fondo en las correspondientes litologías portadoras (ver LEVINSON, 1980, y ROSE et al., 1979). Sobre el resto, vamos a estudiar a continuación sus poblaciones.

4.2. Histogramas

Los elementos Au, Pb, Zn, Cu, Hg, Ba, As y Sb se han estudiado con mayor detalle, por su sig-

TABLA 1

Parámetros estadísticos para las muestras analizadas (valores en ppm, salvo Au y Hg, en ppb). Población total: 1.418 muestras (Au, Sb y Hg) y 1.268 muestras (resto de las variables)

Elemento	N. muestras	Media	Mediana	D. Estand.	Mínimo	Máximo
Au (ppb)	151	32.6	15	63.9	5	495
Hg (ppb)	1401	1604.2	600	7241.1	150	196000
Sb	794	1.8	1	1.35	2	9
P	1255	508.7	449	369.9	17	5856
As	594	51.6	31	74.5	9	1132
Pb	567	54.0	18	110.9	3	1542
Zn	1268	171.7	71	308.4	3	4485
Cu	1268	69.8	56	57.9	6	904
Ni	1263	30.6	29	17.3	1	272
Co	1268	23.3	22	12.2	1	77
Fe	1268	51742.5	51450	21082.5	5507	200872
Mn	1264	1032.2	728	1206.7	12	20055
Cr	1258	88.0	77	48.0	8	605
V	1268	132.6	122	66.5	12	566
Nb	1268	21.7	21	7.4	7	184
Y	1268	17.7	17	12.8	0	158
Be	1268	1.3	1	1.3	0	12
Ba	1267	382.9	299	382.2	33	5704
Al	1268	77143.7	77145	8014.1	40158	113310
Mg	1268	16639.2	15481	8223.0	1910	59002
Ti	1268	2875.7	2163	2316.3	200	17425

nificado metalogenético. Para ello se ha realizado un estudio del histograma, intentando su ajuste a una distribución log-normal, característica de poblaciones de tipo fondo regional (LEVINSON, 1980; OYARZUM, 1991). Las figuras 4, 5, 6 y 7 muestran los histogramas obtenidos, y de su estudio se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- * El Oro muestra una distribución claramente condicionada por el límite de detección, ya que solamente un 10 por 100 de las muestras analizadas se sitúan por encima de este valor (5 ppb). Así, en el histograma de la figura 4 observamos la cola de la distribución real de valores, en la que se aprecian inflexiones en 12 y 32 ppb, que pueden separar poblaciones diferenciadas.
- * El Plomo (fig. 5 A) muestra un histograma unimodal, asimilable a una población log-normal con exceso de valores altos. Realizan-

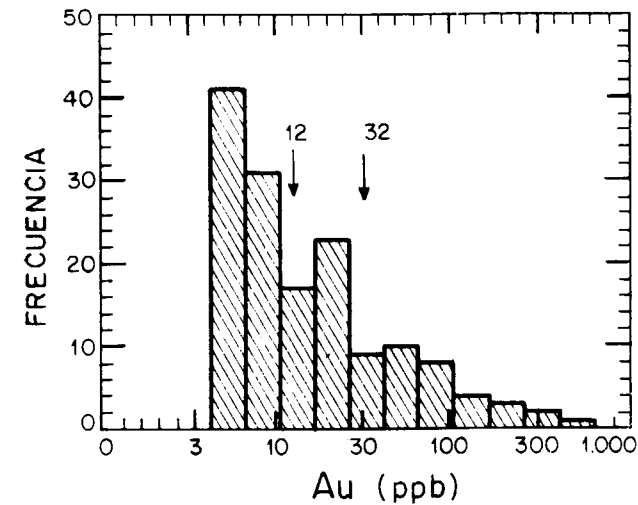


Figura 4.—Histograma para Au. Límite de detección: 5 ppb.

do un zoom de esta zona alta (fig. 5 B), se aprecian inflexiones a 125 y 225 ppm, que podrían diferenciar poblaciones distintas.

- * El Zinc presenta un histograma claramente unimodal, con exceso de valores altos (figura 5 C), sin que se aprecien inflexiones claras. En el zoom de la zona de valores altos (fig. 5 D) se aprecian inflexiones en 280, 550 y 900 ppm.
- * El Cobre también aparece como población unimodal, en este caso bastante bien ajustada a una distribución log-normal, como se aprecia en la figura 5 E. En el zoom que se muestra en la figura 5 F, que comprende los valores situados por encima de 60 ppm, se aprecian inflexiones que corresponden a 90 y 200 ppm.
- * El Mercurio muestra una distribución bimodal, con máximos correspondientes a 250 y 800 ppb (fig. 6 A). En la zona de valores altos (fig. 6 B) se aprecian inflexiones en 4.000 y 9.325 ppb, que probablemente diferencian poblaciones distintas de escasa entidad.
- * El Bario presenta la distribución que se muestra en el histograma de la figura 6 C. Es una población unimodal, con una inflexión en 400 ppm, y exceso relativo de valores altos, que se aprecia en el zoom realizado para valores por encima de 315 ppm (fig. 6 D), en el que

podemos reconocer sendas inflexiones, correspondientes a 450 y 1.350 ppm.

- * El Arsénico muestra una distribución groseramente bimodal, con modas correspondientes a 20 y 40 ppm (fig. 6 E). En la zona de valores altos, que se muestra en la figura 6 F, se reconocen inflexiones en la cola de la distribución que corresponden a 65, 115 y 225 ppm.
- * El Antimonio muestra una distribución condicionada por lo bajo de los valores determinados. Tomando únicamente los valores por encima de 2 ppm, y agrupándolos en 6 clases, se aprecia un pequeño umbral a partir de 5 ppm (fig. 7).

Con los umbrales establecidos a partir del estudio de los histogramas, retocados en algún caso para obtener una mejor definición de las bandas anómalas, se han realizado mapas de contorno de isovalores, realizando una interpolación, mediante kriging, de la malla de reconocimiento a una malla regular de 100×100 m. Los planos obtenidos se muestran en las figuras 8 y 9. Comparando con el mapa geológico se pueden extraer las siguientes conclusiones:

El oro aparece según máximos que se alinean claramente sobre las calizas y rocas básicas de la zona de El Ciprés y su prolongación hacia el oeste (El Molino), en la zona en que aparecen numerosos indicios de gossan estratoligados. Son las anomalías mejor caracterizadas y continuas. Otros valores anómalos puntuales aparecen al sur, en relación con venas de cuarzo con sulfuros, y al norte, en probable relación con removilización ligadas a las fallas que afectan a la zona en que aparecen.

El plomo constituye anomalías aparentemente aisladas de distribución un tanto irregular: destacan una al este de El Molino, coincidiendo en parte con anomalía de oro; otra importante aparece al NE de ésta, sobre pizarras y grauvacas; también se observa otra al NE de El Ciprés, en una zona con calizas y riolitas. Se aprecia una cierta relación de este elemento con calizas.

El zinc muestra una distribución de anomalías muy similar a la del plomo, pero con una mayor continuidad, sobre todo en las zonas S y SE, en que las anomalías se extienden a lo largo de alineaciones carbonatadas. Además se observan en

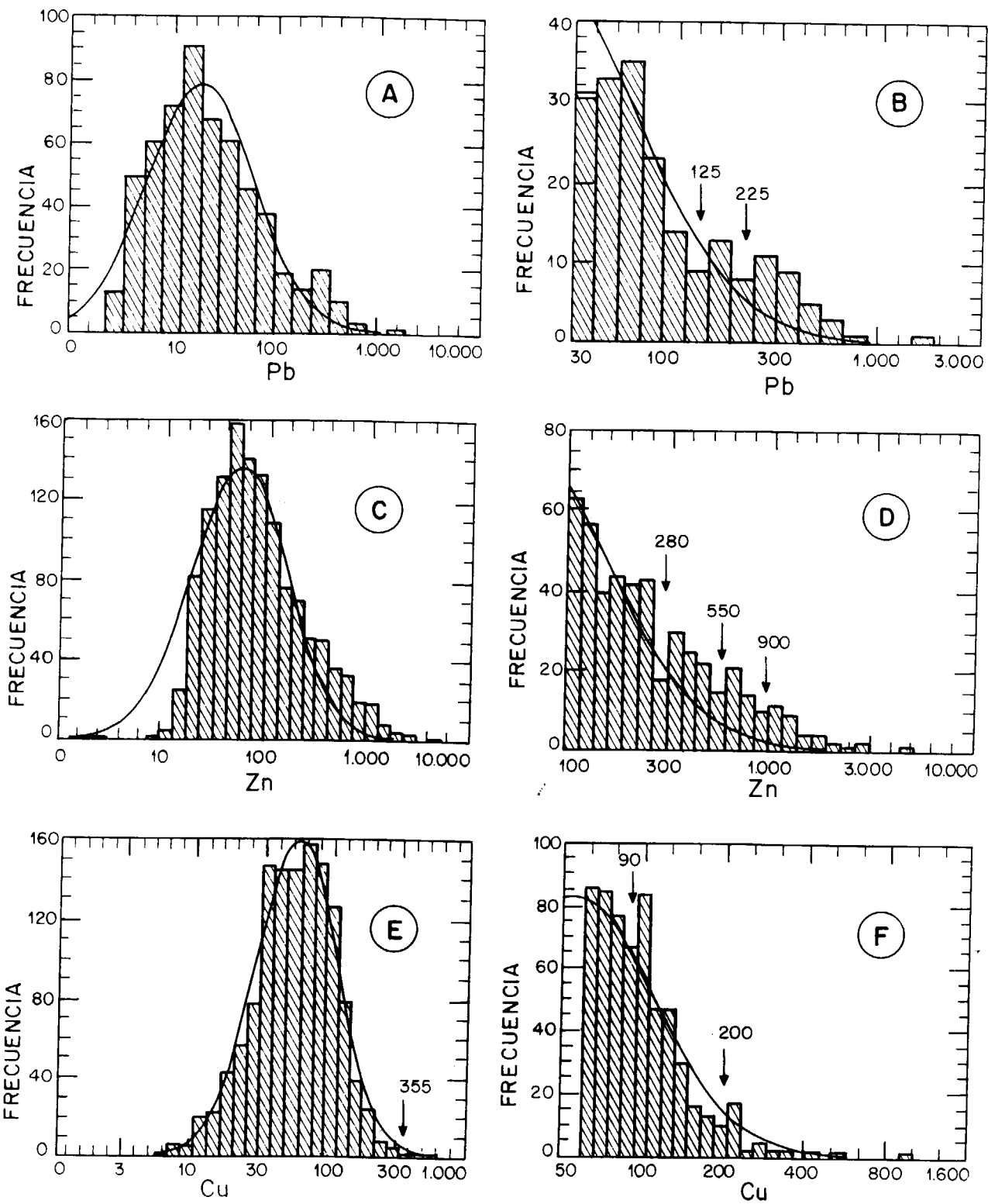


Figura 5.—Histogramas. A y B: Para Pb. A: General; B: Zoom (>30 ppm). C y D: Para Zn. C: General; D: Zoom (>100 ppm); E y F: Para Cu. E: General; F: Zoom (>60 ppm).

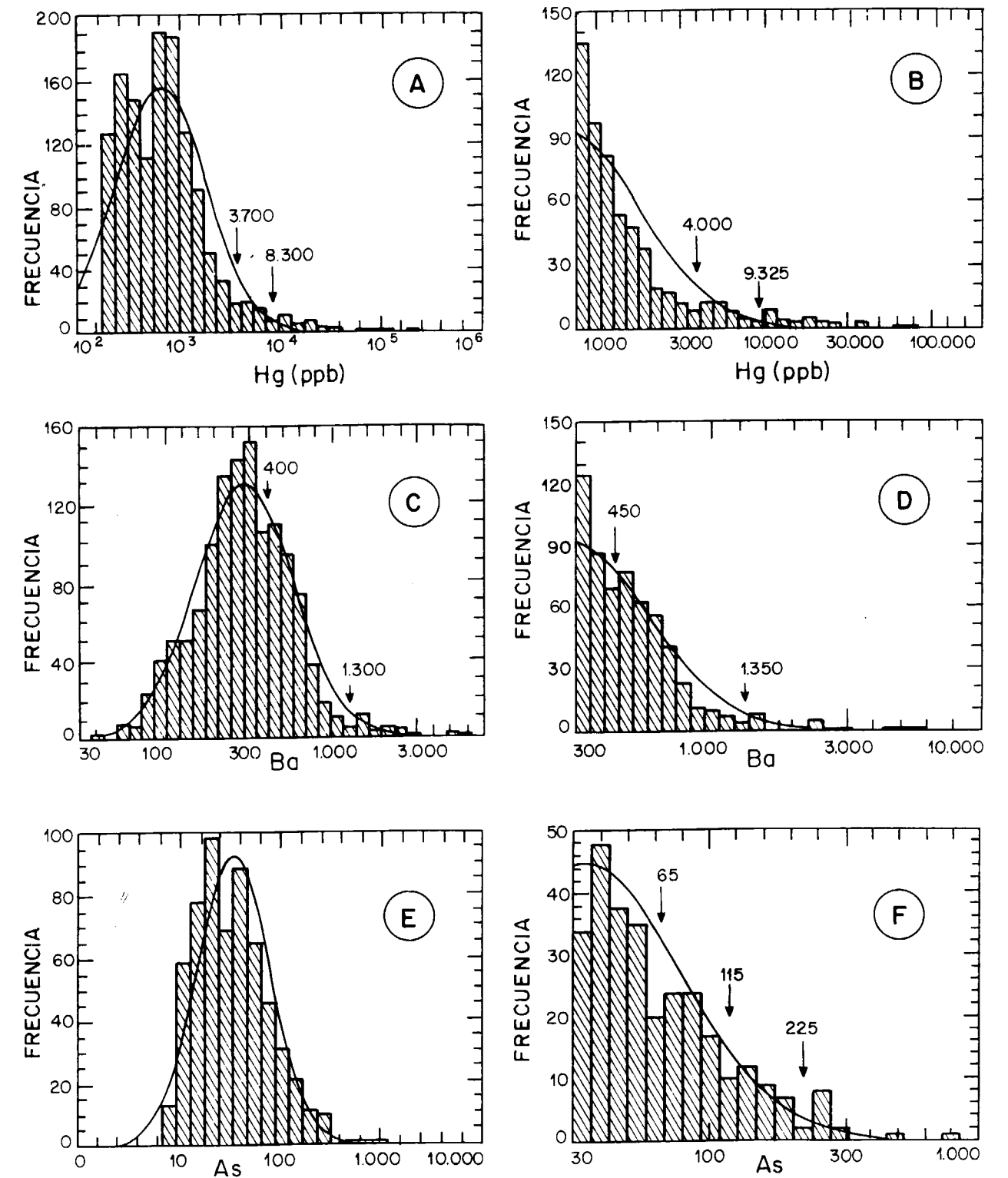


Figura 6.—Histogramas A y B: Para Hg (ppb); A: General; B: Zoom (>800 ppb). C y D: Para Ba; C: General; D: Zoom (>300 ppm). E y F: Para As; E: General; F: Zoom (>30 ppm).

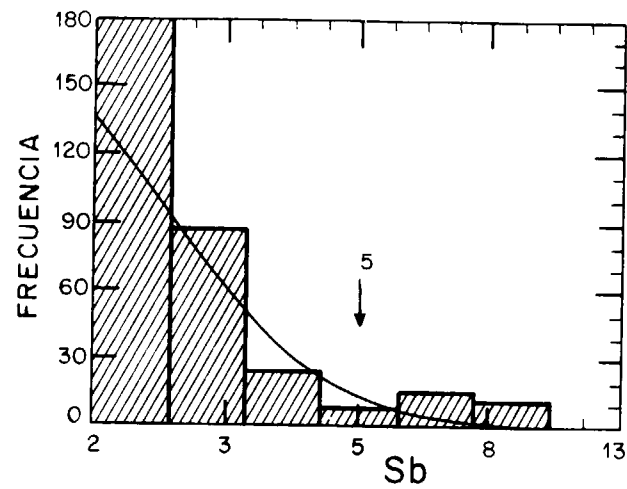


Figura 7.—Histograma para Sb.

la zona NE anomalías también relacionadas con tramos carbonatados. Comparando con el plano para oro, se producen coincidencias de anomalías al este de El Molino y NO de El Ciprés.

El *cobre* muestra una amplia banda anómala en la zona sur, coincidente en buena parte con la de zinc, aunque con algo más de extensión areal hacia el sur, en especial en el sector de El Molino. Al N y NE de la zona aparecen anomalías aisladas relacionadas a grosso modo con la presencia de rocas carbonatadas. No se aprecian coincidencias con anomalías de oro, salvo al norte de El Ciprés.

El *mercurio* muestra anomalías aisladas de distribución muy irregular; sólo se aprecia una cierta relación con la existencia de rocas volcánicas o subvolcánicas básicas. No hay coincidencias que reseñar con las anomalías de oro.

El *bario* aparece con contenidos anómalos al N y NE de El Ciprés, en relación con rocas carbonatadas, al oeste de El Minjandre, en relación con rocas carbonatadas y volcanitas básicas, y en la esquina NE de la zona, en que aparecen diversos materiales, entre ellos rocas carbonatadas y volcánicas básicas. Con respecto al oro, hay coincidencia parcial al N-NO de El Ciprés.

El *arsénico* presenta una banda anómala principal que se extiende al sur de El Molino, en pizarras con indicios tipo stockwork de gossan, flanqueando por el sur la anomalía principal de oro.

Anomalías menores aparecen al N de ésta (coincidente con una anomalía de Ba), y al NE de El Ciprés, coincidiendo con varios elementos, incluido el oro.

El *antimonio* muestra una anomalía principal al NE de la zona investigada, coincidente con una anomalía en Zn sobre rocas carbonatadas, y anomalías menores en las zonas de El Molino y El Ciprés.

Estos datos permiten establecer tres conclusiones de carácter general:

- Las anomalías geoquímicas estudiadas muestran una relación preferencial con la presencia de rocas carbonatadas, en especial los elementos Zn, Ba, Cu y, en menor medida, el Pb, lo que podría indicar una influencia de tipo formacional con posible enriquecimiento supergénico.
- El oro constituye zonas anómalas puntuales, dentro de las bandas marcadas por los elementos anteriores, y, por tanto, también por las calizas y rocas básicas. Las dos zonas anómalas más importantes son: la situada al este de El Molino, y la situada al oeste de El Ciprés.
- En las zonas anómalas principales para oro se dan combinaciones multielementales distintas e interesantes: Au-Zn-Pb-Sb-Ba al este de El Molino, y Au-As-Sb-Zn-Ba al oeste de El Ciprés.

4.3. Análisis multivariable

En la realización del estudio multivariable de los datos se han seguido los siguientes pasos: 1) Selección de datos de máximo interés. 2) Transformación logarítmica de los datos. 3) Normalización de los mismos. 4) Análisis factorial. 5) Cálculo y representación en planos de los valores correspondientes a cada uno de los factores obtenidos.

Se han seleccionado 236 muestras correspondientes a la zona de máximo interés, en la que el porcentaje de muestras con valores en Au por encima del límite de detección es del 17,37 por 100, frente al 10,65 por 100 de la población total. La situación de estas muestras se puede observar en la figura 3.

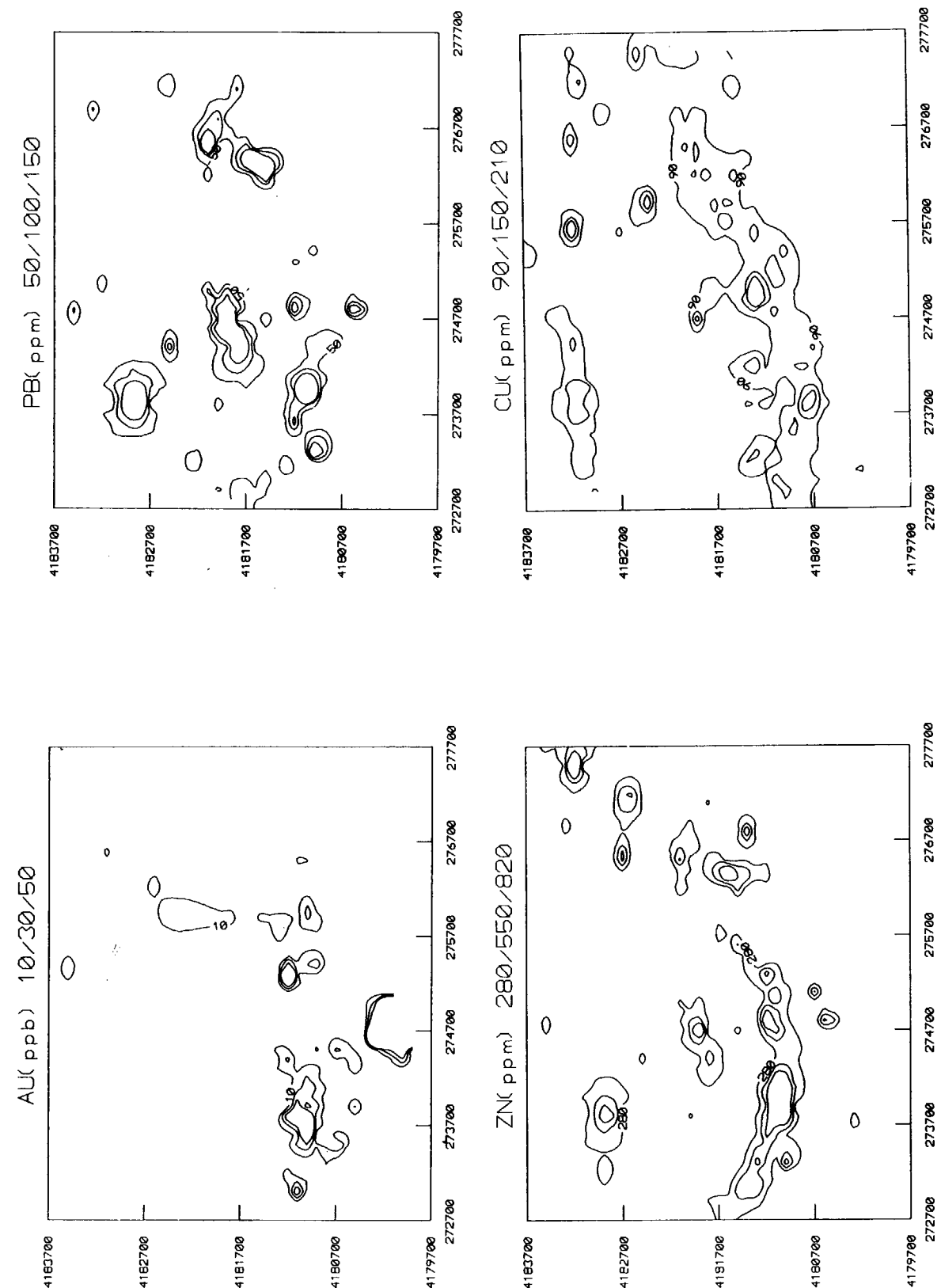


Figura 8.—Representación de curvas de isocentros de los elementos Au, Pb, Zn y Cu.

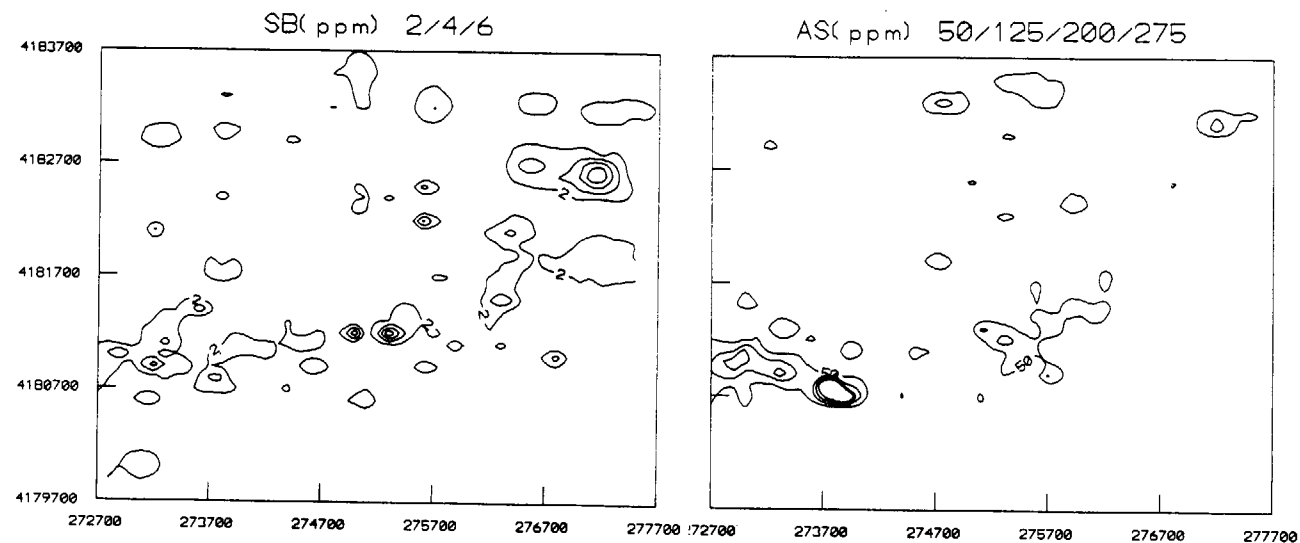


Figura 9.—Representación de curvas de isocontenidos de los elementos As y Sb.

Los cálculos se hicieron sobre valores logarítmicos normalizados, transformaciones muy usuales en este tipo de estudios (CATALAN y MURILLO, 1989).

El análisis factorial ha tenido por objeto intentar agrupar las variables más afines en un menor número de variables no interrelacionadas; se ha llevado a cabo mediante el método del factor principal, por diagonalización de la matriz de correlación, igualando las comunalidades a 1, para conseguir el máximo solapamiento entre las variables y los factores. Además, se ha realizado rotación Varimax de los factores obtenidos, para maximalizar la varianza.

El estudio ha puesto de manifiesto 6 factores con «eigenvalue» superior a 1, que en conjunto explican un 73,7 por 100 de la varianza. La tabla 2 muestra los pesos de las diversas variables en cada uno de los factores obtenidos, tras la rotación Varimax.

En las figuras 10 A y B se representan en diagramas binarios los pesos de las distintas variables respecto a los factores 1 y 2, antes y después de la rotación Varimax, respectivamente. Se aprecian varios agrupamientos de variables: A) Ni-Mg-Al-Cr, muy claro antes de la rotación, después se separa apreciablemente el Mg. B) Fe-V-Co. C) Cu-Ti-Y-Mn-Zn, con separación del Cu tras la rotación. D) As-Ba-Au-Sb-Hg (son dos subgrupos antes de la rotación: Hg-Au y As-Sb-

TABLA 2
Resultados del análisis factorial: Matriz de factores rotados

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5	FACTOR 6
AU	-.00609	-.00744	-.05297	.08835	-.01659	.93237
HG	-.04480	-.03069	.01640	-.03090	.81606	-.02830
SB	-.00566	-.01731	.72376	.15037	.02284	.03049
P	-.10644	.75783	.08041	.16650	-.19980	.08407
AS	-.00322	.11944	.78779	.08780	.10890	-.22974
PB	.03327	.45871	.17944	.57947	.02212	.08452
ZN	.43461	.56830	.15643	.41323	.11864	.18886
CU	.38213	.07044	.70246	.07363	-.06166	.14536
NI	.78989	-.33096	-.02071	.34891	-.00791	-.08603
CO	.86426	.33846	.15793	.07851	.14493	-.00640
FE	.77897	.30703	.32055	.04400	.04204	.15926
MN	.56297	.40662	.39660	.21084	.26383	.19304
CR	.61149	-.25218	-.02525	.51260	.25024	-.01739
V	.82245	.35932	.08496	.22561	.03542	.06057
NB	-.15545	.00905	-.16230	-.52923	-.48585	-.02836
Y	.52949	.53398	.13800	-.13166	.31613	.18372
BE	.18319	.82218	.00222	-.03227	.05582	-.14672
BA	.11680	.10400	.27844	.67665	-.19191	.05425
AL	.60840	-.07581	.17693	-.47677	-.17513	-.02240
MG	.88887	.03584	-.04955	-.04836	-.12123	-.06809
TI	.63290	.64801	-.04292	.07224	-.04647	-.11292
%Var	34.9	11.7	9.7	7.5	5.6	5.0
Eigv	7.33	2.45	2.03	1.47	1.17	1.04

Ba). E) P-Be-Pb, que se separan bastante tras la rotación. El Nb no se agrupa de forma apreciable. Serían agrupaciones de elementos con comportamiento general semejante.

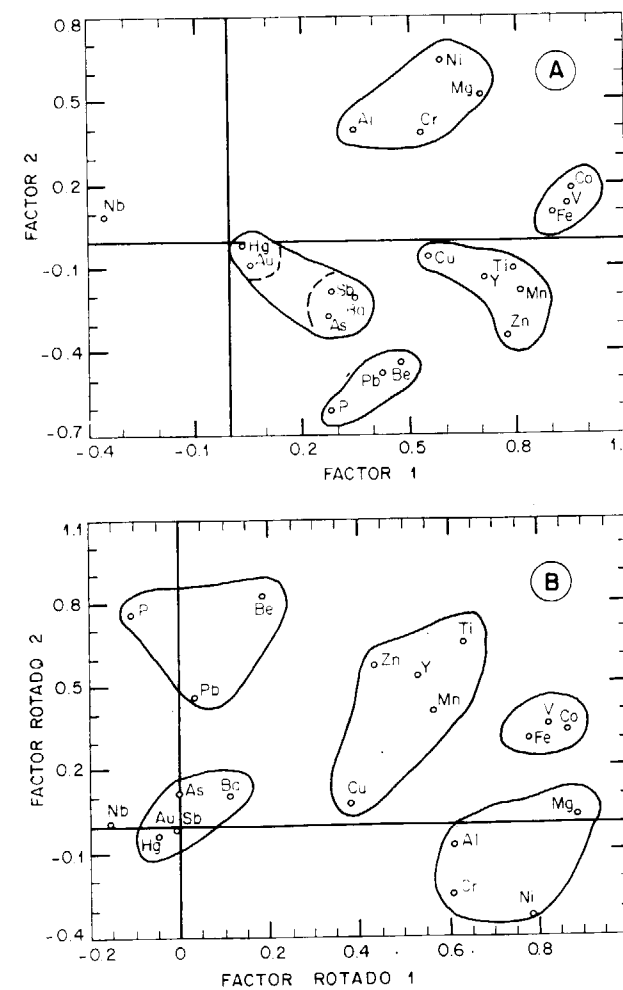


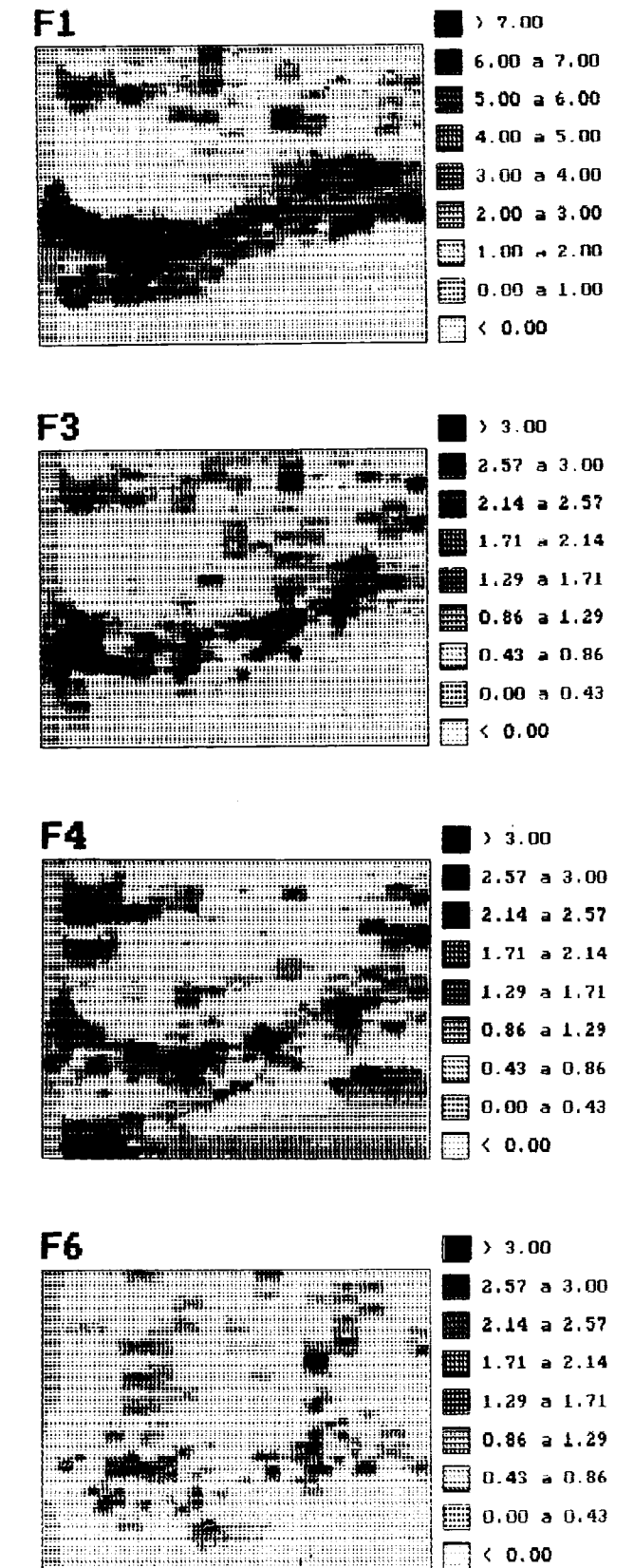
Figura 10.—Representación de las variables sobre el primer plano factorial. A: Factores originales. B: Factores rotados.

Hay que resaltar que la asociación D) agrupa al oro con sus pathfinders o trazadores más usuales: As, Sb y Hg.

En base a los resultados obtenidos en el análisis factorial, se han calculado 6 variables nuevas, F1 a F6, que corresponden a la integración de los pesos de las distintas variables involucradas en cada uno de los factores obtenidos.

Con los resultados de estos círculos para cada muestra, se ha realizado la representación de los factores mediante interpolación por medias móviles, como se muestra en la figura 11.

Figura 11.—Representación de factores mediante medias móviles.



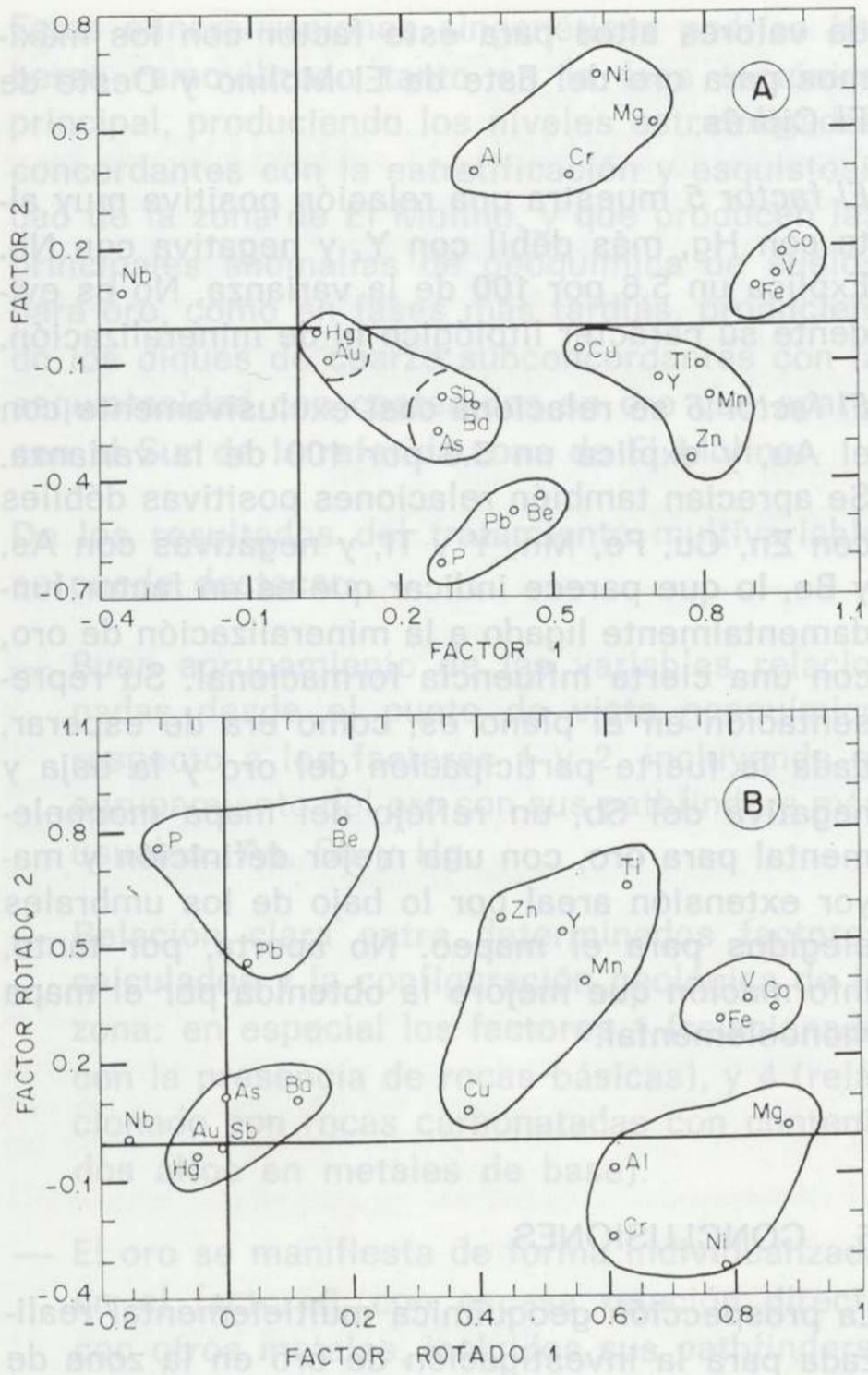


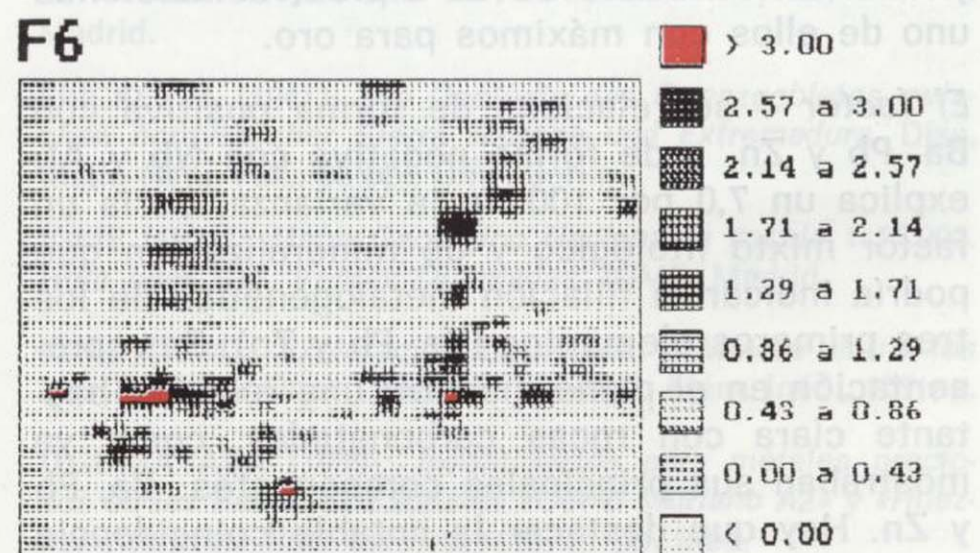
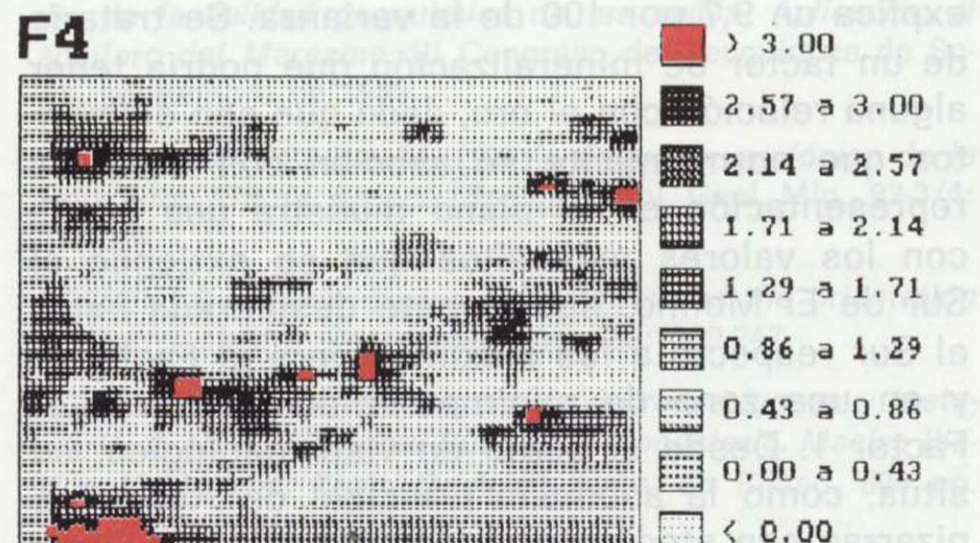
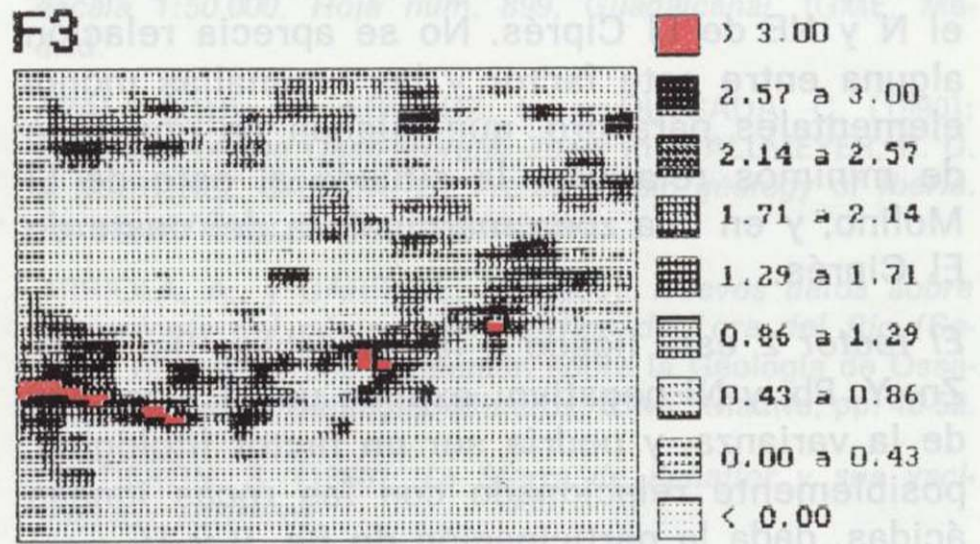
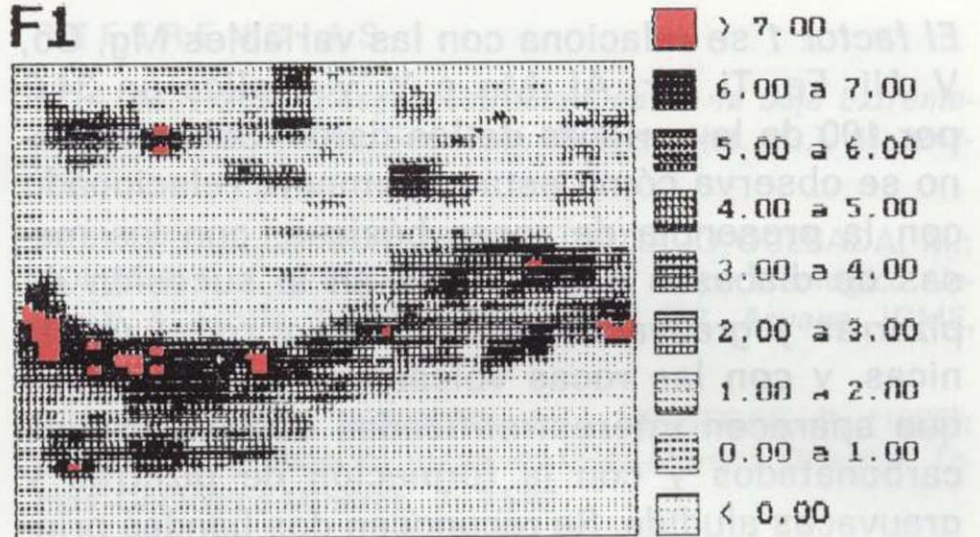
Figura 10.—Representación de las variables sobre el primer plano factorial. A: Factores originales. B: Factores rotados.

Hay que resaltar que la asociación D) agrupa al oro con sus pathfinders o trazadores más usuales: As, Sb y Hg.

En base a los resultados obtenidos en el análisis factorial, se han calculado 6 variables nuevas, F1 a F6, que corresponden a la integración de los pesos de las distintas variables involucradas en cada uno de los factores obtenidos.

Con los resultados de estos círculos para cada muestra, se ha realizado la representación de los factores mediante interpolación por medias móviles, como se muestra en la figura 11.

Figura 11.—Representación de factores mediante medias móviles.



El factor 1 se relaciona con las variables Mg, Co, V, Ni, Fe, Ti, Cr, Al, Mn e Y, y explica un 34,9 por 100 de la varianza de los datos. Sobre el plano se observa cómo está claramente relacionado con la presencia de rocas básicas: con las masas de diabasas que encajan en la sucesión de pizarras y grauvacas, con calizas y rocas volcánicas, y con las rocas volcánicas y epiclásticas que aparecen interestratificadas con los tramos carbonatados y con la formación de pizarras y grauvacas aludida. Se reconocen dos bandas principales de máximos, una al sur de El Molino, y otra que se extiende desde El Ventorrillo hasta el N y NE de El Ciprés. No se aprecia relación alguna entre este factor y las anomalías mono-elementales para oro, que quedan en una zona de mínimos relativos, la situada al este de El Molino, y en una zona marginal, la del oeste de El Ciprés.

El factor 2 está ligado a las variables Be, P, Ti, Zn, Y, Pb, y Ni negativo; explica un 11,7 por 100 de la varianza, y podría ser un factor litológico, posiblemente relacionado con las rocas ígneas ácidas, dada la participación de Be, P y Ti.

El factor 3 está relacionado con As, Sb y Cu, y explica un 9,7 por 100 de la varianza. Se trataría de un factor de mineralización que podría tener alguna relación con el oro, dado que son elementos que normalmente se asocian con éste. Su representación en el plano muestra una banda con los valores más altos que se extiende al Sur de El Molino, ligeramente desplazada hacia el Sur respecto a los máximos para el Factor 2, y en una zona de mínimos relativos frente al Factor 1. Desde el punto de vista geológico, se sitúa, como la anomalía principal de As, sobre pizarras con stockworks de óxidos de Fe. Otros máximos relativos aparecen al Oeste de El Pino, y también al Oeste de El Ciprés, coincidiendo uno de ellos con máximos para oro.

El factor 4 se relaciona de forma positiva con Ba, Pb y Zn, y de forma negativa con Nb y Al; explica un 7,0 por 100 de la varianza. Sería un factor mixto litológico y de mineralización que podría indicar la filiación metalogenética de los tres primeros elementos (Ba, Pb y Zn). Su representación en el plano muestra una relación bastante clara con rocas carbonatadas, como ya mostraban sus principales componentes: Ba, Pb y Zn. Hay que destacar la notable coincidencia

de valores altos para este factor con los máximos para oro del Este de El Molino y Oeste de El Ciprés.

El factor 5 muestra una relación positiva muy alta con Hg, más débil con Y, y negativa con Nb. Explica un 5,6 por 100 de la varianza. No es evidente su carácter litológico ni de mineralización.

El factor 6 se relaciona casi exclusivamente con el Au, y explica un 5,0 por 100 de la varianza. Se aprecian también relaciones positivas débiles con Zn, Cu, Fe, Mn, Y y Ti, y negativas con As, y Be, lo que parece indicar que es un factor fundamentalmente ligado a la mineralización de oro, con una cierta influencia formacional. Su representación en el plano es, como era de esperar, dada la fuerte participación del oro y la baja y negativa del Sb, un reflejo del mapa mono-elemental para oro, con una mejor definición y mayor extensión areal por lo bajo de los umbrales elegidos para el mapeo. No aporta, por tanto, información que mejore la obtenida por el mapa mono-elemental.

5. CONCLUSIONES

La prospección geoquímica multielemental realizada para la investigación de oro en la zona de estudio, conjuntamente con el estudio geológico y metalogénico, han permitido poner de manifiesto los siguientes datos de interés:

Las anomalías para oro se disponen en una banda principal que se extiende, de forma discontinua, desde El Molino hasta El Ciprés, sobre materiales de la sucesión de pizarras y grauvacas epiclásticas con intercalaciones de volcanitas ácidas y básicas, y del tramo de calizas con intercalaciones de pizarras y rocas básicas.

Suponiendo para las mineralizaciones de oro prospectadas un origen derivado de mineralizaciones singenéticas, el horizonte portador podría ser la zona de contacto entre las dos sucesiones referidas, en la que se han observado, en zonas como la de Los Recitales, niveles de jaspes rojos, y mineralizaciones de pirita sedimentaria, que pueden ser equivalentes a los horizontes portadores de este metal.

Estas mineralizaciones singenéticas podrían haberse removilizado tanto en la fase tectónica principal, produciendo los niveles estratoligados concordantes con la estratificación y esquistosidad de la zona de El Molino, y que producen las principales anomalías de geoquímica de suelos para oro, como en fases más tardías, produciendo los diques de cuarzo subconcordantes con la esquistosidad con contenidos en oro que aparecen al Sur de la referida zona de El Molino.

De los resultados del tratamiento multivariable se puede destacar:

- Buen agrupamiento de las variables relacionadas desde el punto de vista geoquímico respecto a los factores 1 y 2, incluyendo el agrupamiento del oro con sus pathfinders más usuales: As, Sb y Hg.
- Relación clara entre determinados factores calculados y la configuración geológica de la zona: en especial los factores 1 (relacionado con la presencia de rocas básicas), y 4 (relacionado con rocas carbonatadas con contenidos altos en metales de base).
- El oro se manifiesta de forma individualizada en el factor 6, con escasa relación directa con otros metales, incluidos sus pathfinders.
- El factor 3, que agrupa elementos relacionados con el oro: As, Sb y Cu, muestra una alineación principal de máximos situada justo al Sur de la banda anómala para oro de El Molino-El Ciprés. Podría estar en relación con las removilizaciones a diques de cuarzo subconcordantes con la esquistosidad a que antes hacíamos referencia.

6. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Geominero de España, por la autorización para publicar estos datos. A Guillermo Ortiz, del Departamento de Infraestructura Minera del ITGE, por su colaboración en la obtención de las salidas gráficas por ordenador.

REFERENCIAS

- ALIA, M. (1963): *Rasgos estructurales de la baja Extremadura*. Bol. de la Real Soc. Esp. de Hist. Nat. (G.), 61: 247-262.
- APALATEGUI, O.; BORRERO, J.; DELGADO QUESADA, M.; ROLDAN, F. J., y EGUILUZ, L. (1985): *Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja núm. 878, Azuaga*. IGME, Madrid.
- APALATEGUI, O.; BORRERO, J., y HIGUERAS, P. (1985): *División en grupos de rocas en Ossa-Morena Oriental*. Temas Geológico-Mineros, 7: 73-80.
- APALATEGUI, O.; BORRERO, J.; ROLDAN, F. J.; GARROTE, A., y EGUILUZ, L. (1985): *Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja núm. 899, Guadalcanal*. IGME, Madrid.
- APALATEGUI, O.; EGUILUZ, L., y QUESADA, C. (1990): *Structure of the Ossa-Morena Zone*. In: DALLMEYER, R. D. & MARTINEZ GARCIA, E.: *Pre-Mesozoic geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlín, pp. 280-291.
- ARRIOLA, A., y GARROTE, A. (1980): *Nuevos datos sobre la geología del núcleo metamórfico de Lora del Río (Sevilla)*. Sierra Morena. I Reunión sobre la Geología de Ossa-Morena. Temas Geológico-Mineros. IGME, Madrid, pp. 45-52.
- CALDERON, S. (1980): *La Sierra de Peñaflores y sus yacimientos auríferos*.
- CATALAN, J. M., y ALONSO, J. M. (1989): *Análisis de la necesidad de transformar y depurar los datos en el estudio de la calidad geoquímica de las aguas. Aplicación al acuífero del Maresme*. III Congreso de Geoquímica de Soria, septiembre de 1989.
- DELGADO QUESADA, M. (1971): *Esquema geológico de la Hoja núm. 878 de Azuaga (Badajoz)*. Bol. Geol. Min., 82-3/4: 277-286.
- DRESEN, G. (1991): *Stress distribution and the orientation of Riedel shears*. Tectonophysics, 188: 239-247.
- EGUILUZ, L. (1987): *Petrogénesis de rocas ígneas y metamórficas en el antiforme Burguillos-Monesterio. Macizo Ibérico Meridional*. Tesis Doctoral. Univ. de Bilbao, 694 pp.
- EGUILUZ, L.; FERNANDEZ-CARRASCO, J.; GARROTE, A., y COULLAUT, J. L. (1984): *Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja núm. 897, Monesterio*. IGME, 2.ª ed., Madrid.
- FRICKE, W. (1941): *Die Geologie des Guenzgebietes zwischen nordystlicher Sierra Morena und Extremadura*. Diss. Math. Natu. Fak., 88 pp., Univ. Berlín.
- IGME (1973): *Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja núm. 941, Ventas Quemadas*. IGME, Madrid.
- IGME (1984): *Exploración Geológica y Minera entre los ríos Sotillo y Onza (Badajoz - Sevilla)*. Mém. Inéd., 155 pp.
- ITGE-MAYASA (1989): *Investigación para metales preciosos en las Reservas Estatales «Cerro Muriano A2» y «Hueznar»*. Informe final del Proyecto, 91 pp. Inéd.

LIÑAN, E. (1979): *Bioestratigrafía de la Sierra de Córdoba*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, 212 pp.

LEVINSON, A. A. (1980): *Introduction to Exploration Geochemistry*. Applied Publ. Ltd., Calgary, 924 pp.

ROSE, A. W.; HAWKES, H. E., y WEBB, J. S. (1979): *Geochemistry in Mineral Exploration*. 2nd Ed. Academic Press, Londres, 657 pp.

OYARZUN, R. (1991): *Prospección geoquímica. Conceptos básicos*. En: LUNAR, R. & OYARZUN, R.: *Yacimientos mine-*

rales. Técnicas de estudio - Tipos - Evolución metalogénica - Exploración. Ed. Centro de Estudios «Ramón Areces, S. A.». Madrid, 938 pp.

QUESADA, C.; LARREA, F. J., y FLORIDO, P. (1987): *Mapa Geológico Minero de Extremadura*. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Junta de Extremadura.

QUESADA, C. (1990): *The Ossa-Morena Zone: Introduction*. In: DALLMEYER, R. D. & MARTINEZ GARCIA, E.: *Pre-Mesozoic geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlín, pp. 249-251.

Original recibido: Diciembre de 1991.

Original aceptado: Enero de 1992.

Las aguas subterráneas en el Parque Natural del Cañón del río Lobos (Soria-Burgos).

Por E. SANZ PEREZ (*)

RESUMEN

En el presente trabajo se describen las características generales del modelado kárstico del Parque Natural del Cañón del río Lobos, así como el funcionamiento hidrogeológico del acuífero de Utero. Seguidamente se hace un detallado análisis del modelo matemático de precipitación-escorrentía CREC, el cual se aplica al manantial de La Galiana, principal drenaje de aquel acuífero.

Palabras clave: Hidrogeología, Modelo matemático, Karst, Soria.

ABSTRACT

In the present study we describe the general characteristics of the Karstic geomorphology of the Parque Natural del Cañón del río Lobos, and the hydrogeologic functioning of the Aquifer of Utero. We analyse next in detail the mathematical model of precipitation - run - off CREC, which we apply to the spring of La Galiana, main drainage of this aquifer.

Key words: Hydrogeology, Mathematical model, Karst, Soria.

1. EL KARST DEL RIO LOBOS

El cañón del río Lobos

El cañón del río Lobos es el elemento morfológico más importante del Parque Natural. El río Lobos ha excavado un valle profundo y estrecho con paredes verticales, constituidas por rocas duras y coherentes, dispuestas en capas subhorizontales, capaces de formar vertientes abruptas. La erosión del lecho es más viva que el desgaste de las paredes. También se ha formado la hoz por hundimiento de las bóvedas de las grutas recorridas por un río subterráneo. Su trazado sinuoso y meandriforme nos hace pensar que estamos ante un claro ejemplo de sobreimposición, donde el antiguo Lobos divagaba sobre un Terciario blando que cubría el Cretácico calizo hasta que llegó a disecarlo, labrando luego un profundo valle en las calizas.

(*) Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.

El cañón del río Lobos tiene más de diez kilómetros de longitud. Por su fondo, de más de 100 metros de profundidad, fluye el río que da nombre a la hoz. El río ha tallado la garganta; la erosión trabajó las calizas nodulosas y micríticas del Cretácico Superior que forman las paredes y fondos del valle. La eficacia del tajado y la verticalidad de los escarpes ha sido posible gracias a la resistencia de la roca, la permeabilidad y acaso el clima. Los flancos son verticales, con zonas cóncavas redondeadas como anchas y voluptuosas bermas sujetadas por tabiques naturales. Estas se suelen asociar a tramos calcáreos concretos (generalmente hay dos niveles importantes), dando lugar a una vistosa morfología en las paredes, que unido al teñido superficial rojo provocado por los óxidos de hierro, y al morado de las aguas de escurridura, constituyen una de las principales atracciones del Parque.

En Hontoria del Pinar los escarpes tienen forma aborregada, como lóbulos convexos limitados por

diacelas. A sus pies se desarrollan unos depósitos importantes de grezées litéas y/o derrubios de gravedad.

El Karst superficial

Aparte del cañón, el Karst superficial del Parque Natural del río Lobos no cuenta con una morfología externa importante, escaseando las dolinas u otras formas de absorción significativas. Quizá destaque la torca de Casarejos, con más de 70 m. de profundidad.

El lapiaz desarrollado está a veces cubierto o semicubierto, relleno de terra-rossa; otras veces se encuentra desnudo, formando un mal país: Es predominante el lapiaz estructural (kluftkarren) y el oqueroso o tubular (hohkarren). La terra-rossa se concentra en la base de vertientes, dolinas, valles secos y rellenando fisuras.

La meseta que corona el cañón está aplanada según la superficie de erosión fundamental de la Ibérica. Se prolonga hacia el oeste y este, tan sólo interrumpida por las suaves cuestas de los bordes de la Sierra de Cabrejas y por las hoces de los ríos y arroyos de la comarca. Salta luego al macizo de Villaciervos y sigue hasta llegar a Carbonera y Fuentetoba.

El Endokarst

La comarca de Utero es, sin duda, la zona más interesante de Soria con respecto a cuevas y simas. Su desarrollo es modesto; sin embargo, aquí está la segunda cueva más larga de Soria (Cueva Baja de La Galiana), después de la del Asno (municipio de Los Rábanos) (HERNANZ y NAVARRO, 1973). Aparte se han topografiado y descrito otras muchas cavidades, algunas de las cuales fueron habitadas en el Paleolítico o sirvieron de refugio a los guerrilleros carlistas del cura Merino.

El manantial de La Galiana brota de una cueva sumergida que ha sido explorada en un corto tramo por espeleo-buceadores, sin que se haya podido continuar. Antiguamente, este manantial brotaba en la cueva baja de La Galiana, situada unos pocos metros por encima. En algunos tramos de la cavidad circula a veces agua y presenta varios lagos subterráneos de pequeña entidad.

En la cueva del Lago, justo al lado, se puede ver la situación del nivel freático. Se tiene noticia que durante el terremoto de Lisboa del siglo XVIII la fuente dejó de manar durante unas horas.

Derrubios de gravedad y grezées litéas

Al pie de las paredes verticales del cañón, y siempre y cuando el río no los haya arrastrado, se disponen derrubios y grezées litéas muy característicos y que nos delatan la existencia de ambientes periglaciares.

La umbría del cañón aceleró la intensidad de la disgregación por helada de las paredes del cañón. Aunque no se puede asegurar (ya que el río ha desmantelado parte de estas formaciones), parece que los mayores depósitos de grezées litéas se asocian a las caras orientadas al norte. El espesor es variable, llegando a tener más de 4 m. Están formados por cantos de tamaño grava y limos.

Muchos de estos depósitos son heredados, pues presentan un suelo orgánico de 5-10 cm. que los fosiliza (como en Hontoria del Pinar), o están en fase incipiente de desarrollo de suelo. Otros están «vivos» y siguen alimentándose de la gelifracción actual de los roquedos.

2. EL ACUIFERO DE UCERO

2.1. FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLOGICO

La escorrentía subterránea del Mesozoico situado en la mitad norte de la provincia de Soria, se realiza por el río Utero, Aviión, Sequillo, Andaluz, Izana, Mazos, Golmayo, Perales y Vilde. De todos estos ríos, el más importante es el de Utero. Toma este nombre a partir del manadero de La Galiana, situado a la salida del cañón del río Lobos, en el término municipal del pueblo de igual denominación.

El acuífero queda definido por una sucesión de niveles calizo dolomíticos que tienen una potencia total del orden de los 250-300 m. Hay algunas intercalaciones margosas, en general de poco espesor respecto al conjunto, por lo que todo él puede considerarse como una única unidad hidrogeológica. Este acuífero descansa sobre los niveles margosos del Cenomanense, comportando-

se como libre cuando aflora y pasando a confinado al quedar cubierto por los sedimentos terciarios (fig. 1).

Los materiales acuíferos se extienden en una superficie aproximada de 129 kilómetros cuadrados, y su geometría es bastante sencilla. El Cretácico se dispone buzando suavemente hacia el norte dentro de un amplio sinclinal, estructurado luego a anticlinal en Utero. El Jurásico cabalga en San Leonardo de Yagüe sobre el Cretácico.

El Lobos, principal afluente de cabecera del Utero, viene de la provincia de Burgos, donde recoge las escorrentías y drenajes también subterráneos de los materiales detríticos del Wealdense y de alguna pequeña fuente kárstica. Se alimenta el Lobos de pequeños arroyos que drenan estos sedimentos wealdicos y que en época de estiaje llevan unos pocos litros por segundo.

Al llegar a las calizas cretácicas de la alineación de la Sierra de Cabrejas, el río se encañona en un angosto y magnífico cañón, que se prolonga durante 10-15 Km. por las provincias de Burgos y Soria hasta el mencionado pueblo de Utero. En el comienzo del cañón, el río Lobos se pierde cuando se encuentra en régimen de estiaje y baja ya seco hasta la ermita de San Bartolomé. Sin embargo, el nivel freático aflora en algunas partes de su cauce, que permanece a modo de charcas o pozos que nunca se secan. Dependiendo del caudal que lleve el Lobos a la entrada del cañón y la situación del nivel freático, el río puede perderse más arriba o más abajo en la faja de calizas, hasta el punto que cuando el caudal es suficientemente alto se le ve correr con agua por todo su lecho. Otras veces hay tramos con agua, aguas arriba o aguas abajo, indistintamente. En épocas lluviosas aparecen varias surgentes.

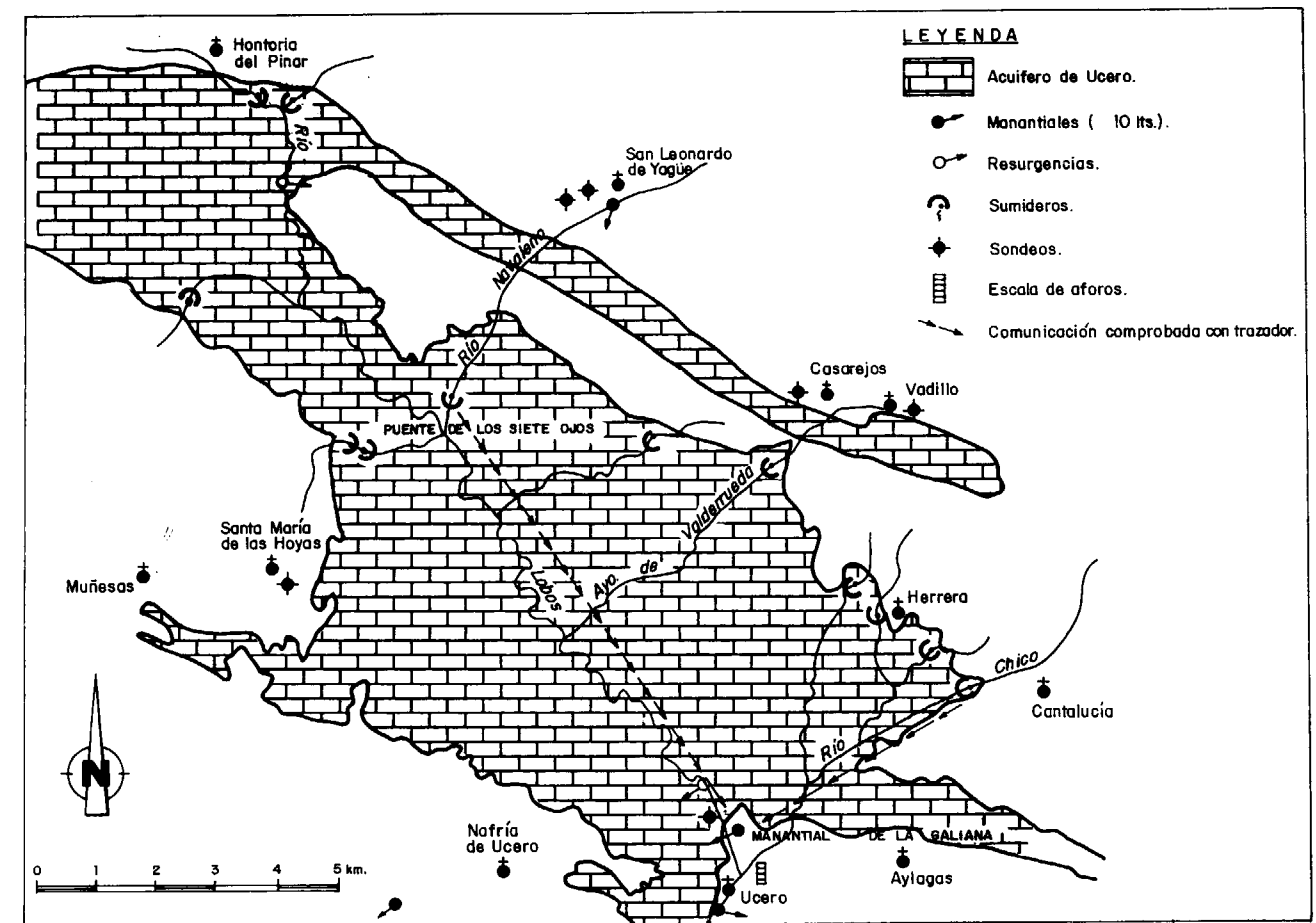


Figura 1.—El acuífero de Utero.

cias, la más grande (100-150 litros) se encuentra aguas abajo del sumidero de Hontoria. Hay otras cercanas a la ermita de San Bartolomé. En cuanto a surgencias permanentes, a parte de La Galiana, sólo hay cinco, muy pequeñas y repartidas a lo largo del cañón.

En estiaje, el río suele llevar agua desde la ermita de San Bartolomé, tal y como hemos dicho. En las paredes rocosas del cañón queda visible la marca hasta dónde llega el río y de la cual también es testigo la ermita románica de San Bartolomé, sita precisamente a la altura conveniente para que la máxima avenida del río no la afecte.

El río Lobos tiene un afluente por su izquierda importante. Se trata del río Navaleno, que proviene de San Leonardo de Yagüe, donde tiene su nacimiento en pequeños pero permanentes arroyos que drenan el Weald (unas pocas decenas de l/s. en estiaje), pero que engrosa su caudal con la fuente kárstica de San Leonardo (60 l/s.-100 l/s. de caudal medio), alimentada por las alineaciones carbonatadas del Jurásico, independizado aquí del Cretácico. El Navaleno llega al Lobos con todo su caudal y en su confluencia se pierde totalmente en épocas de estiaje, precisamente donde empiezan los afloramientos importantes calcáreos del Cretácico.

Otros afluentes dignos de mención son el río Chico y el arroyo de Casarejos. Este último, en situación de estiaje, baja con la poca agua que recoge de los rezumes subterráneos del Weald (10 l/s. en estiaje); se infiltra más abajo del pueblo. Es de señalar que el río viene contaminado por los vertidos de las granjas de cerdos.

El Chico tiene más agua: unos 20-30 l/s en estiaje. Antiguamente había varios molinos que aprovechaban el caudal del río a lo largo de todo su cauce, y que podían moler gracias a que tapaban las simas y perdederos que había (también lo hacían para poder regar aguas abajo), logrando que el agua llegase hasta el Ucero. Hoy día, sin embargo, pocas son las veces que el Chico llega a confluír con el Ucero, cosa que sólo se consigue cuando el río va muy crecido. Es muy frecuente encontrarlo seco a la altura de Cantalucía.

El río Ucero tiene algunos manantiales no muy importantes algo más abajo del pueblo de Ucero

(en el contacto con las calizas del Cretácico y el Terciario impermeable). Hasta Burgo de Osma el río no aumenta prácticamente nada su caudal subterráneo, pues circula por terrenos impermeables terciarios. Al llegar a la cúpula cretácica de Osma, recibe las aportaciones del río Avión por la izquierda.

Con el fin de controlar lo mejor posible las aportaciones subterráneas del sistema, se instaló una escala de aforos en el pueblo de Ucero (donde se evita la escorrentía superficial de la cuenca terciaria del Ucero). La estación actual de aforos se encuentra en Burgo de Osma y mide también las aportaciones del río Avión (aunque no el Sequillo).

La recarga del acuífero se lleva a cabo a partir de la infiltración directa del agua de las lluvias y nieves que caen sobre los afloramientos, así como de las filtraciones de los ríos que se pierden en él, tal como se ha descrito anteriormente. Los recursos los estimamos en unos 40 Hm³ por año (según la precipitación media del acuífero —677 mm/año— y según los aforos de la estación de Burgo de Osma (CANDIL GONZALO y LOPEZ VILCHEZ, 1979).

Las pruebas con trazadores

La circulación detallada del agua subterránea es desconocida porque se carecen de puntos de agua suficientes como para dibujar el mapa de isopiezas. Desde luego va dirigida hacia el manantial de La Galiana y hacia la parte baja del río Lobos. La fuente de Galiana se sitúa en el límite permeable-impermeable (margas turoneses y cenomanienses) de menor cota. Es por ello que la utilización de trazadores es una herramienta importante en este sentido. A continuación describimos brevemente las pruebas realizadas.

En agosto de 1967, dentro de una campaña de investigación de acuíferos kársticos del Centro de Estudios Hidrográficos, se realizó una prueba de coloración en el río Navaleno. El colorante tardó unos seis días y medio en salir por la surgencia de La Galiana, por lo que teniendo en cuenta que la distancia en línea recta es de 9.500 m., la velocidad fue de unos 60 m/h.

La comunicación entre el sumidero del río Chico (en Cantalucía, a 6.000 m. de distancia) y La Ga-

liana, también ha sido comprobada por nosotros con rodamina, habiendo resultado una velocidad media de 60 m/hora.

Seguramente las velocidades pueden aumentar significativamente con caudales mayores en el manantial de La Galiana, por lo que la velocidad del agua subterránea se sospecha que es bastante alta. El acuífero parece, pues, bastante vulnerable a la contaminación. La infiltración en sumideros de las aguas residuales (y a veces de vertido de purines) se ha dejado sentir en La Galiana. Nos referimos a los arroyos y ríos ya mencionados que recogen los vertidos de San Leonardo, Navaleno, Hontoria del Pinar, Casarejos, Cubilla, Herrera de Soria, Muñecas, Talveilla y otros situados dentro de las respectivas cuencas de drenaje, muchos de los cuales carecen de depuradoras.

3. EL MODELO CREC

3.1. PROPOSITO

El modelo CREC, que pretende cuantificar una aproximación global del vaciamiento de un acuífero mediante manantiales, ha sido elaborado en el laboratorio de hidrogeología matemática de Montpellier (CORMARY y GUILBOT, 1969). Se ha empleado para el estudio de numerosos acuíferos en hidrogeología de superficie y en hidrogeología, y ofrece una buena adaptación a los acuíferos kársticos. En nuestro país todavía no se había utilizado, siendo este trabajo la primera aplicación del modelo.

En el presente estudio, además de su exposición y justificación, se ha pretendido explicitar, tanto las funciones que en él intervienen como el significado de los valores iniciales y parámetros que han de cuantificarse para su calibración, al objeto de facilitar su aplicación. Con esta misma idea de facilitar su aplicación se ha elaborado un esquema operativo y el correspondiente programa para su tratamiento en ordenador.

3.2. EL MODELO CREC

1. Presentación y resumen

La circulación del agua, a partir de una lluvia, es

simulada por la transferencia de la lámina de agua a través de tres reservorios: S, H y G.

El reservorio S corresponde al suelo. A este nivel se descuenta parte de la evapotranspiración real y se calcula la lluvia eficaz.

Los reservorios H y G están situados en la zona profunda. El vaciado del reservorio H (no saturado) no es lineal y el de G (saturado) es lineal. Se puede descomponer el funcionamiento de este modelo de la manera siguiente (se adjunta esquema):

— La escorrentía superficial, cuando existe, es descontada directamente de la lluvia.

— La *parte de producción* del modelo asegura el cálculo de la lluvia eficaz, es decir, de la lámina de agua que recarga la capa H. Esta función de producción está reglada por dos parámetros, X_3 y X_4 . La reducción de la evaporación potencial a la evaporación real se realiza con la intervención de un parámetro X_7 .

— Las *funciones de transferencia* permiten la repartición del exceso de agua con relación a la saturación del suelo, entre los reservorios H y G, y determinan los caudales de escorrentía hipodérmica, turbulenta y subterránea laminar.

Se advierte que la alimentación del reservorio G no se hace directamente por la lluvia eficaz, sino por medio del reservorio H con un umbral de alimentación X_5 .

Este modelo está regulado por siete parámetros. Ha sido utilizado con paso de tiempo diario. El ajuste de la serie de parámetros se hace mediante un cálculo iterativo.

Los siete parámetros que regulan el modelo son los siguientes:

— X_3 y X_4 son los dos parámetros de producción.

— X_1 y X_2 regulan el agotamiento de los reservorios que esquematizan las capas H y G.

— X_5 y X_6 aseguran la alimentación del reservorio G por H.

— X_7 es el parámetro de reducción de la evapotranspiración potencial.

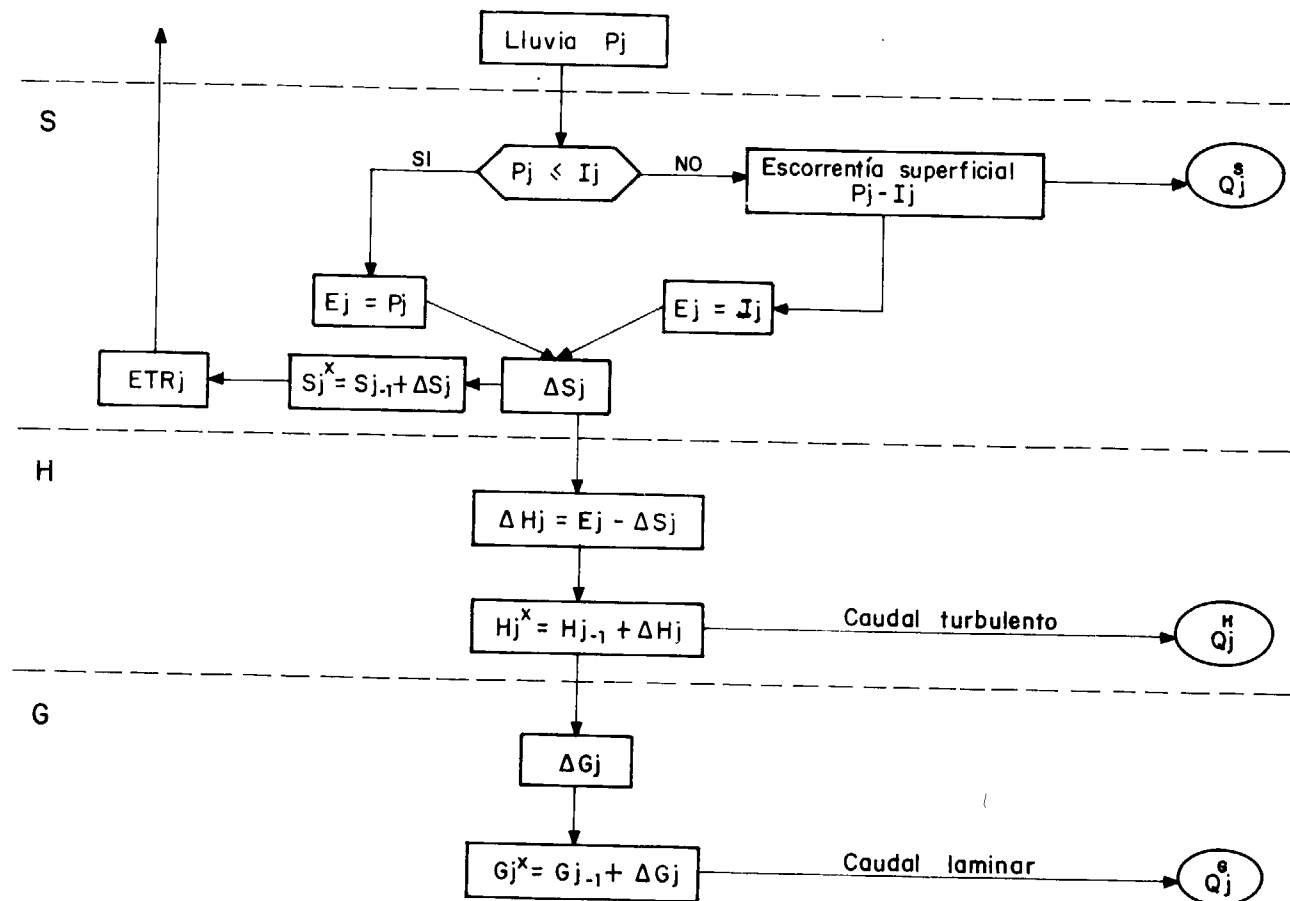


Figura 2.—Esquema gráfico del modelo Crec.

Se puede igualmente añadir dos parámetros, X_s y X_o, que determinan la infiltración potencial. Se pueden fijar de manera que sólo una lluvia superior a cierto límite (100 mm/día, por ejemplo) provoque una escorrentía superficial.

2. Los datos

Emplea los siguientes datos de entrada:

a) Caudales diarios

Es preciso disponer de largas series de observaciones, cuatro años al menos, para el ajuste del modelo, y algunos años para verificar la estabilidad del ajuste.

b) Las temperaturas

Las temperaturas medias mensuales permiten el

cálculo de la evapotranspiración potencial mensual, por el método de Thornthwaite. En todo caso, se pueden sustituir por las evaporaciones potenciales diarias.

c) Las lluvias

De ellas es necesario disponer de los correspondientes datos suficientes y precisos a tiempo diario.

3. Contrastes físicos y numéricos impuestos a los parámetros

Han de eliminarse ciertos valores de los parámetros, ya sea porque ellos hagan los cálculos imposibles, ejemplo lg (-n), o por evitar resultados intermedios, físicamente absurdos.

Por lo demás, el conocimiento de ciertos elemen-

tos del terreno, o el comportamiento del suelo o la vegetación o de la capa, pueden inducir al operador a imponer contrastes suplementarios. Se fija entonces, para cada parámetro, un límite inferior y otro superior, como pueden ser los que figuran en el punto 10 a).

4. La parte de producción del modelo

El grado de humedad del suelo está representado por una variable, S_t, que significa el nivel del reservorio S.

Esta variable S_t determina, por una parte, una velocidad de infiltración potencial en superficie y, por otra, la cantidad de agua que participa en la recarga del déficit de humedad.

La velocidad de infiltración potencial en superficie (velocidad máxima) se escribe así:

$$f_t = B - C \cdot \sqrt{S_t} \quad (\text{en mm}/\Delta t) \quad [1]$$

Si la precipitación diaria, P_t, es superior a f_t (lo que ocurre muy raramente), la diferencia P_t - f_t escurre superficialmente hasta el río y sólo la cantidad f_t es infiltrada. Esta formulación permite la reconstrucción de las crecidas que siguen a precipitaciones de fuertes intensidades, acaecidas particularmente en verano.

Si la precipitación diaria, P_t, es inferior a f_t, lo cual es el caso general, P_t es infiltrada. A esta cantidad de agua infiltrada la denominaremos E_t (lluvia útil).

La expresión [1] de la velocidad potencial de infiltración superficial es prácticamente equivalente a las formuladas para la infiltración obtenida en laboratorio cuando un exceso de agua se encuentra encima de una columna de suelo cuyo contenido inicial de humedad es homogéneo. Con unos valores convenientes de los parámetros, GUILBOT (1975) demuestra una gran aproximación a las fórmulas clásicas establecidas por KOSTIAKOV (1931), KIRKHAM y FENG (1949) y PHILIP (1975), si bien en la adoptada por el modelo CREC sólo aparece explícita la variable S_t, en cada instante t.

Una vez tratados estos casos particulares de escorrentía superficial, se aborda la recarga de humedad del suelo. Y para ello se define una moción de capacidad, no de infiltración sino de ab-

sorción, es decir, de recarga de humedad del suelo.

La lluvia útil infiltrada (E_t) tiene los tres destinos siguientes:

- Atender la evapotranspiración real (ETR_t).
- Alimentar el reservorio H de la capa no saturada (ΔH_t).
- Variación de existencias en S (S_t - S_{t-1}), o sea del grado de humedad del suelo.

Por lo tanto, se verificará

$$E_t = ETR_t + \Delta H_t + (S_t - S_{t-1})$$

Ahora bien, para la dinámica de estos tres destinos, expresados según el grado de humedad del suelo (S_t), interesa definir el concepto ya anunciado de capacidad de absorción o de recarga de humedad del suelo (ΔS_t^x), que influirá en la ETR_t. El exceso de esta capacidad (E_t - ΔS_t^x) dará ΔH_t, o sea, la recarga del reservorio H. Adviértase que el nivel final del reservorio S_t se obtendrá restando ETR_t:

$$S_t = S_{t-1} + \Delta S_t^x - ETR_t$$

La expresión adoptada para esta capacidad de absorción del suelo, perfectamente empírica y en función de S_t, se ha escrito así:

$$\Delta S_t^x = E_t \cdot a \cdot e^{-bS_{t-1}}$$

o bien

$$\Delta S_t^x = E_t \cdot (X_3 \cdot e^{X_4 \cdot S_{t-1}})^{-1}$$

Se ha comprobado que esta fórmula muestra una gran aproximación con las dadas por HORTON, HOLTAN, PHILIP y hasta por la formulada por KOHER en 1963, a partir de la de HORTON, con otras variables, pues la que aquí se adopta está en función de S.

Esta parte de producción se completa teniendo en cuenta los fenómenos de evaporación.

El nivel del reservorio S se disminuye a cada paso del tiempo, por un valor de evapotranspiración, valor calculado a partir de un índice de evapotranspiración potencial y en función del estado de humedad del suelo.

Independientemente de los fenómenos de transpiración, la forma de la curva: Evaporación / Evaporación potencial, ha sido experimentalmente

determinada en función del grado medio de agua de la muestra.

Si se llama θ_k al grado de agua correspondiente a la evaporación potencial (es decir, la capacidad de retención) y θ_0 el grado de agua para el cual la evaporación es nula (punto de marchitez), la curva presenta la forma de la figura 3. Suponiendo que la transpiración varíe, aproximadamente como la evaporación, una expresión bastante general ha sido formulada, permitiendo la reconstrucción de este tipo de curva sin introducir la variable umbral.

$$\frac{ETR}{ETP} = 1 \cdot e^{-\beta \cdot S_t}$$

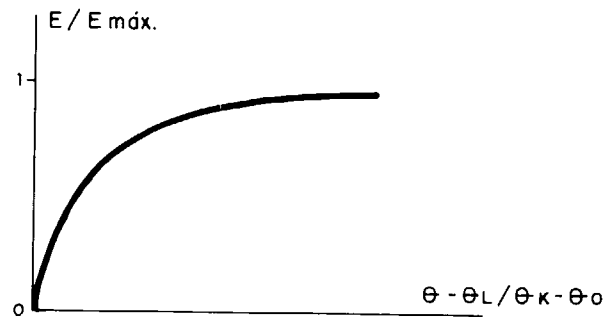


Figura 3.

5. La parte de transferencias del modelo

El hidrograma observado a la salida de una cuenca está formado por:

- La *escorrentía superficial*. Su contribución es despreciable a la escala de una cuenca, con relación a la escorrentía hipodérmica, salvo en casos muy particulares de lluvias estivales intensas.
- La *circulación hipodérmica* proveniente del agua que se filtra y circula lateralmente en el horizonte superior, que será captada por los pequeños cursos de agua a lo largo de su desplazamiento que pueden incrementar la escorrentía superficial o ser infiltrada.
- La *circulación subterránea*, componente de base del hidrograma.

Otras circunstancias (propagación de las crecidas, precipitaciones sobre charcas y cursos de

agua) añaden complejidad al fenómeno; pero se induce a proceder hacia una aproximación global que se intenta a través de unos reservorios.

Es importante indicar que los diferentes tipos de transferencia lineal invariantes encontrados en la bibliografía (reservorios, isocronos, convolución, propagación, ecuaciones diferenciales de stocajes...) son perfectamente equivalentes (con la discretización precisa) a los grupos «tiempo-variación lineal» y a los modelos no lineales de utilización más reciente.

En este modelo CREC, la infiltración se transfiere por el paso de dos reservorios lineales de ecuación:

$$\text{Stock} = m \cdot Q$$

Esta ecuación, combinada con la ecuación de continuidad

$$P = \frac{ds}{dt} + Q = m \cdot \frac{dQ}{dt} + Q$$

conduce, una vez discretizada, a:

$$Q_{in} = \frac{\Delta t}{2m + \Delta t} \cdot (P_{t+1} - P_t) + \frac{2m - \Delta t}{2m + \Delta t} \cdot Q_t$$

(para un reservorio) [2]

Conocido a cada paso de tiempo, la fracción de agua ΔS_t^x precipitada que sirve para completar el déficit de humedad, la fracción restante, $P_t - \Delta S_t^x$ — Escorrentía superficial, es considerada como «lluvia eficaz», y es la que participa en la circulación hipodérmica y subterránea.

Este exceso de agua alimenta una zona intermedia H, que juega un doble papel.

- Vaciado no lineal, de la forma $H = c \cdot Q_H^{1/2}$ que corresponde a lo que ha sido definido como escorrentía hipodérmica.
- Percolación hacia la zona subterránea G, cuando un umbral de almacenamiento potencial (H_0) ha sido atendido:

$$Q_{\text{percolacion}} = d(H - H_0)$$

- La zona subterránea G es asimilada a un reservorio lineal de ecuación $G = e \cdot Q_G$. Su vaciado responde a una expresión equivalente a la [2], o sea (ver fig. 4):

$$Q_G^t = \alpha Q_G^{t-1} + (1 - \alpha)q_G$$

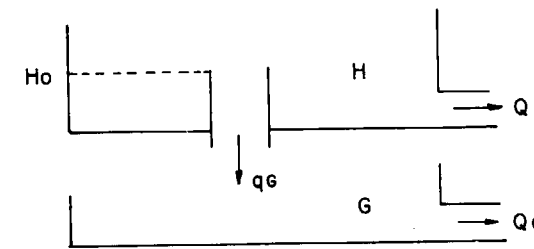


Figura 4.

Con todo ello, las fórmulas adoptadas para esta parte de transferencias, usando la nomenclatura del esquema operativo, son las siguientes:

- a) Caudal turbulento en H:

$$Q_j^H = (X_1 \cdot H_j^x)^2$$

- b) Percolación de H en G:

$$\Delta G_j^x = [H_j^x - X_6] / X_5$$

- c) Caudal básico:

$$Q_j^G = X_2 \cdot Q_{j-1}^G + (1 - X_2) \cdot \Delta G_j^x$$

Todas estas fórmulas de caudales por unidad de tiempo vienen expresadas como el grosor, en altura, de una lámina de agua extendida sobre toda la cuenca. En los apartados 7, 8 y 9 se da una justificación de las mismas, así como de los parámetros que en ellas intervienen.

6. Notas sobre la utilización de este modelo en un medio fisurado

A priori no hay ninguna razón para que las expresiones de las leyes de producción no se adapten a una región calcárea recubierta de vegetación mediterránea.

Por el contrario, conociendo que el Karst es un medio discontinuo, la parte de transferencia del modelo puede parecer elemental.

Se sabe que la circulación del agua en las calizas fisuradas se efectúa a través de dos tipos de redes de drenaje:

- La red de conductos de dimensiones importantes, donde la circulación es rápida y turbulenta.

- La red de fisuras finas, donde la circulación es lenta y laminar.

Esta presentación es análoga con la esquematización propuesta para el modelo: La primera caracteriza la circulación rápida y turbulenta, en respuesta inmediata a una lluvia; esta circulación corresponde a un vaciado no lineal del reservorio H. La segunda coincide con una circulación retardada, considerada como laminar y es posible estimar que el reservorio G representa esta zona.

En efecto, la aproximación de la ligazón lluvia-caudal está en consonancia con las experimentaciones realizadas por ARCHAMBAULT, BOORGUET, VAILLEOUX, GUILBOT, etc.

7. Notas sobre las funciones de producción en S

- a) *Funciones de producción*

Estas funciones de producción son las siguientes:

- *Capacidad de infiltración* o tope máximo del suelo para filtrar agua de lluvia. Ella se expresa en función del grado de humedad del suelo S, grado que se mide en mm. de altura del reservorio S (suelo):

$$I_{\text{max}} = X_8 - X_9 \cdot \sqrt{S}; \quad E = P$$

o bien:

$$E = I_{\text{max}} \text{ si } P > I_{\text{max}}$$

- *Lluvia útil* o cantidad de agua «absorbida» por el suelo y que tendrá su destino para atender el déficit de humedad del suelo y el resto para su percolación al depósito H (no saturado). Se denomina ΔS y está en función de la lluvia E (no escurrida en superficie) y de S según la expresión:

$$\Delta S = E \cdot (X_3 \cdot e^{X_4 \cdot S})^{-1}$$

- *Evapotranspiración real*, que incrementa el déficit del suelo. La lluvia útil, atendida la evapotranspiración y el incremento de nivel de S (déficit del suelo) nos proporcionará la «lluvia eficaz» o lluvia que transitará a las capas subterráneas y posteriormente a los exutorios. Su expresión (ETR) es función de la eva-

poración potencial (ETP) y del nivel de humedad (S) del suelo:

$$ETR = ETP \cdot (1 - e^{-S/X_7})$$

El nivel S_j (humedad del suelo) quedará así:

$$S_j = S_{j-1} + \Delta S_j^x - ETR_j$$

La diferencia entre E y ΔS se denomina «lluvia eficaz» (ΔH), que tendrá por expresión:

$$\Delta H_j = E_j - \Delta S_j^x$$

Estas tres funciones de producción han sido establecidas, como se ha dicho, en base a fórmulas empíricas clásicas, si bien todas ellas han sido adaptadas para que (aparte de los datos de entrada, P y ETP) no aparezca más que la variable S. Al discretizarlas, el tiempo aparece como subíndice. Con unos valores convenientes de los parámetros se demuestra una gran aproximación a dichas fórmulas clásicas (GUILBOT, 1975).

b) *Notas sobre las funciones de producción: Parámetros y valores iniciales*

b.1) Capacidad de infiltración del suelo

$$I_{max} = X_8 - X_9 \cdot \sqrt{S}$$

Si se sabe que no hay escorrentía superficial se puede empezar el modelo con $E_j = P_j$. Se eliminan así los parámetros X_8 y X_9 . En todo caso, si esta escorrentía superficial se ha producido en alguna ocasión, entonces se podría poner

$$P_j' = P_j - \text{Escorrentía superficial}$$

En los acuíferos kársticos es infrecuente, y puede haberla en algún año con fuerte tormenta de verano.

Los autores del modelo sólo citan en una aplicación esta capacidad de infiltración tomando los valores $X_8 = 120$ y $X_9 = 1$. Con ellos se tiene el tope de 120 mm., ya que el valor de \sqrt{S} influye poco; por ejemplo, tendría que ser $S = 400$, $\sqrt{S} = 20$ para que el tope quedase en 100 mm., y con estos datos la lluvia que en un día ascendiese a 120 mm. daría una escorrentía superficial de 20 mm.

6.2. RELACION ENTRE ETR Y ETP

La función e^{-S/X_7} es una exponencial decreciente que varía entre 1 (para $S=0$) y 0 (para $S=\infty$), luego $1 - e^{-S/X_7}$ es creciente que arranca de cero (para $S=0$) y tiende asintóticamente a 1. Se trata, por tanto, de un coeficiente reductor que denominaremos Cr. En la figura 5 se representa su variación en función de S para $X_7 = 40$. Para darnos idea de su magnitud, veamos algunos valores de Cr en función de S (humedad del suelo) y de X_7 (parámetro reductor de S).

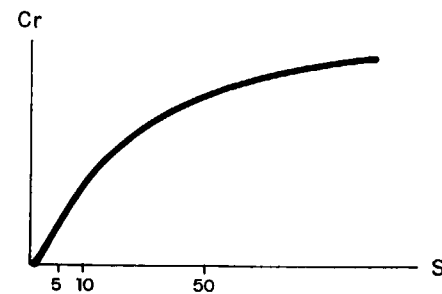


Figura 5.

TABLA I
Valores de $Cr = 1 - e^{-S/X_7}$

S/S_m \ X_7	2	5	10	20	40	50	100	500	200
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,92	0,63	0,40	0,22	0,12	0,10	0,05	0,03	0,02
10	0,99	0,86	0,63	0,40	0,22	0,18	0,10	0,06	0,05
20	1	0,98	0,86	0,63	0,40	0,33	0,18	0,13	0,10
40	1	0,99	0,98	0,86	0,63	0,55	0,33	0,23	0,18
50	1	1	0,99	0,92	0,71	0,63	0,39	0,28	0,22
100	1	1	1	0,99	0,92	0,86	0,63	0,49	0,39
500	1	1	1	1	0,99	0,99	0,99	0,96	0,92

Aquí se pondrá para Cr la expresión siguiente:

$$Cr = 1 - e^{-(S-S_m)/X_7}$$

o sea, que se adopta un umbral inferior S_m (punto de marchitez) para el cual $Cr=0$, y se impondrá la condición por la que para $S \leq S_m$ ha de ser $Cr=0$, eliminando con ello los valores negativos de Cr. Este valor de S_m se concreta en el punto siguiente.

b.3) Relación entre lluvia y lluvia útil

El factor por el que se multiplica E para obtener ΔS ha de ser un factor reductor y positivo (Fr), es decir:

$$0 \leq (X_3 \cdot e^{X_4 \cdot S})^{-1} \leq 1$$

o sea:

$$-\infty \leq -(\ln X_3 + X_4 \cdot S) \leq 0$$

luego ha de ser:

$$\ln X_3 + X_4 \cdot S \geq 0$$

Si contemplamos esta desigualdad en función de S será:

$$S \geq \frac{-\ln X_3}{X_4}$$

es decir, que los valores de los parámetros X_3 y X_4 condicionan unas cotas inferiores de S, salvo

que se admitan valores negativos para ΔS . Este valor mínimo de S vendrá definido por la igualdad:

$$S_m = \frac{-\ln X_3}{X_4} \quad [3]$$

Puesto que $X_3 < 1$ el segundo miembro es siempre positivo y nunca podrá ser $S=0$, salvo en el caso límite de $X_4 = \infty$.

La función [3] de dos variables es: a) hiperbólica decreciente con asíntota horizontal $S_0=0$, para valores fijos de X_3 (de la forma de la fig. 6). También decreciente para valores fijos de X_4 (fig. 7).

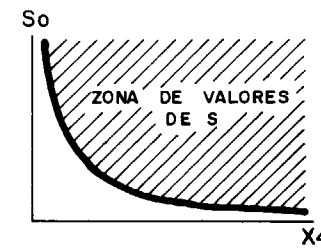


Figura 6.

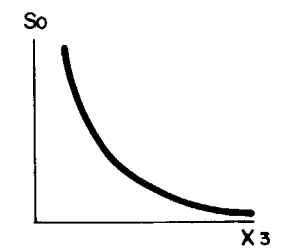


Figura 7

Al objeto de tener una idea sobre estos valores mínimos (S_m) de S, a continuación se refleja una tabla de doble entrada para valores de X_3 y X_4 , que pueden presentarse.

TABLA II
Valores de S_m (cotas inferiores de los valores de S)

$X_4 \backslash X_3$	0,2	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
0,1	16	23	24	25	27	28	30	32	35	39	46
0,05	32	46	48	51	53	57	60	65	70	78	92
0,04	40	58	60	63	67	71	75	81	88	98	115
0,03	54	77	80	84	89	94	100	108	117	131	154
0,02	81	115	121	126	133	141	150	161	175	196	230
0,015	107	154	161	168	178	188	200	215	234	261	307
0,01	161	230	241	253	266	282	300	322	351	391	461
0,0075	215	307	321	337	355	376	400	430	468	522	614
0,005	322	461	482	505	532	563	600	644	702	783	921

Estos valores de S han de tenerse en cuenta no sólo para el valor inicial S_0 de S ($S_0 > S_m$), sino también para fijar el punto de marchitez (S_m) en el que la ETR es nula.

El factor reductor $F_r = \frac{\Delta S}{E} = \frac{1}{X_3} \cdot e^{-X_4 \cdot S}$ es una función exponencial decreciente en S. Así, para $X_3=0,1$ y $X_4=0,02$ se tendrían los siguientes valores para F_r (en %) y para su complementario ($1-F_r$), que sería el coeficiente de infiltración (fig. 8).

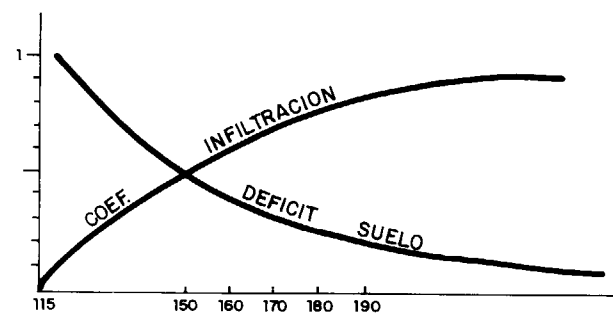


Figura 8

S_{j-1}	F_r (%)	$1 - F_r = C. I.$ (%)
$S_m = 115$	100	0
120	90,7	9,7
125	82,1	17,9
130	74,3	25,7
135	67,2	32,8
140	60,8	39,2
150	49,8	50,2
160	40,8	59,2
170	33,4	66,6
180	27,3	72,7
190	22,4	77,6
300	2,5	97,5

8. Notas sobre las funciones de transferencias en H. Parámetros y valores iniciales

Este depósito está comprendido entre el suelo y el acuífero y supone un tránsito del agua, a través de un medio no saturado y sin pérdidas de agua, por lo que las entradas serán iguales a las salidas ± variación de existencias.

Para esta percolación del agua en el depósito H se suponen dos tipos de flujo:

— Uno de carácter turbulento que proporciona

un caudal de salida al exterior, expresado por:

$$Q_j^H = (X_1 \cdot H_j)^2$$

El tránsito turbulento es acelerado y por unidad horizontal del flujo puede entenderse como un producto de la velocidad de Darcy, que por unidad vertical daría $V = k \cdot \Delta h = k \cdot H_j$, y de una altura media de las fisuras o grietas (m) que expresaremos como fracción del nivel de la capa H sea $m = k' \cdot H$. Luego el caudal total por unidad de superficie sería:

$$Q_j^H = V \cdot m = k \cdot k' \cdot H_j^2 = (X_1 \cdot H_j)^2$$

donde $k \cdot k' = X_1^2$

Luego $X_1 = \sqrt{k \cdot k'}$ es la media geométrica del gradiente de Darcy (k) y de la altura, relativa a H, de las grietas y fisuras ($\frac{m}{H}$). Su valor, en general, suele ser inferior a 0,1.

— El otro flujo es de dirección vertical y conduce el agua al depósito G. Su expresión es de tipo lineal, como la ley de Darcy, y su efecto es el de producir un retraso de llegada.

$$\Delta G_j = \frac{H_j - X_6}{X_5} = \frac{1}{X_5} \cdot H_j - \frac{X_6}{X_5}$$

Esta función tiene dos parámetros:

Uno X_6 , que se resta de H y puede representar el agua de retención en el depósito H (adherencia a superficies, llenado de huecos y sifones sin salida vertical, agua de composición de ciertas litologías, etc., o sea, agua para la que la gravedad está anulada). Este parámetro es muy variable y puede oscilar entre 0,001 y 10, dependiendo de la altura de la capa y de su estructura.

El otro parámetro, X_5 , representa la fracción H_j , que saldrá para G por unidad de tiempo, y debe estar relacionado con la velocidad de filtrado de la capa H por unidad de presión. Puede oscilar entre 1 y 30. Es el coeficiente de Darcy para una circulación vertical.

La función $Q_j^H = (X_1 \cdot H_j)^2$ da siempre valores positivos y únicamente será 0 para $H_j = 0$.

Por el contrario, deberá ser:

$$\Delta G_j = \frac{H_j - X_6}{X_5} \geq 0$$

y esto se verificará cuando $H_j \geq X_6$, que será siempre, salvo algún caso excepcional. En todo caso se podría admitir algún valor negativo de ΔG_j interpretándolo como un déficit que ha de cubrirse con las nuevas llegadas ΔH_j .

Puesto que el método establecido siempre asegura el balance

$$Q_j^H + \Delta G_j = \Delta H_j + (H_j - H_{j-1})$$

puede resultar interesante comprobar, por el hidrograma del manantial, si los dos tipos de caudales, Q_j^H y Q_j^G , se detectan en él. Sobre todo interesa el Q_j^H (de régimen turbulento y reacción rápida a la lluvia), y en caso de discrepancia tratar de ajustar modificando el parámetro X_1 .

Si hubiese desfases de tiempo en los caudales básicos habría que modificar, principalmente, el parámetro X_5 .

9. Notas sobre las funciones de transferencias en G. Parámetros y valores iniciales

a) La fórmula del caudal Q^G

La expresión

$$Q_j^G = X_2 \cdot Q_{j-1}^G + (1 - X_2) \Delta G_j^x \quad [4]$$

es una discretización de la fórmula empleada para el caudal que proporcionan los acuíferos que tienen unas recargas regulares, o sea:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} + (1 - e^{-\alpha t}) \cdot R$$

donde α es el coeficiente de agotamiento y R la recarga.

Para el transcurso de un día se tendría:

$$Q_t = Q_{t-1} \cdot e^{-\alpha} + (1 - e^{-\alpha}) \cdot R$$

y si en ella se pone $X_2 = e^{-\alpha}$, $R = \Delta Q_j^x$, se tendrá:

$$Q_t = X_2 \cdot Q_{t-1} + (1 - X_2) \cdot \Delta G_j^x$$

que es la fórmula empleada.

De ella se deduce que:

a)

$$X_2 = e^{-\alpha}$$

o bien

$$\alpha = -\ln X_2$$

lo cual, además de dar un significado al parámetro X_2 , proporciona un medio de cálculo del mismo, si a través del hidrograma del manantial se ha podido determinar el valor de α .

b) En régimen de agotamiento del acuífero, o sea, con $R=0$, quedaría:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

y se verifica que el volumen de agua por encima del nivel de drenaje tiene la siguiente expresión para $t=0$:

$$V_0 = \frac{Q_0}{\alpha}$$

Puesto que aquí estamos considerando los caudales Q como la altura de una lámina de agua extendida sobre todo el acuífero, el caudal en volumen sería $Q_0' = Q_0 \cdot S'$ si S es la superficie del acuífero. El volumen sería:

$$V_0 = \frac{Q_0'}{\alpha} = \frac{Q_0 \cdot S}{\alpha}$$

Luego

$$\frac{V_0}{S} = \frac{Q_0}{\alpha}$$

pero esta expresión $\frac{V_0}{S}$ es la que estamos empleando para G, o sea, que sería:

$$G_0 = \frac{Q_0}{\alpha}$$

donde α , por tanto, viene referido a (día)⁻¹.

Por tanto,

$$G_0 = \frac{Q_0}{-\ln X_2}$$

o sea, se tiene una relación que liga los valores iniciales G_0 y Q_0 si en este momento el manantial funciona en régimen de agotamiento.

b) Valores de G_0

La expresión de G es

$$G_j = G_{j-1} + \Delta G_j^x - Q_j^G$$

y pudiera inducir a pensar que tomara valores negativos puesto que tiene el sustraendo Q_j^G . Esto no tendría significado físico si ha de ser $Q_j^G \geq 0$.

Veamos que ello no se verificará si se supone que $X_2 < 1$, que $\Delta G_j \geq 0$, y se adopta un valor conveniente para G_0 .

Puesto que $\Delta G_j^x \geq 0$, se tendrá que

$$G_j \geq G_{j-1} - Q_j^G \quad [5]$$

El segundo miembro de [5] sería el valor de G_j en el régimen de agotamiento del manantial. Para los sucesivos valores de j se tendría:

$$\begin{aligned} G_1 &\geq G_0 - Q_1^G \\ G_2 &\geq G_1 - Q_2^G \\ \dots & \\ G_j &\geq G_{j-1} - Q_j^G \end{aligned}$$

que sumadas y eliminando términos comunes daría:

$$G_t \geq G_0 - \sum_{i=1}^t Q_i^G$$

En el supuesto régimen de agotamiento, pasando a variables continuas y haciendo $t = \infty$, sería:

$$G_\infty \geq G_0 - V_0 = G_0 - \frac{Q_0}{\alpha}$$

y para que esto se cumpla ha de ser $G_0 \geq \frac{Q_0}{\alpha}$, o sea:

$$G_0 \geq \frac{Q_0}{-\ln X_2}$$

lo cual es cierto según el valor de G_0 propuesto en el punto anterior.

10. Conservación de caudales

a) En producción

Para cada período de tiempo deberá cumplirse la igualdad siguiente:

$$E_j = ETR_j + \Delta H_j^x + (S_j - S_{j-1})$$

Efectivamente, el segundo miembro de esta igualdad vale:

$$ETR_j + (E_j - \Delta S_j^x) + (S_j^x - ETR_j - S_{j-1}) = ETR_j + (E_j - \Delta S_j^x) + (S_{j-1} + \Delta S_j^x - ETR_j - S_{j-1}) = E_j$$

luego siempre se cumple la igualdad.

b) En transferencias de H

Debe ser

$$\Delta H_j^x = Q_j^H + \Delta G_j^x + (H_j - H_{j-1})$$

Pero el segundo miembro vale

$$Q_j^H + \Delta G_j^x + (H_j^x - Q_j^H - \Delta G_j^x - H_{j-1}) = H_j^x - H_{j-1} = \Delta H_j^x$$

o sea, como el primer miembro.

c) En transferencias de G

Debe ser

$$\Delta G_j^x = Q_j^G + (G_j - G_{j-1})$$

Este segundo miembro vale:

$$Q_j^G + (G_j^x - Q_j^G - G_{j-1}) = Q_j^G + (G_{j-1} + \Delta G_j^x) - Q_j^G - G_{j-1} = \Delta G_j^x$$

o sea, igual que el primero.

11. Esquema operativo y variables

Adjunto se acompaña el esquema operativo. Es un método iterativo para cada período de tiempo j que comienza con $j=1$ en base a unos datos iniciales para $j=0$, y continúa para $j=2, j=3, \dots$, hasta $j=F$.

a) Variables y funciones

Las variables y funciones utilizadas son las siguientes:

- $j = 1, 2, 3, \dots, F$ (orden de los días).
- P_j (lluvia diaria).
- I_j (infiltración potencial) = $X_8 - X_9 \cdot \sqrt{S}$.
- E_j (lluvia infiltrada) = P_j si $P_j \leq I_j$ o bien I_j si $P_j > I_j$.
- ΔS_j^x (alimentación del reservorio S) = $E_j \cdot (X_3 \cdot e^{X_4 S_{j-1}})^{-1}$.
- S_j^x (nivel de S antes de la ETR_j) = $S_{j-1} + \Delta S_j^x$.
- ETR_j (evapotranspiración real) = $ETP_j \cdot (1 - e^{-S_j^x - S_m/X_7})$.
- S_j (nivel de S o grado de humedad) = $S_j^x - ETR_j$.
- $Q_j^S = P_j \cdot I_j$ si $P_j > I_j$ o bien = 0 si $P_j < I_j$ (escorrentía superficial).

— ΔH_j^x (alimentación del reservorio H) = $E_j - \Delta S_j^x$.

— H_j^x (nivel inicial del reservorio H) = $H_{j-1} + \Delta H_j^x$.

— Q_j^H (caudal turbulento) = $(X_1 \cdot H_j^x)^2$.

— ΔG_j^x (alimentación del reservorio G) = $(H_j^x - X_6)/X_5$.

— Q_j^G (caudal laminar del reservorio G) = $X_2 \cdot Q_{j-1}^G + (1 - X_2) \cdot \Delta G_j^x$.

— H_j (nivel final del reservorio H) = $H_j^x - Q_j^H - \Delta G_j^x$.

— G_j (nivel final del reservorio G) = $G_{j-1} + \Delta G_j^x - Q_j^G$.

— Q_j (caudal sin escorrentía superficial) = $Q_j^H + Q_j^G$.

— ETP_j (evapotranspiración potencial) = $\frac{\text{ETP mensual (THORNTHWAITE)}}{\text{número días del mes}}$

K_j (caudales diarios aforados).

b) Reservorios

Son los tres que vienen a continuación, con las siguientes entradas y salidas:

Reservorios	Entradas	Salidas
S (suelo)	E_j	$ETR_j, \Delta H_j^x$
H (capa no saturada)	ΔH_j^x	$Q_j^H, \Delta G_j^x$
G (capa saturada).	ΔG_j^x	Q_j^G

Esquema operativo del modelo GREC

- Períodos: $j = 1, 2, 3, \dots, F$.
- Datos: Pluviometría — $P_1, P_2, P_3, \dots, P_F$.
- Evapotranspiración potencial — $ETP_1, ETP_2, ETP_3, \dots, ETP_F$.
- Caudales aforados (para contraste) — $K_1, K_2, K_3, \dots, K_F$.
- Valores fijos: Iniciales — $G_0, H_0, S_0, Q_0^G, S_m = S_0$.
- Parámetros — $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$ y quizá X_8, X_9 .

— Imprimir: Q_j^S, Q_j^H, Q_j^G, Q_j , y además ETR_j, $\Delta H_j^x, H_j, G_j, S_j$.

— Retener para el período siguiente: S_j, H_j, G_j, Q_j^G .

c) Valores iniciales

Los valores iniciales a introducir en el programa son los siguientes:

- S_0 : Nivel de humedad del suelo.
- S_m : Nivel de marchitez cuando cesa la ETR.
- H_0 : Nivel de reservorio H.
- G_0 : Nivel del reservorio G.
- Q_0^G : Caudal laminar.

Sobre estos valores iniciales se hacen las siguientes advertencias:

— S_0 dependerá de los parámetros X_3 y X_4 escogidos y su valor no puede ser inferior al que figura en la tabla del punto 7.b.3), o sea:

$$S_0 > \frac{-\ln X_3}{X_4}$$

— S_m . Para este valor se puede tomar el siguiente:

$$S_m = \frac{-\ln X_3}{X_4}$$

— H_0 . Si por la gráfica inicial del hidrograma del manantial se puede determinar el caudal turbulento, Q_0^H , se tendrá que:

$$H_0 > \frac{1}{X_1} \cdot \sqrt{Q_0^H}$$

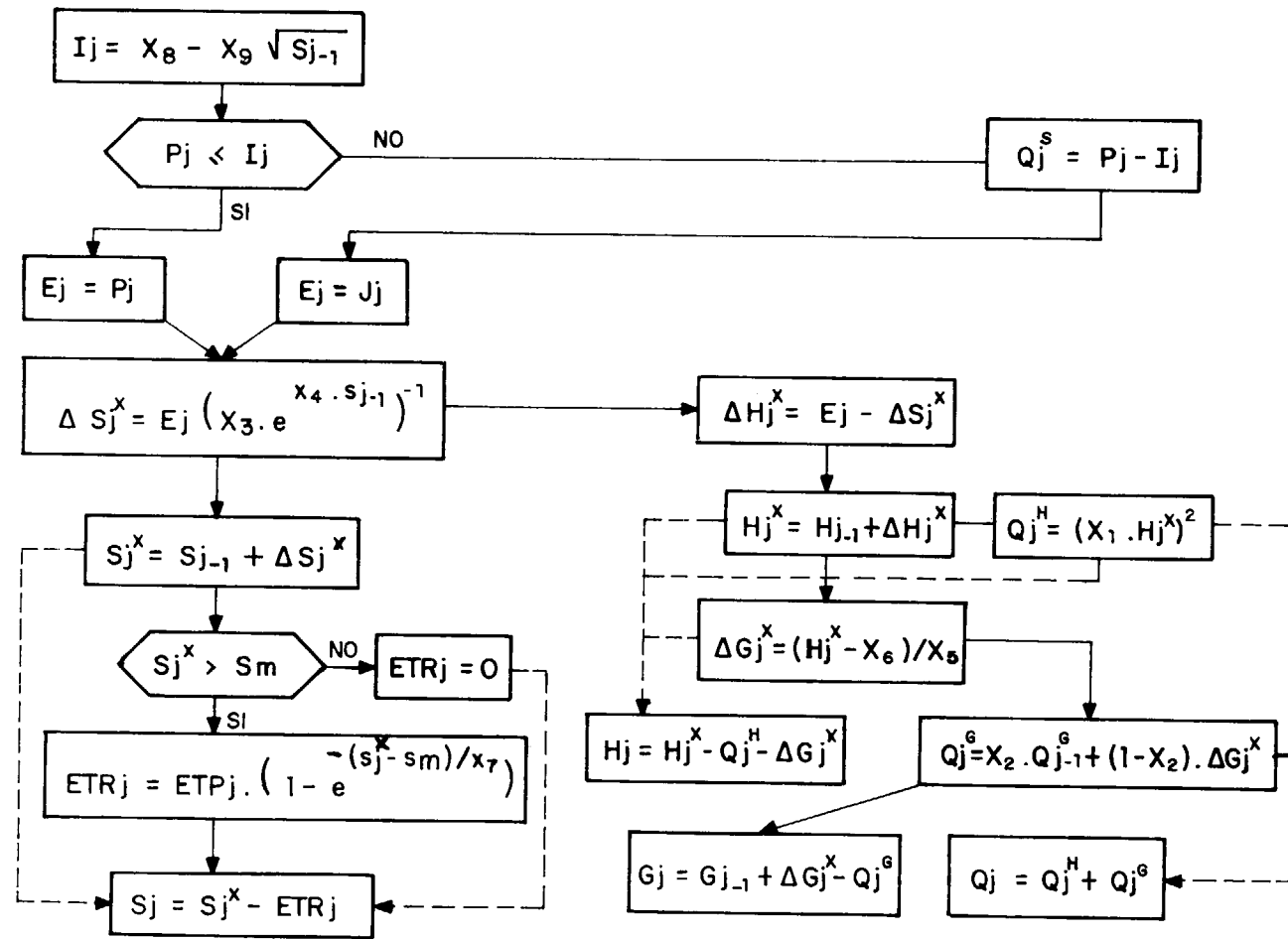
— Q_0^G . Determinará por el arranque inicial del hidrograma del manantial si en él se ha podido determinar el caudal laminar.

— G_0 . Este valor vendrá dado por la igualdad

$$G_0 = \frac{Q_0}{-\ln X_2}$$

Véase en el punto siguiente, sobre parámetros, la determinación de X_2 .

ORGANIGRAMA



d) Parámetros

Los parámetros utilizados son los siguientes:

Signatura	Denominación	Variación
En la producción:		
X ₈	Tope superior de infiltración superficial	X ₈ > 100
X ₉	Coficiente reductor de	X ₉ < 1
X ₇	Factor reductor exponencial ETP	0,01 < X ₇ < 100
X ₃	Factor reductor E _j	Alimentación de S } 0,001 < X ₃ < 1
X ₄	Factor reductor S	
En transferencias:		
X ₆	Nivel de percolación de H en S	0,001 < X ₆ < 30
X ₅	Factor reductor de percolación de H en G	1 < X ₅ < 30
X ₂	Vaciado del reservorio G	0,5 < X ₂ < 0,999
X ₁	Vaciado del reservorio H	0,001 < X ₁ < 0,999

Veamos cada uno de ellos en particular:

— X₉ y X₈. Para la capacidad de infiltración potencial del suelo. Basta con lo dicho en el punto 7.2.1.

— X₇. Factor reductor exponencial de ETP.

En la tabla del punto 7.2.2. se combinan valores de X₇ y S-S_m para obtener un valor reductor de la ETP. Antes será necesario determinar el valor de S₀ y S_m en función de los parámetros X₃ y X₄ (7.b.3) para eliminar la parte de esta tabla que corresponda a S < S₀.

Nótese que este coeficiente reductor (Cr) disminuye al aumentar X₇ o, al revés, la ETR aumenta al disminuir X₇.

— X₃ y X₄. Alimentación del reservorio S.

Estos parámetros determinan S₀ (ver punto 7.b.3) y S_m.

La función $\Delta S_j^X = E_j \cdot \frac{1}{X_3} \cdot e^{-X_4 \cdot S_{j-1}}$ nos dice que:

a) La variación de ΔS_j^X respecto a X₃ es lineal inversa, y así, por ejemplo al duplicar X₃ se reduce a la mitad ΔS_j^X .

b) La variación de ΔS_j^X respecto a X₄ es exponencial inversa, y así, por ejemplo, si se duplica X₄ el factor reductor F_r queda elevado al cuadrado (pasaría, por ejemplo, de 0,4 a 0,16).

— Producción. Sería interesante, en esta fase de producción, examinar el coeficiente de infiltración de la simulación, o sea,

$$C. I. = \sum \Delta H_j^X / \sum E_j,$$

coeficiente del que ya se tiene idea sobre su valor. De acuerdo con este contraste, proceder en consecuencia.

— X₆. Es el nivel mínimo del reservorio H para que haya percolación al reservorio G. Puede variar entre 0,01 y 30, según el espesor de la capa H y su estructura.

Si el régimen turbulento desaparece rápidamente, ello indica que el valor de X₆ es pequeño.

— X₅. Factor reductor de la percolación de H en G y representa la fracción de H_j, que saldrá para G por unidad de tiempo, y está relacio-

nado con la velocidad de filtrado de la capa H por unidad de presión. Puede oscilar entre 1 y 30, según la regularidad del manantial.

Si se observasen retrasos de llegada al exutorio en la simulación respecto al hidrograma real, se pondría un valor más pequeño. Y al revés.

— X₂. Vaciado del reservorio G. Su valor teórico es:

$$X_2 = e^{-\alpha}$$

siendo α el coeficiente de agotamiento del manantial. Este sería el caso de que dicho manantial sólo tuviese una curva de agotamiento y el resto del caudal fuese turbulento. Por ello se considerará más bien la desigualdad

$$X_2 \leq e^{-\alpha}$$

Su valor puede variar entre 0,5 y 0,999.

— X₁. Vaciado del reservorio H.

En el punto 9.a. se explica su significado y puede variar entre 0,001 y 0,99.

— Transferencias. Sería interesante analizar si en el hidrograma del manantial se detectan los dos tipos de caudales aquí considerados, el turbulento de reacción rápida a la lluvia (Q_{j^H}) y el básico (Q_{j^G}), y en caso de discrepancia con la simulación, introducir las modificaciones que procedan a estos cuatro parámetros.

e) Precisión de los resultados

Se puede adoptar alguna medida sobre la precisión de los distintos calibrados, como, por ejemplo, el error cuadrático standar o desviación media entre los caudales reales y los simulados.

4. APLICACION DEL MODELO CREC AL MANANTIAL DE LA GALIANA

Se ofrece la aplicación del modelo CREC al acuífero del río Ucero que registra dos circunstancias especiales. Una estructural, ya que este acuífero kárstico ofrece la particularidad por la que aunque la recarga global sobre su cuenca está originada solamente por la lluvia, la circulación del agua no sólo es subterránea, sino que den-

tro de su cuenca hay surgencias que originan pequeños cauces superficiales, que vuelven a infiltrarse. La otra afecta al período de datos disponibles, que comienzan en febrero de 1989, después de varios meses de sequía, y con un caudal excepcionalmente bajo, y terminan a primeros de agosto, después de una primavera con pluviometría más bien alta. Esta circunstancia ha originado el que parte de las entradas se hayan destinado a incrementar el reservorio del acuífero, hecho que pone de manifiesto el modelo, ya que proporciona los niveles freáticos de las tres capas que en él se consideran.

4.1. DATOS DE ENTRADA PARA LA SIMULACION

Estos datos de entrada se reducen a series diarias, para las tres variables siguientes: Pluviometría, Evaporación potencial y Caudales aforados, y se expresan en mm., como una capa extendida sobre los 344 kilómetros cuadrados que abarca la cuenca.

Ellos presentan dos particularidades que no podemos dejar de reseñar: Una se refiere a la amplitud del período de tiempo considerado, desde el 1 de febrero hasta el 8 de agosto de 1989, o sea, algo más de medio año; sin embargo, para la estabilidad del modelo, con los parámetros aceptados para el acuífero, se considera prudente el tratamiento de períodos más largos, hasta de cuatro años; no disponiendo de más información que la utilizada, estos resultados habremos de calificarlos como provisionales.

La otra se refiere a la calidad de los datos y que incide también en el calificativo de provisionales, dado los resultados. No se tiene seguridad de que los aforos del manantial, deducidos a través de una escala y con una curva de gastos apoyada en pocos puntos, reflejen con buena aproximación la realidad. Los datos de evaporación potencial, si bien son fiables, corresponden a la estación meteorológica de Soria capital, situada a unos 50 kilómetros del acuífero. Finalmente, para los datos de pluviometría, los de enero han sido estimados con los de estaciones fuera del acuífero y para el resto se han tomado los de una sola estación, la situada en San Leonardo de Yagüe. Se cree que una extensión tan

grande de la cuenca del acuífero (344 kilómetros cuadrados) exige más puntos de observación.

Estos han sido los datos disponibles y, no obstante, a pesar de la brevedad del período y de desconocerse la fiabilidad de los datos, los resultados, como veremos en el punto siguiente, merecen el calificativo de aceptables. Hasta es posible que algunas discrepancias puedan tener su origen más bien en los datos que en los parámetros aceptados para el acuífero.

4.2. RESULTADOS

En el gráfico adjunto (fig. 9) se reflejan los datos de pluviometría y caudales aforados, así como los caudales simulados por el modelo CREC. La similitud de las dos gráficas de caudales es bastante aceptable, y las discrepancias pueden ser atribuidas, en gran parte, a inexactitud de los datos, como, por ejemplo, la estimación que se hizo de la pluviometría en los días finales de enero, en base a registros alejados de la zona.

Valores iniciales y parámetros

Después de varios tanteos de aproximación, se han adoptado como más representativos los siguientes valores para los datos iniciales y para los parámetros:

Valores iniciales (en 31 de enero de 1989):

- G_0 (nivel del reservorio G), 10 mm.
- H_0 (nivel del reservorio H), 2 mm.
- S_0 (nivel del reservorio S), 250 mm.
- S_m (nivel de marchitez en S), 230 mm.
- Q_0^G (caudal laminar de G), 0,075 mm.

Parámetros CREC del acuífero:

- X_1 (vaciado turbulento del reservorio H), 0,022.
- X_2 (vaciado laminar del reservorio G), 0,99.

Alimentación del reservorio S:

- X_3 (factor reductor de E), 0,01.
- X_4 (factor reductor de S), 0,02.
- X_5 (factor reductor de percolación de H en G), 20.
- X_6 (tope de percolación de H en G), 2.
- X_7 (factor reductor exponencial de ETP), 10.
- X_8 (tope superior de infiltración superficial), 100.
- X_9 (coeficiente reductor de \sqrt{S}), 1.

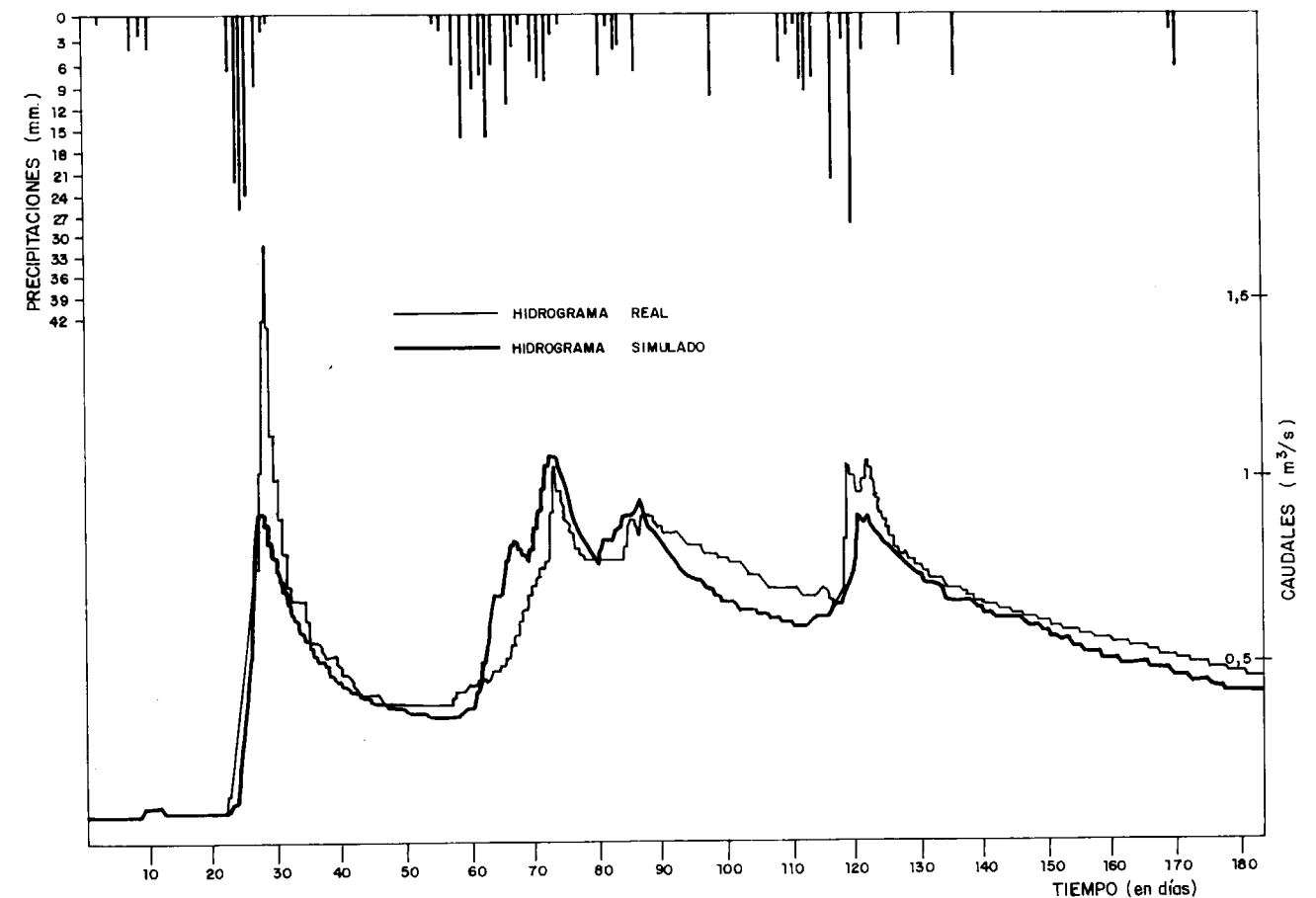


Figura 9.—Hidrograma real y simulado del nacedero de La Galiana.

Respecto a los valores iniciales se hacen las siguientes precisiones: el manantial funcionaba en régimen de agotamiento después de una prolongada sequía. Con el hidrograma del manantial se calculó α y en base a él y a Q_0^G se calculó G_0 . Teniendo en cuenta esta sequía precedente y la fecha del año, se puso $H_0 = X_6$.

Después de calcular los parámetros X_3 y X_4 se dedujo

$$S_m = -\ln X_3/X_4 \quad \text{y} \quad S_0 > S_m$$

y respecto a los parámetros las siguientes:

Interesó en los primeros tanteos fijar los parámetros X_3 y X_4 para que se obtuviese un coeficiente de infiltración que estuviese en consonancia con la suma de caudales aforados más la variación de existencias en los reservorios H y G, principalmente el G, por su mayor volumen,

y que podía inferirse en base a Q_0^G , Q_F^G y α . Esto también orientó en la aproximación del parámetro X_7 .

El parámetro X_2 se tomó ligeramente superior a $e^{-\alpha}$, y para el X_1 se tuvo en cuenta el desglose que se hizo sobre el hidrograma de lo que podía corresponder a caudal laminar y turbulento, según las llegadas ΔH al reservorio H. Este mismo hecho, junto con los retrasos en la reacción del manantial a la pluviometría, orientó en la fijación del parámetro X_5 y del X_6 .

Los parámetros X_8 y X_9 se fijaron para eliminar la escorrentía superficial, ya que ésta era nula.

ANALISIS DE RESULTADOS

Analicemos por partes los resultados obtenidos:

a) Fase de producción (en el reservorio S)

Esta fase ha dado el siguiente balance para todo el período considerado:

Concepto	mm.	Hm ³	%
Entradas:			
Pluviometría	430,0	147,9	100,0
Salidas:			
Evapotranspiración	292,0	100,4	67,9
Alimentación			
reservorio H	141,2	48,6	32,8
Nivel reservorio S	-3,2	-1,1	-0,7

El coeficiente medio de infiltración para todo el período (primavera y parte de invierno y verano) ha sido del 32,8 por 100. Queda un 67,9 por 100 de la pluviometría que se ha evapotranspirado, menos un 0,7 por 100 de descenso en el reservorio S.

El reservorio S (nivel de humedad del suelo) que comenzó con 250 mm. acabó el 8 de agosto con 246,8 mm., o sea 3,2 mm. inferior, después de haber pasado por un máximo de 294,9 mm. el 27 de febrero coincidiendo con unas lluvias intensas y alcanzando el punto de marchitez (230 mm.) durante 26 días de julio que no llovió.

La evapotranspiración real, que durante el período ascendió a 292,0 mm., alcanzó su punto máximo diario el 7 de agosto, que tomó el valor de 7,7 mm. a continuación de una fuerte lluvia.

b) Fase de transferencia

El balance de los reservorios H y G para todo el período considerado fue así:

Concepto	mm.	Hm ³	%
En H (no saturado)			
Entradas:			
Procedentes de S.	141,2	48,6	100,0
Salidas:			
Caudal turbulento	26,5	9,1	18,8
Alimentación			
reservorio G	112,1	38,6	79,4
Incremento nivel de H ...	2,6	0,9	1,8
En G (saturado)			
Entradas procedentes			
de H	112,1	38,6	100,0
Salidas:			
Caudal laminar	77,3	26,6	69,0
Incremento nivel G	34,8	12,0	31,0

En la capa no saturada (reservorio H) entraron durante todo el período 141,2 mm. de agua, de los cuales el 18,8 por 100 salieron de ella como caudal turbulento y el 79,4 por 100 percoló en el el manto acuífero. Este reservorio se inició con un nivel de 2 mm. y terminó con 4,6 mm., pues aunque en el mes de julio su nivel descendió por debajo de los 3 mm. unas lluvias de primeros de agosto originaron una pequeña subida. Alcanzó su nivel máximo (45,5 mm.) el 28 de febrero, como consecuencia de unas fuertes lluvias precedentes. Por supuesto que en el día anterior alcanzó también su máximo el caudal turbulento, caudal que durante 4 días llegó a superar al laminar básico. Este caudal turbulento fue prácticamente nulo en la primera semana de enero y febrero, y durante todo el mes de julio.

De los 112,1 mm. de agua que entraron en el manto acuífero durante todo el período sólo el 69 por 100 de los mismos salieron de él por el exutorio. El 31 por 100 restante se destinó a incrementar el stock de dicho reservorio, que pasó de un nivel inicial de 10 mm. a otro final de 44,8 mm., cifras éstas que están en proporción con los caudales inicial y final, ya que en ambas fechas el manantial funcionaba en régimen de agotamiento. Es de destacar este significativo incremento en el nivel del reservorio G, que ascendió a 34,8 mm., y que está en consonancia con la circunstancia que se comenzó el control después de una prolongada sequía y se terminó mes y medio después de una primavera con lluvias altas. El nivel de este reservorio alcanzó sus cotas más altas durante el mes de junio, donde hay varios días que se superan los 68 mm. A finales de abril se superó los 60 mm., y ya no descendió de este nivel hasta el 9 de julio. El coeficiente de agotamiento toma el valor de $\alpha = 0,01$ (día)⁻¹.

c) Balance general

Este balance en todo el período puede presentarse así:

Concepto	mm.	Hm ³	%
Pluviometría	430	147,9	100,0
EVR	292	100,4	67,9
Caudal turbulento	26,5	9,1	6,2
Caudal laminar	77,3	26,6	18,0
Incremento reservorios ...	34,2	11,8	7,9

De él destacaremos, además del fuerte incremento de los reservorios ya comentados, el que de un total de 103,8 mm. evacuados por el manantial durante el período, aproximadamente el 25 por 100 corresponde a aportaciones del depósito H en forma de caudal turbulento, y el 75 por 100 restante proviene del reservorio G en forma de caudal laminar. Esta alta participación del caudal turbulento no debe interpretarse como característica del manantial en períodos largos, sino como su reacción a las circunstancias pluviométricas de estos seis meses, que incluyen una primavera de lluvias más altas que lo normal. Téngase en cuenta que las salidas del reservorio H muestran una menor proporción del caudal turbulento con relación a las efectuadas al manto acuífero, ya que este caudal supone un 18,8 por 100 respecto al total salidas.

En el hidrograma de la figura 9 puede observarse cierto retraso en la reacción del manantial a las recargas por las lluvias, retraso que oscila alrededor de los cinco días.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos dejar constancia de nuestro agradecimiento al personal del Parque Natural del Cañón del río Lobos, así como a su director, don José Lara, por el apoyo prestado en la realización de las pruebas con trazadores. Agradecemos igualmente al Gabinete de Aplicaciones Nucleares del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas y

Urbanismo) por habernos facilitado el material necesario para la ejecución de dichas experiencias.

REFERENCIAS

- CANDIL GONZALO, Y., y LOPEZ VILCHEZ, L. (1979): *Estudio hidrogeológico del Cretácico situado entre Santa María de las Hoyas y el Alto de Peña Cruz (Soria)*. Jornadas Minero-Metalúrgicas, pp. 99-119. Huelva.
- CORMARY, Y., et GUILBOT, A. (1969): *Modèles déterministes de relation pluie-débit sur la Sioula*. Note 30/69 Laboratoire D'hydrologie Montpellier/EDF/LNH. Rapport DGRST núm. 30, 35 pages, 26 planches.
- GDALIA, L. (1980): *Application d'un modelo matemático conceptual a plusieurs aquiferes karstiques de la bordure mediterranneene française*. Academ. de Montpellier.
- GUILBOT, A. (1975): *Modélisation des écoulements d'un aquifère karstique (liaisons pluie-débit)*. Application aux bassins de Saugras et du Lez. Thèse d'Université, USTL Montpellier, 110 pages.
- HERNANZ LOPEZ, A., y NAVARRO LATORRE, J. M. (1973): *La Cueva de La Galiana, Uclero (Soria)*. Revista Celtiberia (C.E.S.), núm. 19, pp. 87-92.
- KIRKHAM, D., y FENG, C. L. (1949): *Some tests of the diffusion theory and laws of capillary flow in soils*. Soil Sci., 67, 29-40.
- KOSTIAKOV, A. N. (1932): *On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from dynamic point of view for purposes of amelioration*. Trans. t. h. Comm. Int. Soc. Soil. Sci. Russian Pt. A-15-21.
- PHILIP, J. R. (1957): *The theory of infiltration: the infiltration equation and its solution*. Soil Sci., 83, 395-357.
- Original recibido: Noviembre de 1991.
Original aceptado: Diciembre de 1991.

ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES

Análisis químico de sepiolitas por espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo.

Por A. VERGARA PARDEIRO (*) y F. J. VALLE FUENTES (**)

RESUMEN

Mediante espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP - AES) se analizan constituyentes mayores y menores en una muestra de sepiolita. El material se solubiliza siguiendo dos procedimientos: I) Vía seca, disgregación con LiBO_2 en crisoles de Pt. II) Vía húmeda, ataque con $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{HCl}$ en reactores de teflón a presión elevada. Previamente a las determinaciones, se lleva a cabo: i) Estudio de interferencias espectrales. ii) Optimización de parámetros instrumentales. iii) Fijación de los rangos de concentración idóneos para establecer las curvas de calibrado. La bondad de la metodología propuesta se evalúa: a) Realizando los ensayos de precisión a corto plazo de tiempo y de precisión del método. b) Comparando los resultados encontrados por esta técnica con los obtenidos por fluorescencia de rayos X (FRX) y absorción atómica (AA).

Palabras clave: Análisis químico, ICP-AES, Sepiolita.

ABSTRACT

The major and minor constituents in a sample of sepiolite have been determined by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES). Two decomposition routes have been used: I) Fusion with LiBO_2 in a platinum crucible. II) Decomposition with $\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{HCl}$ in a PTFE-lined pressure vessel. Previously to the determinations, the following experimentation were performed: i) spectral interferences. ii) optimization of parameters instrumentales. iii) concentration ranges of the calibration curves. The methodology presented has proved: a) studying of short-time precision and method precision. b) comparing the results with the ones obtained by XRF and FAAS.

Key words: Chemical analysis, ICP-AES, Sepiolite.

1. INTRODUCCION

Desde prácticamente su inicio como técnicas instrumentales, la absorción atómica (AA) y la fluorescencia de rayos X (FRX) se asentaron como procedimientos de análisis rutinario de materiales geológicos (1-4). Sin embargo, de todos es conocido las limitaciones que presenta la primera en lo concerniente a: cortos rangos de linealidad, interferencias químicas y tiempos de análisis prolongados; y los problemas que surgen con la segunda respecto a influencia de la matriz y escasa sensibilidad para la determinación de elementos ligeros, aspecto este último

que ha mejorado sensiblemente con el empleo de nuevos cristales analizadores y detectores en los espectrómetros.

En la actualidad, el análisis multielemental de materiales geológicos tiende a encauzarse hacia la espectrometría de plasma generado por inducción (ICP) (5-7), merced a las ventajas de esta técnica en lo referente a versatilidad, bajos límites de detección, amplio intervalo de respuesta lineal frente a la concentración y rapidez en la ejecución de los análisis.

En otro orden, el campo de la cerámica ha adquirido en la última década una importancia inusitada por las crecientes aplicaciones de sus materiales (8). Paralelamente a este crecimiento, ha surgido la necesidad de controlar convenientemente las materias primas naturales y artificiales utilizadas en su fabricación (9). Como parte muy importante de este control, y en la parcela correspondiente a la determinación de la composición química, el ICP ha demostrado ser un arma valiosa por las ventajas anteriormente expuestas (10-11).

Las arcillas sepiolíticas son materias primas naturales con una amplia aplicación industrial (12-13). Gracias a su baja densidad y a su alta superficie específica, se utilizan como absorbentes, filtrantes, purificadoras de líquidos y gases, etcétera. En cerámica su uso ha adquirido últimamente un notable desarrollo por la posibilidad de su aprovechamiento integral obteniéndose SiO_2 y MgO (14-15) y por su participación en la formulación de composiciones que dan lugar a cordierita (16).

Geológicamente, este tipo de arcillas se presenta en forma de estratos en las cuencas endorreicas y se han originado por precipitación directa o por alteración de otros minerales, especialmente serpentina (17). Suele estar acompañada por niveles diferentes de illitas, esmectitas, serpentina, magnesita, ópalo, calcita y dolomita (18). Si se tiene en cuenta la fórmula atómica de la unidad estructural más simple de sepiolita: $\text{Si}_{12}\text{O}_{30}(\text{OH})_{10}\text{H}_8\text{Mg}_6\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ y la naturaleza química de los posibles acompañantes se podrá deducir que un análisis químico de rutina de estos ma-

teriales deberá comprender la determinación de los siguientes nueve elementos expresados como óxidos: SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , MnO y TiO_2 . El análisis se completará con la pérdida por calcinación a 1000°C y la cuantificación de F^- , ión este último, que entra en la estructura de la sepiolita en porcentaje variable sustituyendo isomórficamente al O^- .

En el presente trabajo se pretende establecer una metodología de análisis por ICP de los óxidos expuestos anteriormente. Con el fin de mejorar la precisión de los análisis, el procedimiento a seguir será el del patrón interno utilizando como tal el Be. El estudio se completará comparando los resultados obtenidos por ICP con los aportados por FRX y AA, técnicas ambas ya aplicadas en los laboratorios del ITGE para el análisis de sepiolitas.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. INSTRUMENTACION

Se ha utilizado un espectrómetro TJA-300 de la firma Jarrell-Ash. El equipo viene provisto de un doble monocromador que permite medir simultáneamente la emisión del analito y del patrón interno. Sus características, y las condiciones experimentales de trabajo, se ofrecen en las Tablas I y II respectivamente.

TABLA I
Características del equipo

<i>Fuente de plasma</i>	
Generador de R. F.	Linn ES-750
Frecuencia	27.12 MHz
Potencia nominal	2000 w
Potencia utilizada	900-1600 w
Potencia reflejada	<5 w
<i>Monocromador</i>	
Montaje	Ebert
Distancia focal	330-165 mm ⁻¹
Red de difracción	1200 líneas mm ⁻¹
Dispersión lineal recíproca	1.2 nm. mm ⁻¹ (1.º orden)
Poder de resolución	0.02 nm. (2.º orden)
Anchura rendijas entrada-salida	20 µm.
Altura rendijas entrada-salida	5 µm.
Rango espectral	190-900 nm.
<i>Fotomultiplicador</i>	Hamamatsu R-995
<i>Microprocesador</i>	Intel 8080A con 60 Kbytes de memoria central y programado en FORTH

(*) Instituto Tecnológico Geominero de España.

(**) Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC).

TABLA II
Condiciones operatorias

Antorcha	Fija de cuarzo con inyector de alúmina
Nebulizador	Neumático. Tipo «cross-flow»
Cámara de premezcla	Polipropileno
Bomba peristáltica	Minipul de diez rodillos. Caudal de solución de 1 a 2 ml. min ⁻¹
Flujo de Ar generador del plasma	18 l. min ⁻¹
Flujo de Ar auxiliar	0.5 l. min ⁻¹
Flujo de Ar de nebulización	0.6 l. min ⁻¹
Caudal de agua de refrigeración	700 ml. min ⁻¹
Tiempo de medida	3 integraciones de 10 s.

2.2. MUESTRA Y SU CARACTERIZACION

La muestra analizada procede del yacimiento situado en Vallecas (Madrid) y ha sido obtenido molturando y cuarteando, sucesivamente, 500 kilogramos de material original hasta conseguir

250 g. de un todo uno representativo con una granulometría inferior a 0,325 mm.

Su composición mineralógica y su comportamiento térmico se visualizan en las figuras 1 y 2 respectivamente.

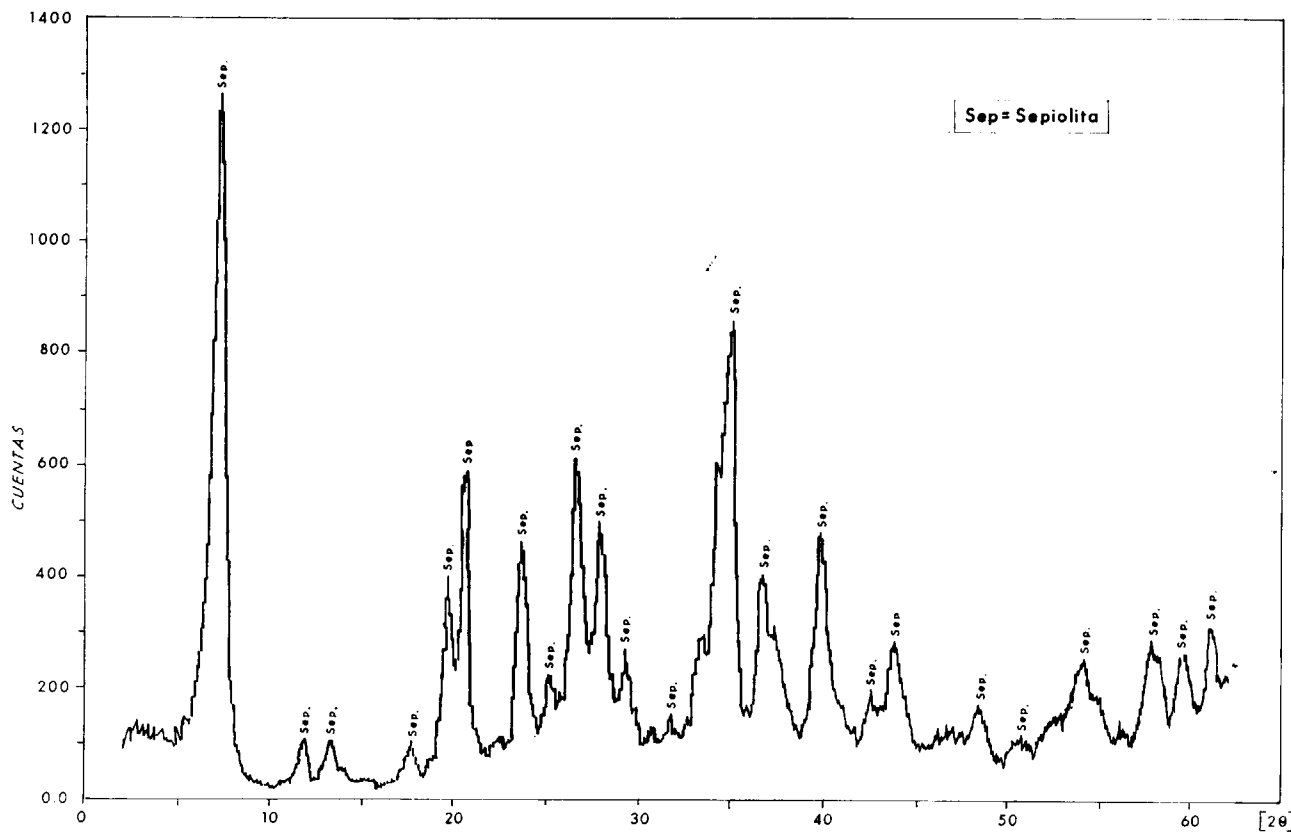


Figura 1.—Diffractograma de la sepiolita.

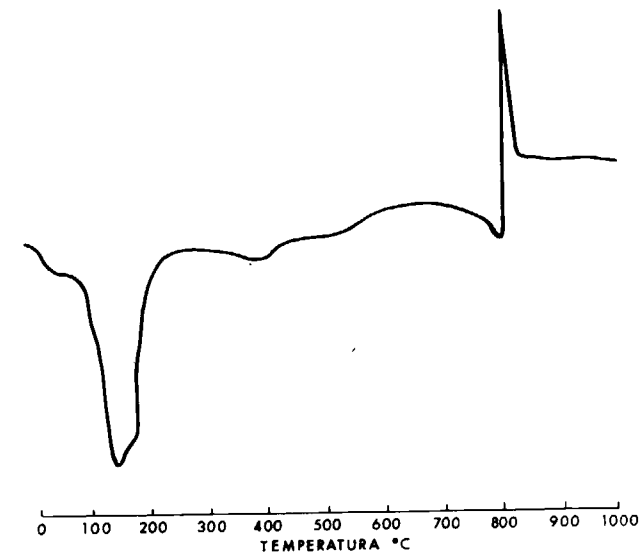


Figura 2.—Curva de análisis térmico diferencial de la muestra objeto de estudio.

Por lo que concierne a mineralogía, el difractograma representado en la figura 1 se corresponde con el de un material de elevado grado de pureza, ya que en el mismo no se observan ninguna de las reflexiones de las especies mineralógicas que normalmente acompañan a las sepiolitas de origen sedimentario y de las que se ha dado noticia anteriormente.

El comportamiento térmico de la muestra también incide en la alta pureza del material. La curva de análisis térmico diferencial (ATD) presenta tres efectos endotérmicos (150, 390 y 800°C) y un pico exotérmico (830°C) que siguiendo la bibliografía (19) deben ser atribuidos a:

150°C) Pérdida de agua absorbida.

390°C) Pérdida de agua de constitución.

800°C) Formación de una fase cristalina poco ordenada (protoenstatita).

830°C) Nucleación de la enstatita (MgSiO₃).

2.3. PUESTA EN SOLUCION

Como paso previo, los 250 g. del material se han pulverizado en mortero de carburo de wolframio hasta conseguir pasarlos por la malla de 60 μm. y se han secado en estufa a 80°C durante doce horas.

Dos han sido los procedimientos utilizados en la puesta en solución de la muestra.

a) Descomposición con HF y agua regia

Una toma de muestra de 0,2500 g. se ha introducido en un reactor de teflón junto con 1 ml. de agua regia y 5 ml. de HF concentrado. El ataque completo del material ha requerido, manteniendo el reactor cerrado, un tiempo de 45 minutos y una temperatura exterior de 120°C. Finalizado el proceso de digestión, y ya en frío, se ha agregado al resultado del ataque 25 ml. de solución saturada de H₃BO₃. El conjunto se ha mezclado y se ha trasladado a un matraz de polietileno donde se ha aforado a 250 ml. con agua destilada.

b) Fusión con LiBO₂

Un peso de muestra, igual a la anterior, mezclada con 1,25 g. de LiBO₂, se ha fundido en un crisol de grafito de 60 ml. de capacidad (Gelter, calidad EK-50 Ringsdorf). La fusión se ha efectuado en mufla a 950°C durante veinte minutos. Transcurrido ese tiempo, el fundido se ha colado en un vaso conteniendo 100 ml. de HNO₃ 1:24. La fritada que se forma se solubiliza mediante agitación magnética y la solución resultante se lleva a 250 ml. en un matraz aforado de vidrio.

2.4. PREPARACION DE PATRONES PARA LA CALIBRACION

En la preparación de patrones se ha partido de soluciones de reserva de los distintos analitos con una concentración de 1g l⁻¹. Dichas soluciones, exceptuando la de Si, se han obtenido diluyendo en un volumen conveniente el contenido de los correspondientes viales de la firma Riedel de Haën. En el caso del Si, se ha partido de una arena de cuarzo lavada con una pureza en SiO₂ superior al 99,9 por 100, que se ha puesto en solución por los dos procedimientos seguidos en el ataque de las muestras.

Con las anteriores soluciones de reserva y empleando los blancos de reactivos se han preparado los patrones multielementales utilizados en el calibrado de los componentes mayoritarios y minoritarios. A todos ellos, así como a las muestras, se les ha añadido el volumen pertinente de

una solución de 1000 mg l⁻¹ para conseguir una concentración final de este elemento (patrón interno) de 6 µg. ml⁻¹.

La composición de los patrones queda reflejada en la Tabla III.

Paralelamente, y con el fin de llevar a cabo el

estudio de interferencias se ha dispuesto, por cada elemento presente, de dos standard individuales con una concentración igual a la que figura en los patrones de alta y de baja empleados en el calibrado de los componentes minoritarios. Los primeros para actuar como interferentes y los segundos como analitos.

TABLA III
Concentración de los patrones multielementales de calibración para el análisis de sepiolitas en µg ml⁻¹

Componentes mayoritarios (para muestra diluida 1 : 10)	Patrón de alta: Si(30)+Mg(20)
	Patrón de baja: Si(20)+Mg(10)
Componentes minoritarios (*) (para muestras sin diluir)	Patrón de alta: Ca(20)+Al(20)+Fe(5)+ +K(5)+Na(2)+Mn(2)+Ti(2)
	Patrón de baja: Ca(1)+Al(1)+Fe(0.5)+ +K(0.5)+Na(0.2)+Mn(0.1)+Ti(0.1)

(*) Estos patrones contienen, además, 250 µg. ml⁻¹ de Si, 150 µg. ml⁻¹ de Mg para compensar el efecto matriz.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. INTERFERENCIAS ESPECTRALES

La escasa complejidad composicional de las sepiolitas y el excelente poder de resolución de los monocromadores de los equipos de ICP, hace que los problemas de interferencias espectrales sean mínimos en este tipo de materiales.

Por otra parte, el nivel de concentración relativamente elevado de los diferentes analitos permite sustituir las líneas más sensibles por otras de menor sensibilidad cuando las primeras se encuentran interferidas. Tal ocurre con la emisión del Ca situada a 393.366 nm., que se encuentra solapada con la 393.360 nm. del Fe y que ha sido sustituida por la situada a 442.673 nm., que no presenta interferencias.

Líneas próximas a las seleccionadas de los analitos y que han sido recogidas de la bibliografía (17), como son:

251.625 nm. y 251.657 nm. del Fe a la 251.612 nm. del Si

396.114 nm. del Fe a la 396.152 nm. del Al
766.430 nm. del Fe a la 766.490 nm. del K
257.574 nm. del Fe a la 257.10 nm. del Mn

no llegan a producir solapamientos en las condiciones en que se ha realizado el trabajo. En las figuras 3 y 4, como ejemplo, pueden visualizarse los entornos de longitudes de onda correspondientes a las del Si y Mn.

Concluido el estudio de interferencias, las líneas analíticas elegidas y sus correspondientes límites de detección se ofrecen en la tabla IV.

3.2. OPTIMIZACION DE PARAMETROS INSTRUMENTALES

Antes de llevar a cabo el análisis se ha efectuado, para los diferentes analitos, la optimización de cuatro parámetros instrumentales que destacan por su incidencia sobre la relación pico-fondo de las correspondientes emisiones espectrales.

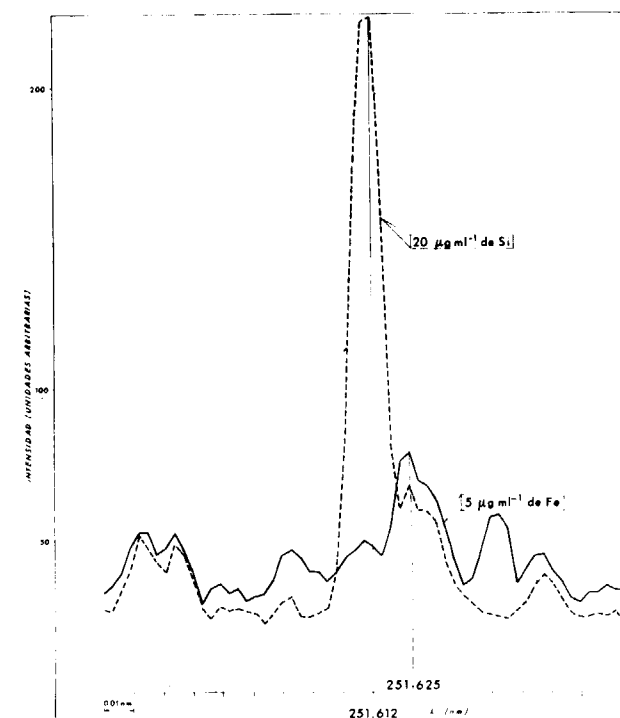


Figura 3.—Barridos espectrales en el entorno de la línea 251.611 nm. del Si.

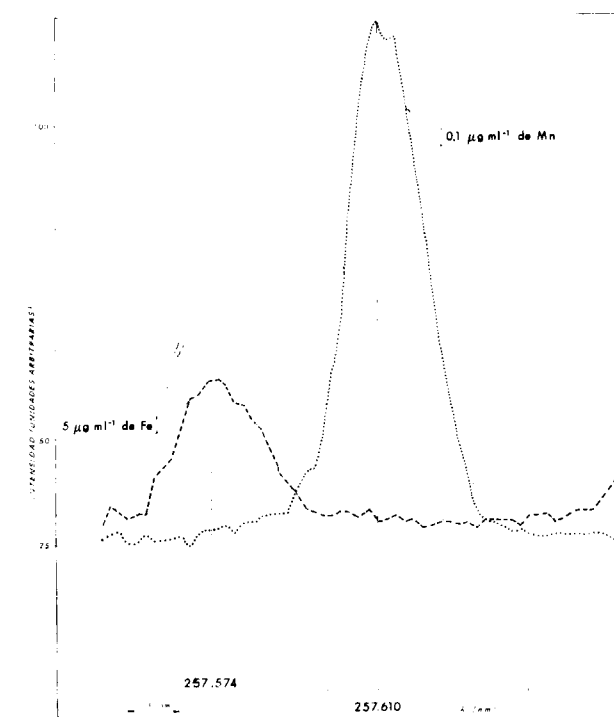


Figura 4.—Barridos espectrales en el entorno de la línea 257.610 nm. del Mn.

- Potencia inducida.
- Altura de observación de la señal contada a partir de la última espira de la bobina inductora.
- Presión de funcionamiento del nebulizador.
- Caudal de aspiración de la muestra.

Una vez optimizados los parámetros para cada elemento, y en aras a obtener mayor rapidez en los análisis, se ha tomado por parámetro un valor de compromiso que resulte aceptable en un análisis multielemental. La Tabla V recoge los valores de los parámetros optimizados.

Con las condiciones de trabajo anteriormente expuestas y los flujos de gases fijados en la Tabla II se han conseguido los siguientes rangos de respuesta lineal: 400 mg l⁻¹ en el Si, Na y K; 350 mg l⁻¹ en el Al; 300 mg l⁻¹ en el Mg; 250 mg l⁻¹ en el Ca; 100 mg l⁻¹ en el Fe y el Ti y 50 mg l⁻¹ en el Mn. La concentración de los patrones preparados para el análisis se encuentra siempre comprendida dentro de estos rangos.

3.3. PRECISION DE LOS ANALISIS

Se ha realizado un estudio de la precisión a corto plazo de tiempo y de la precisión del método cuyos resultados se ofrecen en la Tabla VI. En la primera, el coeficiente de variación (desviación estándar relativa) corresponde a diez lecturas seguidas de una misma solución de la muestra, y en la segunda, el coeficiente de variación está referido a los resultados producidos con diez tomas de muestra diferente.

La pobre precisión a corto plazo de tiempo encontrada para el Na y K, si se compara con la de otros elementos presentes en concentración semejante, se debe al compromiso de haber escogido unas condiciones de trabajo respecto a altura de observación de la señal, presión de funcionamiento del nebulizador y caudal de aspiración de la muestra que se alejan sustancialmente de los ideales en el análisis de estos elementos.

Mejores precisiones a corto plazo de tiempo, en general, se alcanzan cuando la muestra se ataca por digestión ácida.

La precisión del método disminuye, evidentemente,

TABLA IV
Líneas analíticas

Elemento	λ (nm.)	LD* (ng. ml ⁻¹)	Elemento	λ (nm.)	LD* (ng. ml ⁻¹)
Si (I)	251.611	10	Na (I)	588.995	19
Al (I)	396.152	10	K (I)	766.490	45
Mg (I)	383.826	40	Mn (II)	257.610	1
Ca (I)	422.673	10	Ti (II)	334.941	2.5
Fe (II)	238.204	3	Be (II)	313.042	

(*) Datos obtenidos en el equipo con soluciones monoelementales en agua bidestilada. Criterio (2σ) del ruido de fondo.

TABLA V
Parámetros optimizados

Elemento	Análisis monoelemental			
	W (w)	h (mm.)	P (Psi)	C. (ml min ⁻¹)
Si	1200	14	25	1
Al	1200	14	25	1
Mg	1200	16	28	1
Ca	1200	12	24	1
Fe	1200	18	25	1
Na	1000	10	45	2
K	1000	7	45	2
Mn	1200	18	25	1
Ti	1100	20	25	1
Be	1200	16	25	1
(*)	1000	11	40	1.5

(*) Condiciones de compromiso en el análisis multielemental.

TABLA VI
Estudio de la precisión a corto plazo y de la precisión del método

Componente	$CV = \frac{100 \sigma}{\bar{X}}$			
	Precisión a corto plazo. Digestión ácida (%)	Precisión a corto plazo. Fus. con LiBO ₂ (%)	Precisión del método. Digestión ácida (%)	Precisión del método. Fus. con LiBO ₂ (%)
SiO ₂	0.28	0.45	1.10	1.86
Al ₂ O ₃	1.94	2.34	3.58	3.91
MgO	0.58	0.89	1.69	2.11
CaO	2.40	2.40	4.20	4.90
Fe ₂ O ₃	1.53	1.80	2.75	3.16
Na ₂ O	9.60	10.30	11.70	10.75
K ₂ O	6.75	6.60	6.94	7.25
MnO	3.19	3.51	4.10	4.49
TiO ₂	2.50	3.10	3.68	3.90

te, respecto a la encontrada a corto plazo al estar influenciada, además de por los factores que afectan a aquélla, por la pesada, disolución y tiempo empleado en el análisis de las 10 tomas de muestra.

3.4. COMPARACION DE RESULTADOS

Al no tener composición certificada la sepiolita, los resultados obtenidos por ICP se han comparado con los conseguidos por FRX y AA.

Respecto a la preparación de la muestra para estas dos últimas técnicas es preciso decir:

— En AA han sido las soluciones procedentes del ataque ácido utilizadas en ICP, las analizadas.

— En FRX se han preparado «perlas» fundiendo a 1.000°C, en crisoles de Pt-Au, 0,5 g. de sepiolita y 5,5 g. de Li₂B₄O₇ anhidro.

Los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla VII.

TABLA VII
Comparación de resultados por ICP, FRX y AA

Componente	ICP (%)	FRX (%)	AA (%)
SiO ₂	61.64 ± 0.35	61.21 ± 0.30	62.10 ± 1.20
Al ₂ O ₃	1.20 ± 0.05	1.39 ± 0.04	1.47 ± 0.08
MgO	23.82 ± 0.28	24.06 ± 0.18	23.64 ± 0.43
CaO	0.33 ± 0.02	0.38 ± 0.03	0.36 ± 0.05
Fe ₂ O ₃	0.55 ± 0.02	0.55 ± 0.03	0.55 ± 0.05
Na ₂ O	0.060 ± 0.012		0.050 ± 0.004
K ₂ O	0.34 ± 0.05	0.46 ± 0.02	0.43 ± 0.03
MnO	0.047 ± 0.003	0.040 ± 0.004	0.040 ± 0.006
TiO ₂	0.076 ± 0.004	0.078 ± 0.004	

Los porcentajes de óxidos ofrecidos en la Tabla VII se refieren a muestras analizadas por duplicado. El error que aparece a su derecha es el correspondiente al doble de la desviación estándar (σ) de diez lecturas de una de ellas. Estadísticamente, al aplicar a los datos la citada fluctuación quedan avalados con un margen de confianza del 95 por 100, en lo que a precisión a corto plazo se refiere.

Los resultados obtenidos por ICP y FRX vienen afectados por un nivel de error semejante, mientras que los de AA son los menos precisos. En conjunto, todos los resultados son aceptables.

En cuanto a versatilidad, el ICP ha sido la técnica más versátil, ya que sólo ella ha permitido analizar, con garantía, los nueve componentes al nivel de concentración que se encuentran presentes en la muestra. Esta circunstancia acredita el procedimiento puesto a punto como válido para el control analítico de sepiolitas.

La composición global de la muestra completada con los datos de pérdida por calcinación (10,55 por 100) y fluoruros (1,20 por 100), este último obtenido por potenciometría, conduce a un porcentaje total de 99,81 por 100 que confirma la bondad del análisis realizado.

REFERENCIAS

- LANGMYHR, F. J., and PAUS, P. E. (1968): Anal. Chim. Acta, 43, 397.
- ANGINO, E. E., and BILLINGS, G. K. (1972): *Atomic Absorption Spectrometry in Geology*, Elsevier, Amsterdam.
- ROSE, H.; CUTTITA, F., y LARSON, R. R. (1965): U. S. Geol. Surv., 525 B, 155.
- GABIS, V.; LAGACHE, M., and SICHERE, M. (1967): Gr. franc. Argiles, 19, 23.
- WATSON, A. E., and RUSSELL, G. M. (1977): ICP Information Newsllett, 3, 273.

6. GOVINDARAJU, K., and MEVELLE, G. (1983): Spectrochim. Acta, 38B, 1447.
7. GOLIGHTLY, D. W.; SMITH, B. L., and DORRZAPF, F. J. (1989): Talanta, 36, 299.
8. MOYA, J. S. (1985): Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr., 24, 15.
9. DEBRAS-GUEDON, J. (1979): Bull. Soc. Fr. Cerám., 29, 123.
10. VALLE, F. J., y BARBA, M. F. (1987): Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr., 26, 39.
11. FARIÑAS, J. C., y VALLE, F. J. (1987): An. Quím., 83B, 1987.
12. ROBERTSON, R. H. S. (1957): Chem. and Ind., 16, 1492.
13. CHAMBERS, G. P. C. (1957): Silic. Ind., 24, 181.
14. GONZALEZ, L.; IBARRA, L. M., y RODRIGUEZ, A. (1984): Clay Minerals, 19, 93.
15. DIAZ, G. C., y VALLE, F. J. (1989): Rev. Soc. Quím. Mex., 28, 54.
16. DE AZA, S., y PENA, P. (1989): Comunicación Privada.
17. KEELING, P. S. (1936): Mineralogical Magazine, 31, 328.
18. GALAN, E., y MIRETE, S. (1979): *Introducción a los minerales de España*. Serv. Public. Ministerio de Industria, Madrid.
19. FERNANDEZ ALVAREZ, T. (1979): Bol. Soc. Esp. Cerám. 9, 377.

Original recibido: Enero de 1992.

Original aceptado: Febrero de 1992.

Comportamiento térmico de una muestra de eflorescencia. Seguimiento de la formación del $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ por DRX.

Por E. GONZALEZ MINGUELA (*), J. A. MARTIN RUBI (*) y F. J. VALLE FUENTES (**)

RESUMEN

El seguimiento de la formación del $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ que se produce durante el tratamiento térmico de una muestra de eflorescencia, constituida por starkeyita ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) fundamentalmente, se lleva a cabo mediante análisis cuantitativo por DRX. El método utilizado ha sido el de KLUG y ALEXANDER. Los patrones se han preparado mezclando una matriz de cuarzo, anhidrita y fluorita con $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ en contenidos que van del 7.5 al 37.5 por 100. La curva de calibrado obtenida presenta un coeficiente de regresión de 0.9984 y una desviación standard de 0.469. La precisión del método, expresada como coeficiente de variación en muestra analizada por quintuplicado, oscila entre 1.52 y 0.72 para el material tratado a 300 y 700° C, respectivamente. En el entorno de esta última temperatura se produce la máxima formación de la sal doble.

Palabras clave: Eflorescencia, Starkeyita, $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$, DRX.

ABSTRACT

An investigation of the $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ formation produced by thermal treatment of an starkeyite eflorescence ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) has been carried out by quantitative XRD analysis. The KLUG and ALEXANDER method has been used for this study. Standards have been prepared by mixing quartz, anhydrite and fluorite with synthetic $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ in the 7.5-37.5 wt% range. The calibration curve shows a 0.9984 regression coefficient and a standard deviation of 0.469. The precision of method, expressed as relative standard deviation (RSD) on samples five times analysed varies between 1.52 and 0.72 for the material heat treated at 300 and 700° C respectively. In the range of this last temperature the maximum content of the double salt has been obtained.

Key words: Eflorescence, Starkeyite, $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$, XRD.

1. INTRODUCCION

Las eflorescencias son muy frecuentes en la naturaleza. Tienen su origen en la circulación de soluciones salinas a través de los poros de rocas y sedimentos que, con posterioridad y merced a procesos evaporíticos, precipitan sobre las superficies libres.

Su estudio puede resultar más o menos complejo en función del número de sales que entran a formar parte de su composición, del grado de hidratación de las mismas y de la existencia de

otras especies minerales procedentes del soporte que resultan difíciles de separar por procedimientos mecánicos. Concretamente, la presencia de diferentes grados de hidratación en alguno de los componentes dificulta la ejecución de su análisis químico por el solapamiento que tiene lugar entre el agua absorbida (humedad) y el agua de cristalización. El comportamiento anterior obliga a obtener un termograma de la muestra hasta temperaturas próximas a los 400° C, para establecer el escalón en que el material ofrece constancia de peso y referir los datos analíticos a una toma de muestra secada en ese intervalo de temperatura. En un trabajo precedente (1), donde los autores estudiaron la composición química

(*) Instituto Tecnológico Geominero de España.
(**) Instituto de Cerámica y Vidrio (CSIC).

de una eflorescencia recogida en un talud del río Arga en las proximidades de Peralta (Navarra), su análisis termogravimétrico (TG) indicó que la muestra no debía ser sometida a secado en estufa y, por tanto, fue colocada en un desecador con CaCl₂ hasta alcanzar constancia de peso. En la citada publicación también se decía, que el material conteniendo starkeyita (MgSO₄·4H₂O), como componente fundamental de la eflorescencia, y yeso, cuarzo, dolomita, magnesita, cloritas y moscovita como especies mineralógicas procedentes del soporte, al ser calentado por encima de los 300° C se transformaba parcialmente en CaSO₄·3MgSO₄.

El proceso de formación y la determinación cuantitativa de esta sal doble, en una eflorescencia de composición semejante a la anterior y extraída en un lugar adyacente del río, constituye el objetivo de este trabajo. Para alcanzarlo se ha acudido a la difracción de rayos X (DRX) en su doble vertiente, identificadora de fases y análisis cuantitativo de las mismas. Como técnica complementaria se ha empleado el análisis térmico diferencial (ATD), que ha permitido atribuir y discriminar en la muestra los efectos térmicos que producen el agua de cristalización del yeso y de la starkeyita (fases hidratadas de los componentes que intervienen en la formación de la sal doble).

2. ANTECEDENTES DEL CaSO₄·3MgSO₄

La existencia del CaSO₄·3MgSO₄ fue descubierta por J. J. ROWE et al. (2) dentro de una investigación para establecer el equilibrio de fases correspondientes al sistema K₂SO₄-MgSO₄-CaSO₄. En el subsistema MgSO₄-CaSO₄ dicha sal es la única composición que funde congruentemente (1201±4° C). Los autores prepararon el compuesto mezclando cantidades estequiométricas de CaSO₄ y MgSO₄ y calentando la mezcla en atmósfera de aire a una temperatura comprendida entre 750 y 850° C durante diez días. El seguimiento de la reacción lo efectuaron interrumpiendo intermitentemente el proceso y analizando el material por DRX hasta conseguir que estuviera exento de los componentes iniciales. Su existencia como compuesto definido la confirmaron con otros ensayos que realizaron en el sis-

tema ternario NaCl-CaSO₄-MgSO₄. Composiciones situadas sobre la línea de compatibilidad en estado sólido NaCl-CaSO₄·3MgSO₄ mostraron la presencia de NaCl+CaSO₄·3MgSO₄ exclusivamente, mientras que formulaciones más ricas en CaSO₄ dieron lugar a la formación de NaCl+CaSO₄·3MgSO₄+CaSO₄.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. APARATO

Difractómetro Philips modelo PW 1830 provisto de:

- Tubo vertical de cobre con una potencia máxima de 2.7 Kw.
- Monocromador de grafito de cristal curvo y rendija de divergencia automática.
- Goniómetro con un rago angular 2θ=0.005°-160° y una velocidad de barrido (2θ/s) comprendida entre 0.001° y 1.27°.
- Detector proporcional de Xe con posibilidad de medir hasta 500.000 cuentas/s sin saturarse.
- Miniordenador IBM modelo PS2 - 55SX-61 con «software» APD de Philips.

Las condiciones de trabajo en cuanto a características de radiación y excitación han sido las siguientes:

$$\text{Radiación de Cu } \left\{ \begin{array}{l} K\alpha = 1.54060 \text{ \AA} \\ K\alpha = 1.54439 \text{ \AA} \end{array} \right.$$

Excitación: 40 kV y 40 mA

3.2. CARACTERIZACION DE LA MUESTRA DE EFLORESCENCIA

La muestra ha sido caracterizada composicionalmente mediante análisis cualitativo de fases, análisis químico elemental y análisis racional. Los resultados obtenidos, así como las técnicas empleadas en su consecución, se ofrecen condensadas en la tabla I.

TABLA I
Composición de la eflorescencia

Análisis químico	Análisis cualitativo de fases por DRX	Análisis racional
Al ₂ O ₃ = 3.58% (Ab. Atómica)	Yeso	Yeso = 45.8±2.1%
SiO ₂ = 8.69% (Gravimetría)	Starkeyita	Starkeyita = 28.6±1.3%
Fe ₂ O ₃ = 1.12% (Ab. Atómica)	Halita	Halita = 1.5±0.2%
CaO = 16.19% (Complexometría)	Magnesita	Magnesita = 4.8±0.5%
MgO = 10.20% (Complexometría)	Dolomita	Dolomita = 3.9±0.6%
N ₂ O = 0.96% (Ab. Atómica)		
K ₂ O = 1.31% (Ab. Atómica)	α-Cuarzo	Esqueleto silicatado + geles de hierro = = 15.4±4.7%
SO ₃ = 32.06% (Gravimetría)	Cloritas	
CO ₂ = 4.56% (Gravimetría)	Moscovita	
Cl ⁻ = 0.92% (Potenciometría)		
Humedad + agua de cristalización + + agua de constitución = = 20.2% (Termogravimetría)		

3.3. SEGUIMIENTO DE LA TRANSFORMACION DE FASES DURANTE EL CALENTAMIENTO

Una cantidad aproximada de 60 g. de material eflorescente se ha colocado en una cápsula de platino y se ha sometido a sucesivos calentamientos entre 100 y 1.000° C durante dos horas cada uno. Las temperaturas y las pérdidas de peso originadas se contemplan en la tabla II.

TABLA II
Temperaturas y porcentajes de pérdida de peso en el proceso de calentamiento

Temperatura (°C)	Pérdida de peso
100	13.17
200	15.85
300	17.25
400	18.19
500	20.31
600	20.40
700	20.51
800	25.11
900	32.68
1.000	36.40

Finalizada cada etapa se han sustraído de la cápsula 5 g. de muestra para estudiar su mineralo-

gía y para analizar cuantitativamente el porcentaje de la fase CaSO₄·3MgSO₄. Respecto a su mineralogía, la tabla III refleja la composición del resultado de los diferentes tratamientos térmicos.

Los datos expuestos en la tabla III indican que la aparición y desaparición de las fases minerales es congruente con sus respectivas temperaturas de formación y descomposición.

Por lo que concierne a las fases estables a baja temperatura (yeso, basanita, starkeyita, MgSO₄·2H₂O y kieserita) lo expuesto en la tabla III guarda concordancia con los resultados de ATD, obtenidos por calorimetría diferencial en un equipo Perkin Elmer modelo DSC-7 y contemplados en la figura 1. Las diferencias encontradas hay que atribuir las a que el ATD es un ensayo dinámico, que se ha realizado con una velocidad de calentamiento de 10° C min⁻¹ en atmósfera de N₂, mientras que las fases recogidas en la tabla proceden de tratamientos térmicos de dos horas de duración. Experiencias realizadas por A. W. KRUSS et al. (3), F. PAULIK et al. (4) y L. TCHEICHVILII (5) confirman este aspecto, indicando que las temperaturas de deshidratación del yeso y de la starkeyita se encuentran muy influenciadas por la granulometría del material y por la velocidad de calentamiento, pudiendo variar en un entorno de hasta 100° C.

Respecto al CaSO₄·3MgSO₄ su presencia comien-

TABLA III

Especies minerales identificadas por DRX en los distintos tratamientos térmicos de la muestra

Temperatura de tratamiento (°C)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1.000
Yeso (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Basanita (CaSO ₄ ·1/2H ₂ O)	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
Anhidrita (CaSO ₄)	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+
MgSO ₄ ·2H ₂ O	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kieserita (MgSO ₄ ·H ₂ O)	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—
MgSO ₄	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—
CaSO ₄ ·3MgSO ₄	—	—	+	+	+	+	+	+	+	—
Cloritas	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
Magnesita (MgCO ₃)	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
α-Cuarzo	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Moscovita [KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(OH) ₂]	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
Dolomita [(Ca, Mg)CO ₃]	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—
Forsterita (MgSiO ₄)	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+
Akermanita (Ca ₂ MgSi ₂ O ₇)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+

(+) Presencia.
(-) Ausencia.

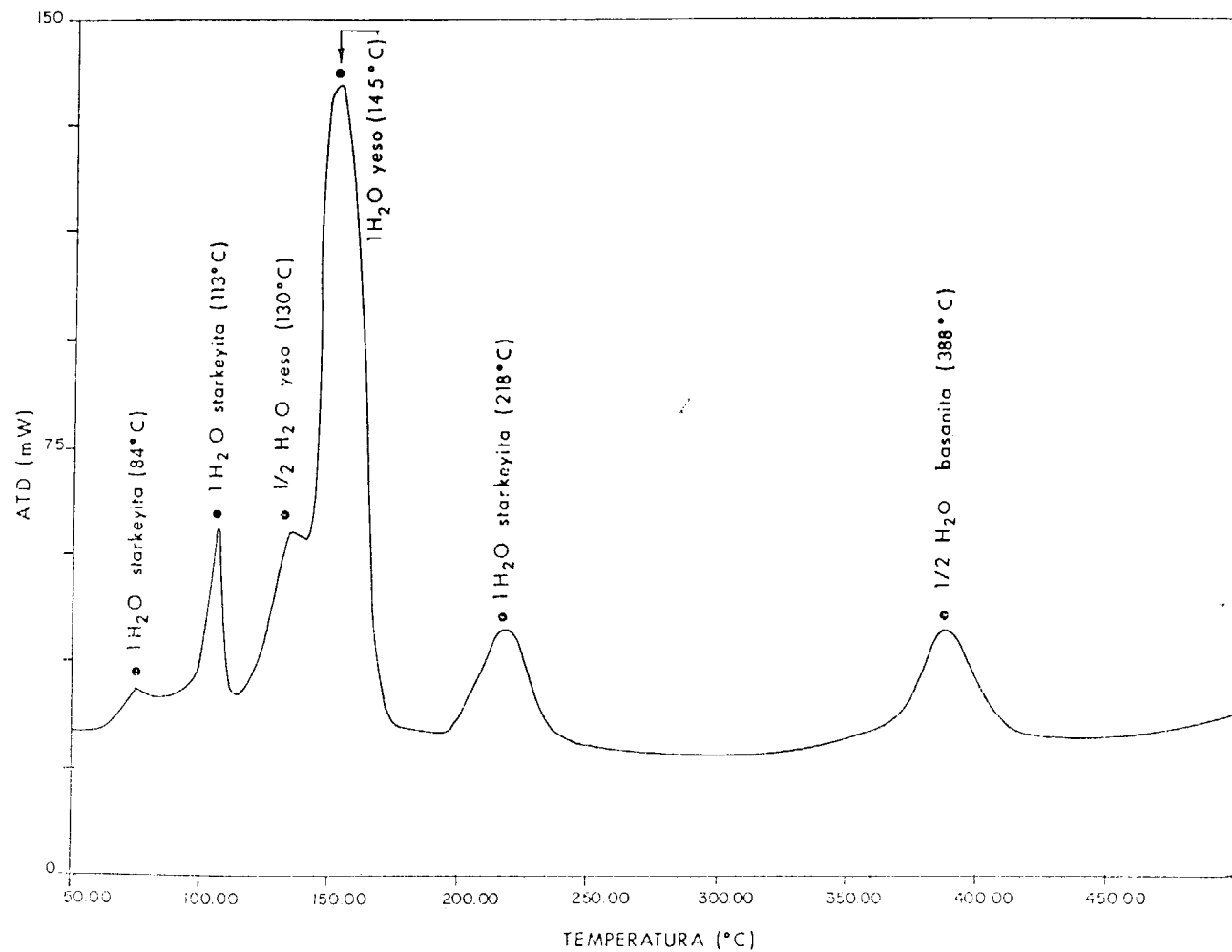


Figura 1.—ATD hasta 450° C del material eflorescente.

za a observarse en el difractograma del material calentado a 300° C, cuando las fases hidratadas del MgSO₄ han desaparecido totalmente y la basanita aún persiste. En los tratamientos llevados a cabo a 400, 500 y 600° C se ve que el CaSO₄·3MgSO₄ coexiste con las dos sales anhidras que lo conforman, mientras que a partir de 700° C sólo la anhidrita lo acompaña. El material calentado a esta temperatura es el que ha dado lugar a mayor porcentaje de sal doble, nivel que prácticamente se ha mantenido a 800° C y que ha disminuido bruscamente a 900° C por haberse iniciado la descomposición del MgSO₄. A 1.000° C el CaSO₄·3MgSO₄ ha desaparecido totalmente, incrementándose el porcentaje de anhidrita y surgiendo las fases de forsterita (900° C) y akermanita, estas dos últimas como producto de reacción del cuarzo del soporte con el CaO y el MgO procedentes de la descomposición de la dolomita y del MgSO₄.

El proceso evolutivo de la sal doble se visualiza en la figura 2, donde se representa la intensidad de la reflexión más importante de esta sal frente a la temperatura de calentamiento a que ha sido sometido el material. La curva ofrece dos hábitos diferentes:

Tramo A), de menor pendiente a temperaturas <700° C (proceso dominado por la cinética).

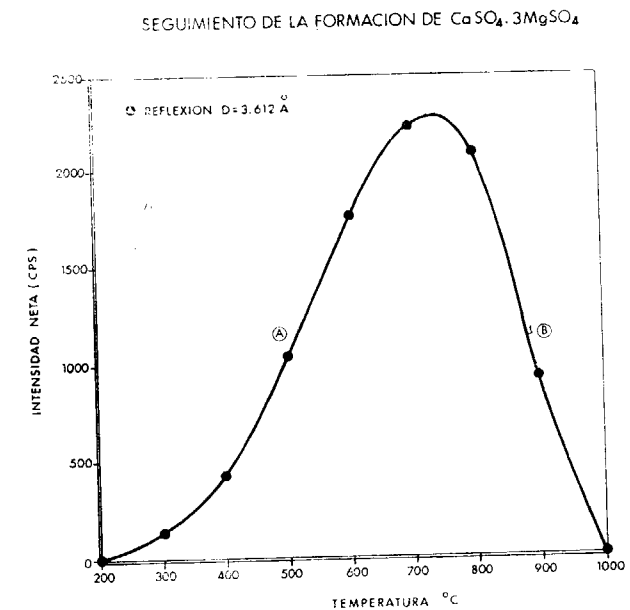


Figura 2.—Evolución del CaSO₄·3MgSO₄ con la temperatura.

Tramo B), de pendiente máxima a temperaturas >800° C (proceso dominado por el equilibrio).

3.4. ANALISIS CUANTITATIVO DEL CaSO₄·3MgSO₄ POR DRX

La cuantificación del CaSO₄·3MgSO₄ se ha abordado mediante la técnica de DRX empleando el método del patrón interno propuesto por H. P. KLUG y L. E. ALEXANDER (6) para materiales cristalinos presentados en forma de polvo.

El citado método, que preconiza la adición a muestras y a patrones de un peso constante de un compuesto cristalino, aplica un sencillo artificio matemático para eliminar el coeficiente de absorción másico total (μ_a) en la fórmula fundamental del análisis cuantitativo que relaciona

$$I_a = \frac{K_a X_a}{\sigma_a \mu_t}$$

este parámetro con la intensidad de la línea de difracción de la fase cristalina a analizar (I_a), con la concentración de dicha fase (X_a) y con su densidad (σ_a), quedando reducida a otra expresión de la forma X_a = K $\frac{I'_a}{I_p}$, donde la concentración de la fase problema sólo depende:

- de su intensidad de difracción referida al conjunto muestra + patrón interno
- de la intensidad de difracción correspondiente al patrón interno.

En la experimentación las difracciones medidas han sido: d=3.62 Å de la sal doble y d=1.93 Å de la fluorita (CaF₂).

3.4.1. Patrones

A la hora de su preparación se han tenido en cuenta tres factores: Fase a medir, matriz y patrón interno.

3.4.1.1. Fase a medir

El CaSO₄·3MgSO₄ se ha obtenido por el procedimiento descrito por ROWE (2). En esta ocasión

se ha mantenido el horno a una temperatura de 825° C durante los diez días que ha durado el calentamiento. La formación de la sal puede considerarse completa, como lo corrobora el difractograma de la figura 3, donde las reflexiones del CaSO₄ y del MgSO₄ han desaparecido totalmente.

3.4.1.2. Matriz

En la selección de la matriz se ha llegado a una solución de compromiso habida cuenta de la profunda variación que experimenta la composición mineralógica de la eflorescencia con la temperatura. La elección, efectuada a la vista de los resultados obtenidos en los distintos tratamientos térmicos a que ha sido sometida la muestra en el intervalo de estabilidad de la sal doble (300 a

900° C), ha recaído sobre una mezcla de anhidrita y cuarzo con una relación en peso de 3 : 1.

3.4.1.3. Patrón interno

Para este fin se ha contado con la fluorita (CaF₂) por considerarla idónea, ya que no tiene tendencia a producir orientaciones preferenciales y sus reflexiones nítidas no interfieren con la elegida para medir la intensidad de la fase problema.

3.4.1.4. Preparación

Los patrones se han preparado homogeneizando por vía seca cantidades prefijadas de sal doble, matriz y patrón interno. El porcentaje de sal doble y el peso de los productos empleados en su preparación quedan reflejados en la tabla IV.

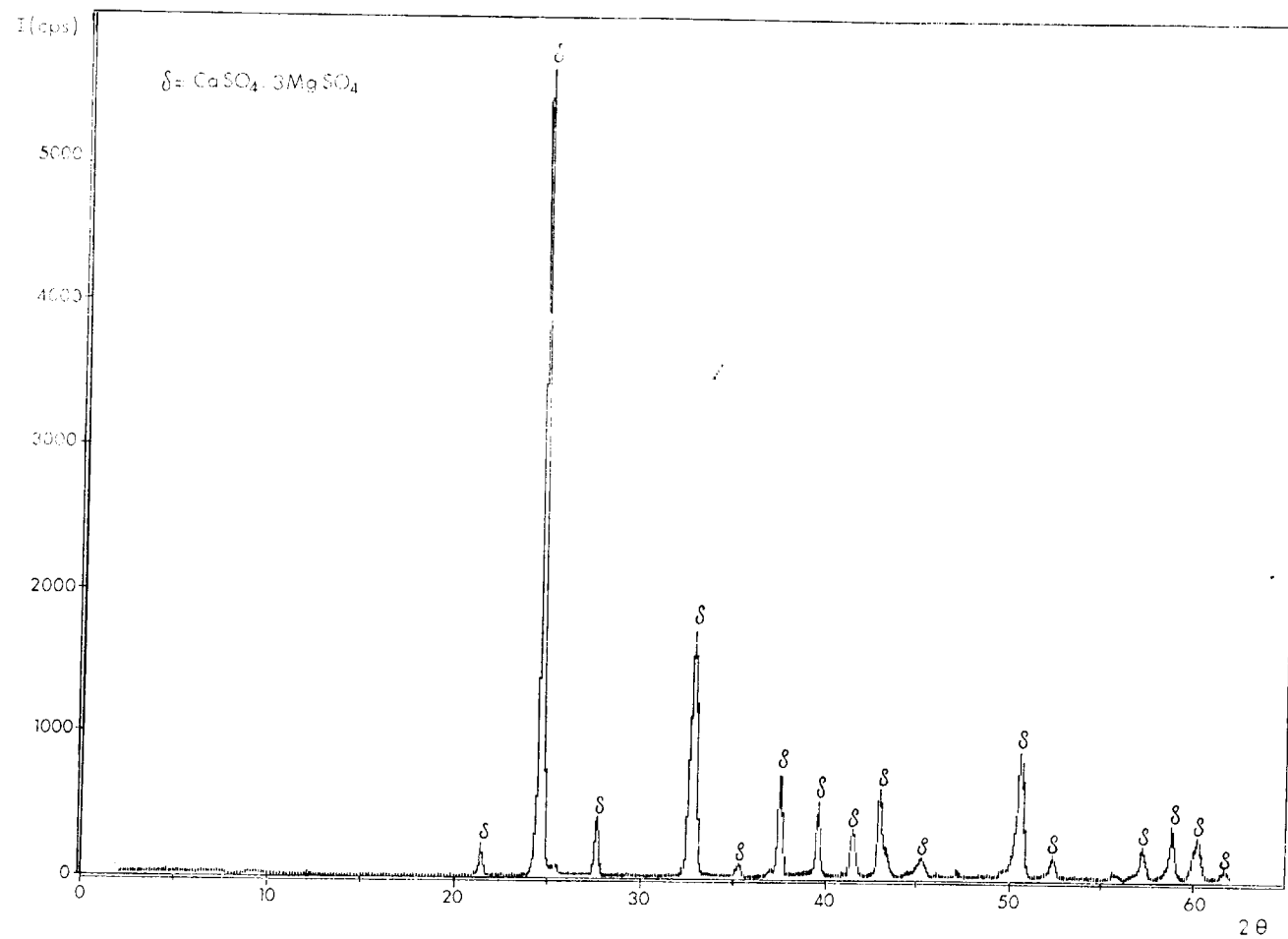


Figura 3.—Diffractograma de la sal doble preparada en el laboratorio.

TABLA IV
Composición de los patrones para el análisis de CaSO₄·3MgSO₄

Concentración de CaSO ₄ ·3MgSO ₄ (%)	CaSO ₄ ·3MgSO ₄ (g)	Matriz (g)	CaF ₂ (g)
7.5	0.075	0.675	0.250
15	0.150	0.600	0.250
22.5	0.225	0.525	0.250
30	0.300	0.450	0.250
37.5	0.375	0.375	0.250

3.4.2. Obtención de la curva de calibrado

La medida de la intensidad de las reflexiones elegidas se ha realizado operando de la siguiente manera: Utilizando el programa «búsqueda automática de picos», que proporciona el «software» del ordenador, se posiciona el goniómetro en el ángulo donde se produce la deflexión corrigiendo sus posibles fluctuaciones. Durante un tiempo de 50 segundos se mide la intensidad absoluta de pico. A continuación, el goniómetro se desplaza hasta una posición próxima (establecida con anterioridad a la vista del difractograma) y se mide el fondo durante 30 segundos. La intensidad neta de pico por unidad de tiempo vendrá dada por la expresión:

$$I_{NETA} = \frac{I_{PICO}}{t_{PICO}} - \frac{I_{FONDO}}{t_{FONDO}}$$

La figura 4 ofrece, en perspectiva, los difractogramas de cuatro de los cinco patrones de calibración. En la misma también aparecen reflejadas las posiciones donde se han medido pico y fondo en la sal doble y en el patrón interno.

Para efectuar el calibrado cada patrón se ha montado cinco veces en el mismo portamuestras. La curva obtenida, así como sus parámetros, se contemplan en la figura 5. La correspondencia lineal que se produce entre relación de intensidades de difracción y concentraciones da por válido el procedimiento seguido. Una visión previa del hábito del pico ($d=3.62 \text{ \AA}$) del CaSO₄·3MgSO₄ nos había decantado a la medida de la altura excluyendo la de su área.

3.4.3. Estudio de la precisión

Se ha efectuado un estudio de precisión del aná-

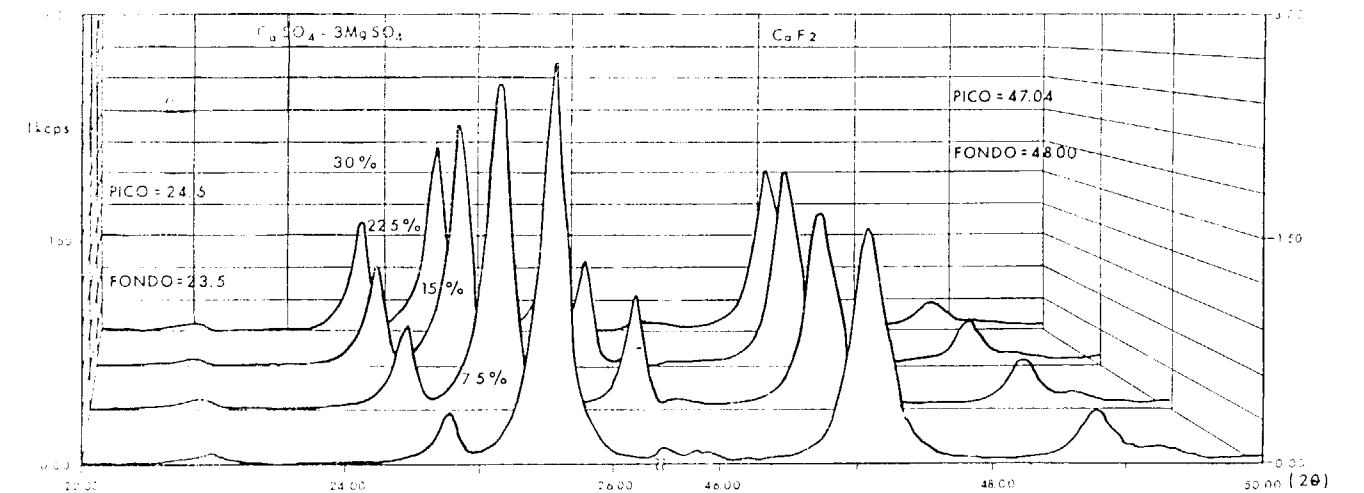


Figura 4.—Diffractogramas correspondientes a cuatro patrones de calibración representados en perspectiva.

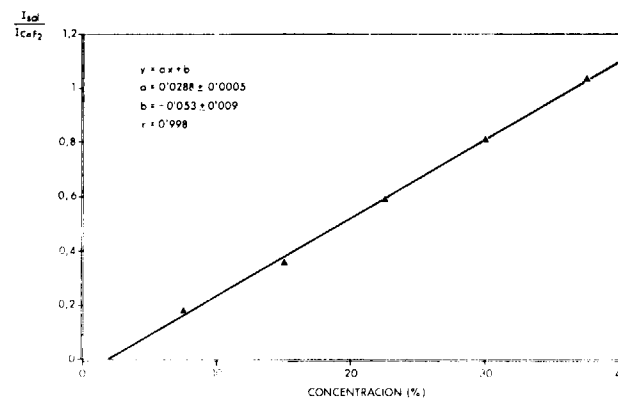


Figura 5.—Curva de calibración obtenida para el análisis de $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$.

lisis, circunscribiéndolo al patrón de 30 por 100 de sal doble que ha englobado:

- Precisión a corto plazo de tiempo I (10 medidas consecutivas en el difractómetro de $I_{\text{Muestra}}/I_{\text{p. interno}}$).
- Precisión a corto plazo de tiempo II (10 medidas de $I_{\text{Muestra}}/I_{\text{p. interno}}$ correspondientes al patrón montado en otros tantos portamuestras).
- Precisión del método (10 medidas de $I_{\text{Muestra}}/I_{\text{p. interno}}$ correspondientes a 10 muestras del patrón preparadas independientemente).

En la tabla V se reflejan los resultados obtenidos expresados en forma de coeficiente de variación (desviación standard relativa). El valor del coeficiente de variación (CV) en la precisión del método supera a los de precisión a corto plazo de tiempo, ya que el primero incluye, aparte de los errores debidos a la medida en el difractómetro y al cambio de portamuestras, los inherentes a la preparación de los patrones.

TABLA V

Precisión de resultados en el análisis del patrón de 30 por 100 de $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$

Ensayo	CV
Precisión a corto plazo I ...	0.63
Precisión a corto plazo II ...	1.28
Precisión del método ...	1.50

3.4.4. Análisis del $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ producido en los diferentes tratamientos térmicos de la muestra de eflorescencia

De cada una de las etapas del calentamiento descritas en 3.3. se han tomado, por quintuplicado, 0.75 g. de muestra. El producto se ha homogeneizado en seco con 0.25 g. de CaF_2 . El material así preparado se ha medido en las mismas condiciones experimentales que los patrones.

Los resultados de los análisis, corregidos respecto a la pérdida de peso que tiene lugar durante el calentamiento, se ofrecen en la tabla VI. Los CV que figuran en dicha tabla corresponden a la precisión de las cinco tomas de muestras analizadas.

La concentración de $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ proporcionada por la DRX (26.9 ± 0.72 por 100) en la muestra tratada a 700°C , temperatura a que tiene lugar la máxima formación de la sal, resulta concordante con el valor obtenido en el análisis racional (24.6 ± 2.5 por 100, tabla I) si se tiene en cuenta el nivel de exactitud atribuible a ambos procedimientos.

TABLA VI

Contenidos de $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ encontrados en los diversos tratamientos térmicos de la muestra de eflorescencia

Temperatura de tratamiento ($^\circ\text{C}$)	$\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ (%)	CV
300	3.09	1.52
400	6.28	1.46
500	13.18	1.19
600	26.07	1.07
700	26.90	0.72
800	24.03	0.90
900	9.92	1.10

4. CONCLUSION

La excelente linealidad de la curva de calibrado y la precisión conseguida en los análisis avalan a la DRX como una técnica idónea para abordar el análisis cuantativo de $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ en matrices de anhidrita-cuarzo.

REFERENCIAS

- 1.—MARTIN RUBI, J. A., y VALLE FUENTES, F. J. (1991): *Contribución de la DRX, ATD, TG y análisis racional al conocimiento de la composición química de una eflorescencia*. Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr., 30, 17.
- 2.—ROWE, J. J.; MOREY, G. W., and SILBER, G. G. (1967): *The ternary system $\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{MgSO}_4 - \text{CaSO}_4$* . J. Inorg. Nucl. Chem., 29, 925.
- 3.—KRUIS, A. W. (1962): *Ullmans Encyklopädie der technischen*. Band. 8, 107.

- 4.—PAULIK, F., and PAULIK, J. (1986): *Thermoanalytical examination under quasi-isothermal-quasi-isobaric conditions*. Thermochim. Acta, 100, 23.
- 5.—TCHEICHVILI, L. (1968): *Sobre la transformación de anhidrita natural en bihidrato*. Bol. Soc. Esp. Cerám., 7, 55.
- 6.—KLUG, H. P., y ALEXANDER, L. E. (1954): *X-Ray diffraction procedures*. Edit. John Wiley and Sons, New York, 410.

Original recibido: Noviembre de 1991.
Original aceptado: Enero de 1992.

INFORMACION

Contribución del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO al V Centenario

Las minas de cobre de Aroa a la luz de la relación de Manuel Gaytán de Torres, 1621.

Por F. URBANI (*)

1. INTRODUCCION

Las Minas de Aroa o de Cocorote fueron las más importantes de Venezuela desde los siglos XVII hasta mediados del siglo XIX, en especial por haber sido propiedad de la familia del Libertador Simón Bolívar. Fueron descubiertas en 1612 por don Alonso Sánchez de Oviedo, y de ahí en adelante sigue una intrincada red de puestas en explotación y abandono, pleitos jurídicos, terminando en 1974 cuando se decreta la creación de un Parque recreativo en los antiguos terrenos de las minas y bajo la jurisdicción del Instituto Nacional de Parques. Para aquellos que quieran profundizar sobre la historia de estas minas, pueden consultar la excelente obra de Paul VERNA (1975).

Además de las minas de cobre de Cocorote, a comienzos del siglo XVII se conocían las minas de La Grita, que fueron denunciadas en el año de 1608 por don Diego de Villanueva, Tesorero de la Real Hacienda (ARCILA, 1986: 162).

El principal objetivo de este trabajo es traer a la luz pública la Relación escrita por don Manuel Gaytán de Torres impresa en 1621, para ello se ensambla una cronología de los eventos en las minas de Aroa en la primera mitad del siglo XVII y se analizan los principales aportes de esta obra.

2. EL HALLAZGO DE LA «RELACION»

La Relación objeto de este trabajo no se conocía previamente en Venezuela y de hecho Paul VERNA (1975), el principal historiador de las minas de Aroa, señala la existencia de esta obra en base al acta del Cabildo de Caracas del 1 de junio de 1924 en que se menciona su existencia (**).

Sólo recientemente fue localizada por el autor en «The British Library», de Londres, bajo la cota C62i19(49). En realidad, causó dificultades, ya que a continuación de la portada estaba un impreso relacionado con Cuba, sin ninguna relación con Aroa y escrito por otros autores. Después de una minuciosa búsqueda por el personal de la Biblioteca, fue encontrado el texto bajo otra cota.

Esta Relación no es un manuscrito, sino un impreso, el primero conocido de una mina venezolana, el cual revela una nueva perspectiva sobre estas minas y la situación del país en general, así como de la geopolítica de la Corona española en el área del Caribe.

(*) U. C. V., Fac. Ingeniería, Dept. Geología, Caracas 1051, Venezuela.

(**) Obra reseñada con el núm. 992 en la Bibliografía Mineral Hispanoamericana de Eugenio MAFFEI Y RAMOS y Ramón RUA FIGUERAS. Madrid, 1871.

El impreso tiene 47 páginas y es de 20×28 cm., y aparece firmado en La Habana el 10 de junio de 1621.

Anexo a la Relación aparecen 5 páginas manuscritas del mismo don Manuel Gaytán de Torres, fechado en Madrid el 1 de noviembre de 1625. Este manuscrito está incompleto, ya que en la primera página que se conserva aparece la parte final de un «artículo tercero», de un total de seis. Es un memorial dirigido al Rey referente a: el traslado a España de la plata de las minas de México y de Potosí (Perú), las provisiones que hay que tomar para el movimiento más efectivo de la Armada en el Pacífico y su conexión con Portobelo (Panamá), el Caribe y el comercio que se maneja. Esta memoria incompleta está seguida de una nota también incompleta, en la que se indica a cinco personas que habían sido comisionadas para evaluar el memorial, pero falta la resolución que tomaron.

3. UNA CRONOLOGIA

En esta sección se presenta una cronología de los eventos relacionados con las minas en las primeras tres décadas del siglo XVII. Para su redacción nos hemos basado en gran parte en VERNA (1975), del cual se toman párrafos enteros sin ser citados específicamente, pero adicionalmente se integran datos de otras fuentes en cuyo caso sí se indican expresamente. También se incluye la información contenida en la Relación de don Manuel Gaytán de Torres, con lo cual se mejora sustancialmente el conocimiento de lo acaecido en estas minas.

— Una Cédula Real del 21 de agosto de 1663, indica que las minas fueron descubiertas por don Alonso Sánchez de Oviedo en 1605. Sin embargo, en uno de los más antiguos documentos conocidos, que lleva la fecha del 28 de febrero de 1615, don García Girón dice que «la mina de este metal ha sido descubierta tres años ha», colocando al descubrimiento en 1612. VERNA (1975: 23) considera como más probable el descubrimiento en el año de 1612, razonando que si hubiera sido en 1605 el gobernador de turno hubiera comunicado la noticia al Rey.

— El 6 de febrero de 1613 el gobernador don García Girón confirma una comunicación anterior suya al Rey sobre el mismo tema del descubrimiento de las minas de Cocorote: «He avisado de una mina muy rica de metal de cobre que se ha descubierto a 8 leguas de Barquisimeto, y la Sierra donde está dicha mina (es la) de Cocorote. He enviado a la Casa de Contratación de Sevilla el metal que he hecho fundir y la piedra, para que allí se labre la fundición. Yo lo he hecho aquí y rinde a la mitad de un metal tan lindo y tan acendrado que es cosa que admira, y hay grandísima cantidad de él. Esta mina (se encuentra a) 20 leguas del mar en esta costa, (es) muy fácil sacar (el metal) a puerto y llevarlo

a Cartagena para hacer artillería; y a Su Majestad le será de gran utilidad y provecho y que mande beneficiarlo por su cuenta. Suplico a Vuestra Majestad que esfuerce el Consejo (y) me avise de lo que ha de hacer en estos particulares» (GIRON, 1613, 1969; VERNA, 1975: 24-25).

— El 20 de mayo de 1613, el Gobernador García Girón, aún más entusiasmado, somete al Rey su plan económico:

«Tengo avisado como en esta provincia, a cuarenta leguas de esta ciudad y a seis de la de Barquisimeto, se ha descubierto una mina de cobre que rinde más de la mitad y que hay tan grande (cantidad) de metal cuanto no sabré significar. Es tan dulce y tan fácil de fundir que pone admiración a todos los que lo entienden. Esta mina está en un cerro que llaman Cocorote, a diez y ocho leguas del mar (de) un puerto que llaman Borburata desde el cual hasta la ciudad de Cartagena hay cinco días escasos de navegación. Sabiendo yo como soldado que la Real Corona de Vuestra Majestad tiene necesidad de artillería, no hallo de a donde se puedan labrar mejores y con más facilidad que de esta parte, pues siendo Vuestra Majestad servido que se labre esta mina, se puede bajar el metal al mar y pueden venir los galeones o los patajes de la armada a cojerlo y llevarlo a Cartagena. Todo esto he dicho para dar a entender en lo tocante a la mina.

Ahora diré lo tocante al poco gasto que Vuestra Majestad puede tener en labrarla, y que labrándola se enriquecerá esta provincia, la cual está falta de todo comercio y correspondencia por la poca moneda que en ella hay y no haber ninguna de vellón (moneda de cobre); y siendo Vuestra Majestad servido de darme licencia para que se labrasen, hasta ochenta y cien mil ducados de ella para toda esta provincia, se sacaría de la mina el cobre para labrar la moneda. A los oficiales y peones que trabajasen, se les pagaría con ella y se podría ir labrando la mina con el resto de la cantidad de ducados que se acuñasen. Si hay esta moneda, va corriendo entre todos los vecinos y van vendiendo sus frutos y haciendo dinero con que pagar a Vuestra Majestad lo que se debe.

Siendo Vuestra Majestad servido que se labre la moneda serán necesarias dos cosas: que V. M. mande que vengán de la Casa de la Moneda de Sevilla dos oficiales, y que se labre con diferente cuño de la moneda que hay en las islas de Santo Domingo y Puerto Rico, para que sea la moneda más alta de precio y que no la puedan sacar ni llevarla a esa islas.

Este es el último remedio que hallo para que V. M. cobre lo que se le debe y para que esta Provincia se ayude en algo: y es arbitrio de donde Vuestra Majestad viene aprovecharse de cien mil ducados de moneda labrada y a que con más facilidad se cobre lo que a

Vuestra Majestad se le debe y por que esta mina de tan bueno y fino metal de bronce, se labre de a donde Vuestra Majestad puede sacar tan buena artillería. Guarde Dios la Católica Real Persona de Vuestra Majestad como la Cristiandad ha de menester de Venezuela. A 20 de mayo de 1613. García Girón» (VERNA, 1975: 25-26).

- En 1615 el descubridor de las minas, don Alonso Sánchez de Oviedo, ordena el levantamiento de las primeras casas que formarían el campamento minero o Real de Minas de Cocorote.
- Hasta 1615 García Girón no parece haber recibido contestación alguna acerca de las proposiciones y sugerencias que hizo sobre las minas. Entonces escribe de nuevo al Rey el 28 de febrero de 1615:

«Yo me he desvelado en pensar qué arbitrio dar para que se cobren (los 100.000 ducados que los vecinos de la Gobernación de Venezuela le deben a la Corona) y no hallo otro sino uno, que es dar Vuestra Majestad licencia para que se labren cien mil ducados de moneda de vellón; de a donde se sigue grandes efectos el cobrar Vuestra Majestad lo que se le debe y el meter en la Real Caja estos cien mil ducados, y el alentarse los vasallos de V. M. que están en esta provincia a tener trato y comercio con los vecinos. Esta moneda de vellón se ha de labrar de la mina de metal de cobre que tengo avisado a Vuestra Majestad, se ha descubierto tres años ha en términos de Nueva Segovia de Barquisimeto, lugar de esta Gobernación; (de) la cual se podrá Vuestra Majestad servirse de hacerla esta merced sin sacar un real de su Real Caja, porque con lo que se fuere labrando se ha de ir pagando materiales y peones.

Suplico a Vuestra Majestad se considere esto apiadándose de estos pobres vecinos. Y más al presente con una plaga de langostas que les destruye los sembrados y labranzas, con que se padece más de lo que sabré encarecer. Yo hago las humanas diligencias para que no falte el maíz, tanto para los españoles como para los naturales indios; (con) esta plaga ha sido Dios servido (para que) acuda más a las estancias y términos de esta ciudad, con tan infinita críazon que aunque ha salido y salgo a menudo al campo no se ha podido mediar. Desde afuera de la gobernación, por mar y tierra hago traer el maíz necesario, animando a los vecinos y ayudándoles a llevar sus trabajos. De los cuales siendo Vuestra Majestar servido le podrá sacar de ellos, (si) manda hacer esta moneda de vellón con que quedarán desempeñados y Vuestra Majestad pagado en su Caja Real, cuya vida Nuestro Señor alargue felices años con más reinos y señoríos como la cristiandad ha menester. En Santiago de León, 28 de febrero de 1615. Don García Girón».

- Esa vez García Girón sí logró ocupar la atención del Rey y del Consejo de Indias, con sus proyectos de

explotar las minas y acuñar la moneda de vellón. El asunto fue discutido en reunión del Consejo de Indias, pues al dorso de la anterior comunicación aparece la nota siguiente: *«Tráigase luego la carta que en ésta se cita acerca de la moneda de vellón»*. Después de la rúbrica del Rey, una segunda nota dice: *Tráigase la carta que se pide. En el Consejo, a 22 de septiembre de 1615.*

En sus constantes esfuerzos por interesar al rey y al Consejo de Indias en las minas de cobre de Cocorote, al fin parece haber triunfado el Gobernador García Girón. Pero la lentitud con la cual se ventilaban los asuntos de las Provincias americanas en el Consejo, la larga distancia y las dificultades de comunicación harán que pasen varios años sin que fuesen explotadas las minas a beneficio de la Corona. García Girón inició su gestión de Gobernador en junio de 1611 y culminó su mandato en junio de 1616, sin ver resultados concretos de sus proyectos.

- El 6 de junio de 1615 Bernabé de Oñate Mendizábal, tesorero de Venezuela, desde Barquisimeto, escribió también al Rey acerca del descubrimiento de las minas de cobre, confirmando así las comunicaciones del gobernador.
- En 1616 llega a Venezuela don Francisco de la Hoz Berrio, quien en forma muy progresista se desempeña como gobernador desde junio de 1616 a junio de 1621, manteniendo mucho interés por las minas. En 1620 recibe una Real Orden de acuñar moneda de cobre. El Acta del Cabildo de Caracas de la sesión del 10 de septiembre de 1620 dice: *«Leyóse una carta del señor Gobernador don Francisco de la Hoz Berrio que trata en razón de las minas de cobre de Cocorote y de la moneda que Su Majestad manda se libre, y asimismo se leyó un auto... para que este Cabildo ayude por su parte a procurar fundidores, oficiales y encaminarlos. Se acordó se responda a dicha carta, y en cuanto a los demás se hagan las diligencias posibles... pues es tan conveniente (su) utilidad pública...»*.

Según la *Relación* de don Manuel Gaytán de Torres, el Gobernador Berrio había informado al Rey *«en cuanto a la grandeza y riqueza de las minas»*.

La *Relación* señala que en Sevilla se habían hecho diligencias *«sobre la calidad y bondad del metal»*, e indica que *«parece no ser a propósito para calderas, y (sí) para todas las demás cosas que de este metal se labran (y) tan bueno como el de Hungría y mejor que el de La Habana»*. Posiblemente se refiera a los estudios realizados con las muestras de metal y piedra enviadas a la Casa de Contratación de Sevilla por el Gobernador García Girón.

- De la *Relación* se desprende que a raíz de los informes del Gobernador García Girón la Corona tomó interés en las minas, pero presentó *«dos dudas»* que son,

si habrá la cantidad de metal requerida y si se podrán instalar los ingenios. Para resolver estas dudas, encomiendan a don Manuel Gaytán de Torres para visitar a Venezuela y presentar una relación al respecto. Antes de este viaje, don Manuel Gaytán realizó una investigación previa en España, viendo las necesidades de metal y visitando en Sevilla las fundiciones de metal y fábricas de artillería.

Como resultado debió presentar un informe preliminar o anteproyecto: *«Aunque dio a V. M.... memoria de las personas que se ocuparán en la administración y manejo de los ingenios y fundiciones, sustento y acarreo, ahora por haber visto el sitio y distancias... vuelve a darla con certeza»*, además también dice: *«Conforme a los autos y parecer que ha presentado, hechos en las minas y en Sevilla»*.

El viaje a Venezuela fue *«por mandato de Vuestra Majestad y del Real Consejo de las Indias»*. Habiéndose encomendado con los fines específicos de: 1) Hacer una evaluación de las minas, viendo si *«son capaces de poder dar la cantidad de cobre que estos Reinos de Castilla pueden gastar y consumir en labor de moneda, fundición de artillería, y gasto ordinario»*. 2) Evaluar el entorno para ver si el medio es propicio para establecer la infraestructura de explotación y beneficio: para ver si en el *«sitio hay las demás cosas necesarias para los ingenios y fundiciones que ha ofrecido hacer»*. Esta última oración también sugiere la existencia de un informe previo en el cual Gaytán de Torres debió hacer algún ofrecimiento específico.

- Ya sea a fines de 1620 o comienzos de 1621 se recibe la visita de don Manuel Gaytán de Torres, natural de Jerez, quien explora las minas y su entorno, escribiendo una larga y pormenorizada *Relación* al Rey de España. Esta aparece firmada en La Habana el 10 de junio de 1621. El viaje fue a través de La Habana y posteriormente continúa su viaje hacia la provincia de Santa Marta, Cartagena y nuevamente a La Habana.

Al momento de la visita a la mina por don Manuel Gaytán de Torres, allí se llevaban a cabo dos actividades:

- 1) Don Alonso Sánchez de Oviedo estaba explotando la *«piedra de metal»* de la quebrada Guanariguaguao (hoy quebrada Las Minas) y había establecido un ingenio y una acequia.
- 2) El metal se estaba fundiendo *«por orden del Gobernador para la moneda de vellón que Vuestra Majestad le ha mandado hacer»*. Con esto se ve que el Gobernador Berrio había hecho cumplir la Real Orden de 1620 de acuñar moneda.

Es probable que ambas actividades hayan sido parte de un solo plan, la explotación del metal por su descu-

brido y el labrado de monedas a cargo de otros funcionarios de la Corona.

- En junio de 1621 asume la gobernación don Juan Trebiño de Guillamas. Antes de viajar a Venezuela el 25 de enero de 1621, había pedido permiso para traer a un fundidor y un monedero a costa de la Real Hacienda (MORON, 1971: 143). Esta petición está relacionada con la necesidad de fabricar monedas de cobre de esta mina.
- En 1622 el ex-Gobernador Francisco de la Hoz Berrio regresa a España sin ver mayores resultados de sus esfuerzos en pro de la explotación de estas minas. Muere en el naufragio del galeón en que viajaba, en Cayos de Maticumbre, cerca de La Habana (VERNA, 1975).
- En el Acta del Cabildo de Caracas del 1 de junio de 1624 se menciona una carta que dirige don Manuel Gaytán de Torres: *«En este Cabildo se vio y leyó una carta que le escribió don Manuel Gaytán de Torres, en razón de la Relación que hizo a Su Majestad acerca de las minas de cobre de Cocorote y en lo demás en ella contenido. Se acordó que se le responda a su conformidad a satisfacción de ella»*. La *Relación* citada es la que ahora reeditamos por primera vez. A partir de esta fecha ya no se vuelve a mencionar a Gaytán de Torres.
- Para 1628 las minas no proporcionaban ningún beneficio a las Arcas Reales, si bien aún eran labradas a pequeña escala por don Alonso Sánchez de Oviedo.
- Para el año de 1630 don Alonso Sánchez de Oviedo ya había perdido todos los derechos sobre la mina.
- En 1632 las minas empezaron oficialmente a ser labradas, es decir, por orden y permiso del Rey, bajo la gobernación de don Francisco Núñez Meleán. Este tomó posesión de ellas, quitando pues a Alonso Sánchez de Oviedo todos los derechos que según las leyes tenía como descubridor de las minas. Ni siquiera confió la administración de la mina a Sánchez de Oviedo, y sobre todo, para complicaciones futuras, no fijó los límites de las minas en explotación, ni de las zonas que de ellas dependía.
- En marzo de 1633 el Gobernador Núñez Meleán pide a la Corona fundidores para las labores de las minas (MORON, 1971: 148).
- Poco después las minas estaban en plena producción. Uno de los primeros administradores fue el capitán Andrés Román de Vera. Le sucedió el capitán Simón Suárez Daboín, ex-Alcalde ordinario de El Tocuyo. Recibió este último un título de nueva encomienda en julio de 1637, el cual estipulaba que Suárez Daboín *«tomó posesión de las ricas minas de cobre del valle de Cocorote»* e hizo *«La experiencia de los metales y fábrica de moneda»*.

— Es sólo años después (1638-1655), bajo la hábil administración de don Bartolomé López de Mesa, cuando las minas conocen su época más floreciente. De este período hay mucha y minuciosa información que aparece resumida en VERNA (1975). A continuación transcribiremos sólo el inventario de bienes para 1638 (p: pesos; ds: ducados):

— Tres ingenios de la casa de fundición con seis fuelles y cañales	450 p
— Acequia por la que viene el agua para molar en el ingenio	300 p
— Tres carretas, dos herradas y una sin herrar	106 p
— Tres yuntas de bueyes	54 p
— Molde de artillería, sin valor, porque se reventó	0 p
— Dos hornos. Uno en uso, otro abandonado sin valor	100 p
— Casa de fundición de la piedra de metal de cobre	600 ds
— Tres esclavos maestros fundidores	2.400 p
— Seis esclavos y ayudantes de fundidores	3.000 p
— Dos esclavos curtidores	800 p
— Un esclavo viejo, mandador (Blas Jolofo)	500 p
— Once negras esclavas, sin oficio determinado	3.300 p
— Las reses valían a 18 y 20 reales cada una, pero no se especifica número.	

En este punto resulta de interés reproducir a VERNA (1975: 59): «*aunque repugna al historiador moderno alinear a seres humanos al lado de utensilios, ganados, herramientas y confundirlos en una masa de bienes de una fábrica o de una mina, resulta, sin embargo, aleccionador ver que desde los primeros tiempos de la colonización el negro llevaba sobre sus hombros todo el peso del trabajo y del progreso que paulatinamente realizaban los países de nuestra América. El esclavo negro era el elemento indispensable con el cual contaban colonos y monarcas... para levantar riquezas y castillos, privilegios y gloria. Su papel en las minas de Venezuela tanto en las de oro como en las de cobre era fundamental...*».

— En la primera mitad del siglo XVII las minas de Cocorote eran uno de los centros productivos más importantes de la Gobernación de Venezuela, había casa de fundición, hornos, ingenios, acequia para conducir el agua, talleres de carpintería de curtir el cuero, depósito de carbón, etc. El cobre era labrado en barras y transportado en lomo de mulas o en carretas hasta el puerto, y de allí por el río en canoas, luego embarcado hasta La Guaira. Si se toman en cuenta las actividades propias de la mina, tales como la extracción del mineral, lavado, fundición, trabajos de los carpinteros, arrieros, curtidores, herreros, y luego el transporte del cobre o de los objetos fabricados, la construcción de canoas, trabajos agrícolas en los conucos, el matadero del hato de Aroa, se puede calcular en

300 el número de personas laboriosas que dependían de las minas. Allí se labraba el cobre y se fabricaban los objetos siguientes: calderos para trapiches, campanas, peroles, almireces, chumaceras, estribos, pailitas, cuchillos, mangas de fuelles, clavos y otros. También se fabricaba material de artillería, pues ya en 1638 los moldes para dicha fabricación se habían hecho a perder (VERNA, 1975: 55-56).

— Por su carácter informativo, a continuación se presentarán tablas que resumen los gastos para la Real Hacienda, producción y manufacturas de las minas (ARCI-LA, 1989: 164-165, 197):

	Gasto en maravedíes	Producción en libras	Producción en barras
1612	8.704		
1620	195.636		
1621	48.280		
1630		1.595	28
1631		50.000	851
1633	3.889.030		
1634	6.916.331		
1635	74.528		
1636	4.414.637		
1637	1.352.702		
1638	617.236	54.731	859
1639	841.357	48.200	735
1640	907.682	74.200	1.141
1641	4.407.082	90.500	1.626
1642	40.663	54.700	1.011
1643	454.308	21.000	302
1644	153.017	47.800	831
1645	1.877.199	67.700	1.125
1646	1.228.718	22.700	436
1647	700.470	57.800	976
1648	91.256	44.500	813
1649	1.106.884	45.600	799
1650	702.076	104.500	1.871

Efectos de cobre manufacturados en las minas (1638-1650):

Descripción	Cantidad	Libras	Maravedíes
Almireces	153 Unid.	1.090	185.358
Campanas	23 Unid.	1.467	249.390
Campanillas de altar	26 Unid.	22	11.968
Cinchas de cobre	18 Par.		
Cobre fundido		300	20.400
Chumaceras	8 Unid.	82	13.940
Estribos	8 Par.	63	12.852
Fondos de cobre	30 Unid.	8.837	652.290
Paila	1 Unid.	70	11.900
Pernos	4 Unid.		

Valor total: 1.158.098 maravedíes=4.258 pesos.

Esta tabla parece apoyar al año de 1612 como correspondiente al descubrimiento de las minas, y el gasto pudo estar relacionado con las gestiones del Gobernador Girón, experimentos de fundición y envío de muestras a España. Por otro lado, el gasto elevado en 1620-1621 quizá estuvo relacionado con el establecimiento del proceso de labrado de monedas de cobre y con el viaje de Gaytán de Torres.

4. ASPECTOS BIOGRAFICOS

4.1. DON MANUEL GAYTAN DE TORRES

Casi nada se conoce sobre la vida y obra de Manuel Gaytán de Torres. Es de una familia procedente de Nápoles, establecida en Jerez de la Frontera, donde entroncó con otra noble progenie de dicha ciudad, los Torres, uniendo el apellido GAYTAN de TORRES, escrito algunas veces como GAITAN de TORRES.

Varios de los miembros de esta familia pasaron a diversos países de América. En el siglo XVII ser «*Veinticuatro de la ciudad de Jerez*» era una muy apreciada dignidad nobiliaria.

Adicionalmente a la *Relación* sobre las minas de Cocorote se le conoce otro trabajo (GAYTAN DE TORRES, s/f.), que trata sobre la cuestión de la moneda, que tanto se agitó y tantas elucubraciones produjo entre los arbitristas del siglo XVII (LOPEZ DE AZCONA, 1990).

Las actividades de Gaytán de Torres relacionadas con las minas aparecen resumidas en la sección precedente (Cronología).

4.2. CAPITAN DON ALONSO SANCHEZ DE OVIEDO

Para 1603 era Alcalde ordinario de Barquisimeto y para diciembre del mismo año asiste al nombramiento de Simón Pacheco como gobernador de la ciudad del Espíritu Santo de Guañare. En 1608 es nombrado Teniente Guarda y Justicia Mayor de Barquisimeto. Había alcanzado los más altos cargos y títulos que concedía la Corona a sus vasallos de Venezuela, fuera de la ciudad de Santiago de León de Caracas, luego de haber sido teniente de Gobernador de las ciudades de Trujillo, Carora y Tucuyo (HERNANDEZ, 1988).

Según la información de uno de sus descendientes, había sido «*conquistador y pacificador de los indios jiraharas y de los de Barquisimeto que la venían a infestar, teniendo fundado real para su defensa y por la satisfacción que se tenía de su persona, partes y calidad, el Gobernador don Diego Osorio le dio comisión y facultad para que oyerá justicia en cualquier parte de esta Gobernación*». En ese mismo documento aparece claramente establecido

que el «*Capitán Alonso Sánchez de Oviedo había descubierto las ricas minas de cobre que están en el valle de Cocorote. Por ser la más opulenta en dicho metal, se las quitó Su Majestad para su Real Servicio, al tiempo (en) que comenzaba el susodicho a tener fruto de dichas minas, (después de) haber gastado en su descubrimiento y labor toda su hacienda con lo cual quedó pobre y sus hijos y descendientes, sin haber tenido remuneración ni recompensa alguna, como cuenta de la Real Cédula que sobre esta materia se despachó*». En 1687 el Gobernador don Diego de Melo Maldonado reconoce como ciertas las anteriores declaraciones y expide una encomienda a uno de los descendientes de Alonso Sánchez, y en el documento certifica que fue éste quien descubrió las minas: «*el dicho Capitán Alonso Sánchez de Oviedo... fue descubridor de las minas de cobre del valle de Cocorote con gran gasto de caudal, las cuales se benefician mucho... por la Real Cuenta de lo que recibió Su Majestad suma considerable...*» (VERNA: 1975: 29-30).

Con toda esta documentación queda completamente establecido que don Alonso Sánchez fue el verdadero y único descubridor de las minas, si bien posteriormente otros colonizadores le discutieron el título y posesión de las minas.

Un hecho de suma importancia es que el Rey de España le quitó injustamente al descubridor de las minas la posesión y el beneficio de ellas. Esto debió ocurrir un poco antes de 1630. Para 1638 estaba reducido a la miseria, viviendo en el campo minero en la casa que ocupaba el fundidor Manuel Acosta, al lado de la del oficial curtidor. Así, quien había sido alcalde y primera autoridad de la región, vivía como peón de las mismas minas que él había descubierto y que en realidad eran suyas. Tenía entonces 72 años.

Alonso Sánchez de Oviedo había sido víctima de una injusticia, que violaba todos los reglamentos y leyes relativos al descubrimiento de minas en América. La decisión del Rey fue quizá el resultado de intrigas llevadas a cabo por los Gobernadores de la provincia, celosos e impacientes de halagar a Su Majestad, ofreciéndole nuevas fuentes de riquezas como si éstas fueran propiedad exclusiva de la Corona y sin tener en cuenta los derechos y privilegios del descubridor.

4.3. GARCIA GIRON

Gobernador y Capitán General de la provincia de Venezuela (1611-1616). Militar. Designado Gobernador y Capitán General de la provincia de Venezuela por Real Cédula del Rey Felipe III, del 7 de agosto de 1610. Llega a Caracas y toma posesión del cargo el 1 de junio de 1611. Este gobernador tuvo que enfrentar dos calamidades: una epidemia de viruela que obliga a aislar los enfermos extramuros de la ciudad (1614), y una plaga de langostas que azota las siembras de cereales y obliga a racionar la ha-

rina y el maíz; este último producto se trae de la provincia de Cumaná, donde abunda. Epoca difícil, donde hasta la moneda de cuño escasea, por lo que hace una nueva tasación de perlas para llevar a cabo las operaciones de comercio. A pesar de que existe una real Cédula (1614) que prohíbe la participación de extranjeros en el comercio, permite contratar a ingleses para sembrar tabaco; esto será motivo para que en el juicio de residencia se le haga un cargo. Durante su mandato las relaciones entre autoridades civiles y eclesiásticas estuvieron alteradas por la presencia del obispo Juan de Bohórquez, quien quiso intervenir en asuntos civiles, por lo que el Cabildo tuvo que hacer valer sus derechos; esto contribuyó a que no reinara la armonía entre ambas autoridades. El 15 de junio de 1616 cumplió su período de gobierno, y entregó el mando a su sucesor, Francisco de la Hoz Berrio (FUNDACION POLAR, 1988).

5. LAS MINAS A LA LUZ DE LA RELACION DE GAYTAN DE TORRES, 1621

A continuación se analizarán diversos aspectos relevantes de esta fundamental obra para la minería venezolana:

— Anteriores a la obra de Gaytán de Torres hay muchos documentos sobre minería en Venezuela, fundamentalmente sobre oro, pero esta *Relación* constituye el primer impreso publicado de una mina venezolana. Aparece firmado el 10 de junio de 1621 en la ciudad de La Habana, pero debió imprimirse en España ya que para esa fecha no había imprenta en Cuba.

— La evaluación de la potencialidad de la mina, tal y como se trataba en la época, es descriptiva, indicando la presencia de varias vetas superficiales, con algunas medidas aproximadas de ancho y profundidad. Luego señala la similitud de la zona de la quebrada de las minas, con otras de la región, y extrapola para concluir que hay suficiente potencial para producir 100 quintales de metal al día.

— Por encontrar bloques de «piedra de metal» y vetas expuestas en superficie propone una minería a cielo abierto («tajo abierto»), indicando que este método es de mayor beneficio y seguridad que por túneles («socavón»).

— Señala que para la fundición es necesario añadir «pedras de grano», y que éstas se encuentran a distancia de una legua por camino llano.

— Don Manuel Gaytán de Torres propone una secuencia para la explotación y procesamiento como sigue:

- Extracción del metal.
- Hornos para quemarlo (para facilitar la molienda y para que exhale el azufre).
- Molienda.

- Primera fundición.
 - Purificación por segunda fundición.
 - Manufactura de tableros de cobre.
- Para el transporte del mineral y metal propone (fig. 1):
- De la mina a la primera fundición: carretas de bueyes.
 - De los primeros hornos a la molienda: canoa por una acequia.
 - De la molienda a los demás ingenios: canoa por acequia.
 - Del último ingenio al puerto de La Concepción, en el río Aroa (4-5 leguas): carretas de bueyes.
 - Puerto de La Concepción a la boca del río Aroa (10-11 leguas): en canoas por el río Aroa.
 - Desde la boca del río Aroa hasta el puerto de Borburata: construcción de una acequia de 10 a 11 leguas y transporte por canoas.
- En cuanto a la explotación plantea una producción de 100 quintales de metales por cada día de trabajo, es decir, 27.000 quintales de cobre al año, que hacen unas 600 toneladas. Estas cifras equivalen a:
- 100 quintales \times 100 libras/quintal = 10.000 libras/día.
 - 100 quintales \times 46 kg/quintal = 4.600 kg/día.
 - 100 quintales \times 270 días hábiles/año = 27.000 quintales/año.
 - 27.000 quintales/año \times 46 kg/quintal = 1.242 tm/año.

Esta predicción fue muy optimista, ya que la evaluación sólo se basó en el cobre nativo expuesto en superficie, que hoy día conocemos se produce en la parte superficial de la zona de alteración de este tipo de yacimientos minerales, pero a profundidad la mena pasa a ser de sulfuros, de los cuales el beneficio del cobre se hace más complejo.

De hecho, la producción total del período de mayor actividad (1630-1650) fue de unas 779.527 libras de cobre (7.795 quintales), lo que según la expectativa de don Manuel Gaytán de Torres se pudiera haber extraído en tal sólo 78 días de trabajo, en realidad se produjo en dos décadas.

— Aun cuando don Manuel Gaytán de Torres fue muy optimista en lo que concierne a la posible capacidad de producción de la mina, como quedó demostrado posteriormente, consideramos este trabajo como de una importancia fundamental para la historia de la minería del país, ya que presenta un trabajo de alta calidad donde no sólo se ve la minería en Aroa como algo local y aislado, sino que la coloca en el contexto regional de la época.

El trabajo consta de dos partes, la primera es el estudio de la mina, la forma de beneficio del mineral y

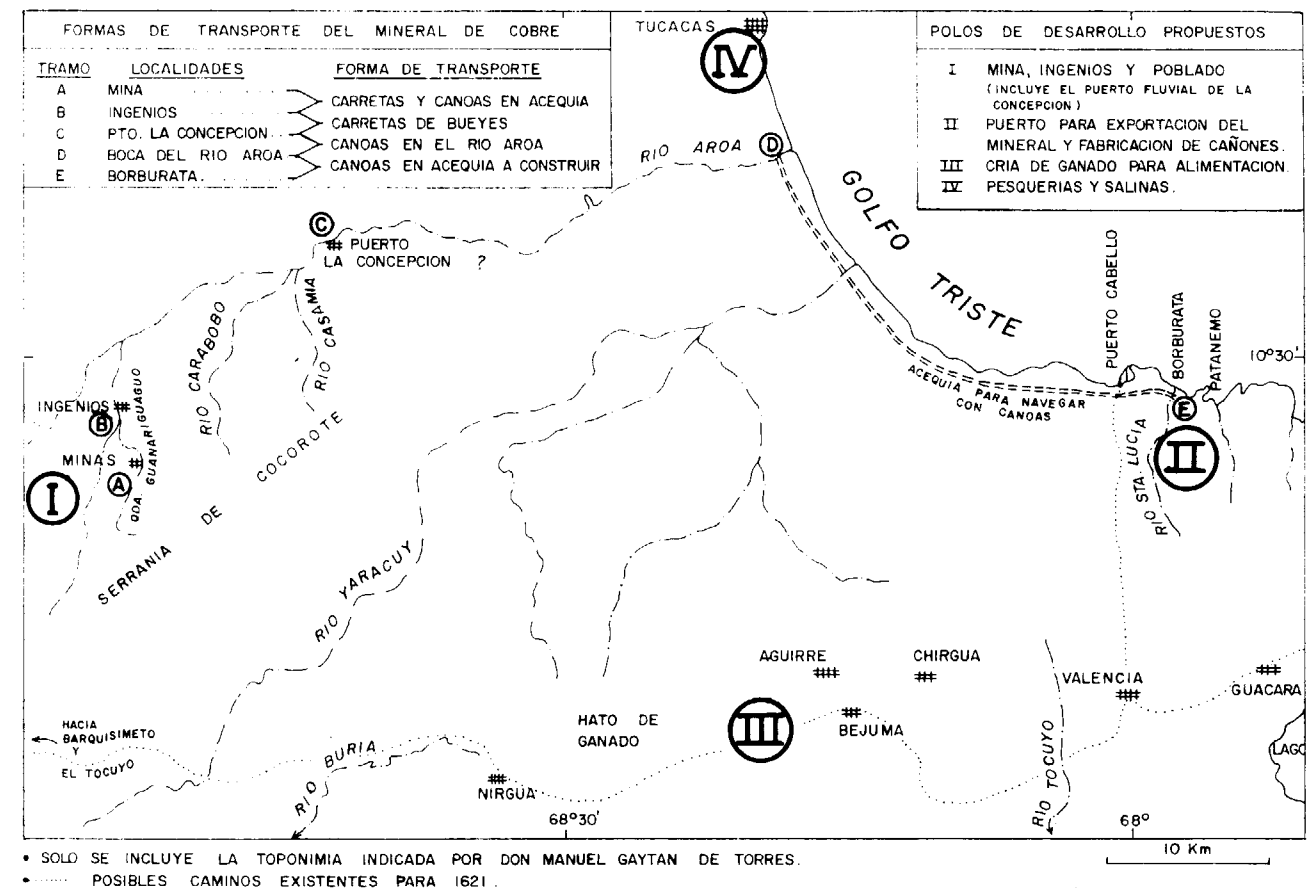


Figura 1.—Infraestructura que propone don Manuel Gaytán de Torres en 1621, para explotar las minas de cobre de Cocorote (hoy Aroa, Edo Yaracuy, Venezuela).

transporte a puerto. En la segunda se ubica la actividad minera dentro del marco de la geopolítica global, que de haberse podido llevar a cabo realmente hubiera cambiado las condiciones socio-económicas de la gobernación de Venezuela.

La *Relación* tiene las características de un informe técnico, dentro del estilo de los estudios de factibilidad de los megaproyectos de hoy en día. Allí todos los puntos fundamentales están tomados en cuenta en forma clara y ordenada, como:

- Evaluación de la mina.
- Infraestructura para la explotación y beneficio del mineral.
- Transporte del mineral y metal.
- Infraestructura de apoyo: producción de alimentos para el personal, creación de poblados necesarios para mantener dichos suministros, construcción de un puerto para importación y exportación.

- Detalles de los recursos humanos necesarios y sus salarios.
- Análisis de costos de la infraestructura y demás bienes y servicios.

De haber sido posible este proyecto, se hubieran establecido cuatro polos de desarrollo (fig. 1): 1) Zona de Aroa: mina, beneficio del mineral y transporte. 2) Tucacas: pesca y producción de sal. 3) Nirgua: producción de ganado. 4) Borburata: como puerto para la exportación del cobre e importación de bienes.

En la segunda parte de la *Relación*, como ya se dijo, se conecta la producción del metal con la geopolítica de la Corona española en el mar Caribe y el océano Atlántico, para ello propone que en Borburata se fabrique tanto artillería como galeones de 500 toneladas, que eran los mayores navíos de guerra de la época. Esto hubiera revitalizado la gobernación de Venezuela, haciendo que Borburata y Puerto Cabello se convirtiesen

en centros de la mayor importancia para la Corona española.

— Si bien esta *Relación* tiene muchísimos otros aspectos que se pudieran discutir, sólo se harán notar algunos puntos adicionales:

— Para 1621 ya no había minería de oro en Venezuela, porque quienes sabían las técnicas de labrado de las minas de veta y lavado, se habían muerto o ausentado de la provincia. Por ello propone traer mineros de Pamplona o Zaragoza.

— El personal que señala necesario para las operaciones mineras y de transporte, son: 110 españoles, 350 negros esclavos y 350 negras esclavas, así como un número no definido de indios. Esto refuerza la opinión de VERNA (1975) en el sentido de que la mano de obra esclava era indispensable para cualquier proyecto de desarrollo que se plantease en la época colonial.

— Entre las obras que propone construir don Gaytán de Torres, llama la atención la acequia desde la boca del río Aroa hasta Borburata, para transportar el mineral en canoas y sin los peligros de la navegación en el Golfo Triste. Pero que también fomentaría el transporte en general y comercio en la zona.

6. INDICES

6.1. ETNIAS INDIGENAS MENCIONADAS

— *Guamonteses, guamanteyes, guamonteyes*. Se refiere a un grupo de indios que «han sacado de los llanos por engaño y están poblados en el valle de Acarigua».

— *Caquetíos*. Indica que están poblados en el río Tocuyo y en las sierras de Coro.

6.2. INDICE ONOMASTICO

Artiaga, Francisco de.—Tiene indios en Parabachoa (cerca de Tucacas). Tiene otra encomienda en la sierra de Coro.

Avila, Diego de.—Tiene hacienda de cacao en Patanemo.

Berrio, Francisco de la Hoz de.—Gobernador de Venezuela.

Camacho, Gaspar.—Tiene hacienda de cacao en Patanemo.

Ferigo, Licenciado Leonardo.—Clérigo presbítero.

Ferrera, Capitán.—Fabricante de navíos de La Habana.

Girón, García.—Fue gobernador de Venezuela.

Gutiérrez de Lugo; Pedro.—Teniente de Gobernador, propietario de las tierras de Cabo Codera.

Herrera, Agustín de.—Tiene hacienda de cacao en Patanemo.

Manaure.—Cacique de los Caquetíos.

Ruiz Garfias, Capitán Sebastián.—Le dio a Gaytán de Torres una canoa para navegar por el río Aroa.

Sánchez de Oviedo, Alonso.—Tenía un ingenio y labraba las minas.

Vera, Francisco de.—Vecino de Caracas, cometió delitos y fue privado de sus indios.

6.3. INDICE GEOGRAFICO VENEZOLANO

A continuación se listan todas las localidades geográficas venezolanas referidas en la *Relación*. Se indican en orden alfabético, según la grafía original, y a continuación se da alguna explicación adicional. Entre paréntesis se pone el nombre con la ortografía actual, cuando se conoce.

Acarigua. Valle de —.

Aguirre. Sabanas de —. En la región de Nirgua y Bejuma.

Acacui. Río de —. (Yaracuy).

Arapa. Mina de oro. (Apa).

Aroa. Río de —.

Barbacoas. Entre Sabana de Mendoza y Maracaibo.

Barinas. Provincia de —. Zona de cultivos de tabaco.

Barquisimeto. Ciudad de —.

Barreda. Quebrada de —. Mina de oro al SO de Valencia.

Bejuma, Vejuma. Sabanas de —.

Bejuma. Minas de oro.

Bocónó. Valle de —.

Bonboi. Valle de —. Entre Timotes y Escuque. (Momboy?)

Burburata. Puerto de —. (Borburata).

Burburata. Valle de —.

Buria. Río de —. Minas de oro «que eran las mejores de todas».

Carabobo. Río de —. Afluente del río Aroa.

Careche, Valle de —. (Carache).

Carapa. Mina de oro.

Carora. Zona de cultivo de tabaco.

Casamia. Río de —. Afluente del río Aroa.

Chiroa. Río de —. Mina de oro. (Chirgua).

Chirua. Cumbre de —. (Chirgua).

Chirua. Sabanas de —.

Cocorote. Serranía de —. (Serranía de Aroa).

Cocorote. Minas de cobre de —. (Minas de Aroa).

Codera. Cabo de —. (Cabo Codera).

Concepción. Puerto de la —. Ubicado en el río Aroa.

Coro. Ciudad de —.

Coro. Sierras de —.

Cumaná. Provincia de —. Región productora de tabaco.

Damas. Valle de las —. Zona donde se cultiva tabaco. Desde allí dice que hay «camino abierto por la montaña a Borburata». Esto sugiere que pudiera ser alguno de los valles anexos del flanco sur de la serranía costera, por ejemplo: Vigirima, San Diego u otros.

El Tocuyo. Ciudad de —.

Escuque. Valle de —.

Equiquibacoa. Cabo de —. (Cabo de Coquibacoa, Colombia).

Gauare. Región donde se cultiva tabaco.

Guayra, Gualra, Gaira. Puerto de la —. (La Guaira).

Guacara. Sitio de —. Dice que hay una mina de cobre.

Guacara. Valle de —.

Guanariguagu. Quebrada de —. Hoy quebrada Las Minas.

Guaua. Región donde se cultiva tabaco.

Golfo Triste.

Laguna. (Lago de Maracaibo).

Laguna. Ciudad de la —. (Maracaibo).

Mar Acaybo. Laguna del —. (Lago de Maracaibo).

Niquitao. Valle de —.

Nirua. Provincia de —. (Nirgua).

Nueva Valencia, Nueuaualenvia. Ciudad de —. (Valencia).

Obispos. Sabanas de agua de —. En la región de Nirgua y Bejuma.

Onoto. Sabanas de —. En la región de Nirgua y Bejuma.

Papayos. Agua de los —. En la región de Nirgua y Bejuma.

Parabachoa. Caserío de indios justo en las pesquerías de Tucacas.

Patanemo, Patanenio, Puerto de —.

Picacho. Dice que hay minas de oro en las quebradas que bajan de él. Cerca de Nirgua donde hoy día hay diversas antenas de comunicaciones telefónicas y de TV.

Puerto de Cabello, Puerto de Cauallo. (Puerto Cabello).

Sabana de Mendoza. Valle de —.

San Pedro. Montañas de —. Mina de oro.

San Sebastián. Ciudad de —.

Santa Luzia. Montaña de —. Cerca de Burburata.

Santa Luzia. Serranía de —. Cerca de Burburata.

Santiago de León. Ciudad de —. (Caracas).

Santodomingo. Valle de —. (Santo Domingo, edo. Mérida).

Sumocaró. Valle de —. (Humocaró).

Tierrafirme. (Oriente de Venezuela).

Timotes. Valle de —.

Tocuyo. Ciudad de —.

Tocuyo, Toquio, Toquyo. Río del —. (Río Tocuyo, Falcón).

Tocuyo. Río del —. Minas de oro. Está «junto a la Valencia».

Trinidad. Isla de —. Región productora de tabaco.

Trujillo. Región donde se cultiva tabaco. (Trujillo).

Tucaca. Pesquerías y salinas de —. (Tucacas).

Venezuela, Benesuela.

Valencia. Ciudad de la —.

7. LAS MONEDAS DE COCOROTE

En la anterior cronología se ve que ya desde 1621 se acuñaban monedas con el cobre de las minas. Sobre esto se han consultado a diversos especialistas en numismática, concluyendo que debieron haber sido elaboradas por percusión, con cuños desconocidos, por tanto es imposible saber cuáles provienen de Aroa y cuáles de otros lugares de acuñamiento.

Ya en el siglo XIX se elaboraron fichas de cobre en la Hacienda «La Italiana de Cocorote», del señor José Saturno.

8. AGRADECIMIENTOS

Al personal de la Biblioteca Británica de Londres por el esfuerzo en localizar este impreso que poseía un error de cota.

Al Prof. Dr. J. M. López de Azcona, de Madrid, por la información suministrada sobre don Manuel Gaytán de Torres.

A la srta. Dora Saldivia, por el gran esfuerzo en transcribir en ortografía moderna la obra de Gaytán de Torres.

A la profesora María Luisa Herrera (UCV), por su detallado trabajo de paleografía para lograr la versión mecanografiada del manuscrito anexo a la *Relación*.

Al Ing. José Antonio Rodríguez, por las observaciones realizadas y su paciente corrección del manuscrito.

9. BIBLIOGRAFIA

ARCILA FARIAS, Eduardo (1986): *Hacienda y comercio de Venezuela en el siglo XVII: 1601-1650*. Edic. Banco Central de Venezuela, Col. Hist.-Económica Venezolana, vol. 22. Serie «Proyecto Hacienda Pública Colonial Venezolana», tomo V, 307 pp.

FUNDACION POLAR (1988): *García Girón*. En: *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, Ed. Ex Libris, Caracas, tomo E-O, p. 300.

GAYTAN DE TORRES, Manuel (1621): *Relación y vista de Ojos que Don Manuel Gaytán de Torres Veintiquatro de la ciudad de Xerez, haze a Su Majestad en el Real Consejo de las Indias, por comisión que para ello tuvo de las Minas de cobre que ay en las Serranías de Cocorote, provincia de Venezuela, año 1621*. (Impreso firmado en La Habana, Cuba, el 10 de junio de 1621, sin indicación de la imprenta y ciudad de edición), 47 pp., 28×20 p.

(El ejemplar localizado en la Biblioteca de Londres contiene además cinco páginas manuscritas.)

GAYTAN DE TORRES, Manuel (s/f.): *Discursos sobre la moneda y gobierno de España: Impugnación sobre la subida de la plata, o la petición del Capitán Tomás de Cardona, pidiendo dicha subida*. Biblioteca Nacional (Madrid), Cod. E.156, 4 hojas.

GIRON, García (1613): [Carta de don García Girón, fechada en Venezuela el 6 de febrero de 1613]. En: Ermila TROCONIS DE VARACOECHEA: *Documentos para el estudio de los esclavos negros en Venezuela*. Biblioteca Acad. Nacional de la Historia, Col. Fuentes Historia Colonial de Venezuela, núm. 103, pp. 143-146, 1969.

HERNANDEZ, M. S. (1988): *Alonso Sánchez de Oviedo*. En: *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, Ed. Ex Libris, Caracas, tomo P-Z, p. 540.

URBANI, F. (1984): *Los hermanos Bravin en las minas de Aroa, 1877-1878*. Bol. Hist. Geociencias Venezuela, (6): 15-22.

VERNA, Paul (1977): *Las minas del Libertador, Tres Siglos y Medio de Historia Venezolana, 1605-1972*. Edic. Presidencia República, Colección Contorno Bolivariano, Impr. Nacio-

nal, Caracas, 305 pp. (Obra reseñada en Geos (25): 73-74, 1979, y Bol. Hist. Geoc. Venez.).

VERNA, Paul (1988): *Minas de Aroa*. En: *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, tomo A-D, pp. 191-192.

ZAPATERO, Juan Manuel (1977): *Fortificaciones de Puerto Cabello. Historia*. Edic. Banco Central de Venezuela, Caracas, 231 pp.

10. APENDICE DOCUMENTAL

10.1. IMPRESO DE DON MANUEL GAYTAN DE TORRES

A continuación se presenta la *Relación* en una versión modernizada y parcialmente modificada para facilitar la lectura y entendimiento de su contenido. Aquellos que quieren obtener una copia de la *Relación* original pueden solicitarla al autor.

A título ilustrativo se incluye reproducción de la portada.

RELACION Y VISTA DE OJOS QUE DON MANUEL GAYTAN DE TORRES VEINTICUATRO DE LA CIUDAD DE JEREZ, HACE A SU MAJESTAD EN EL REAL CONSEJO DE INDIAS, POR COMISION QUE PARA ELLO TUVO DE LAS MINAS DE COBRE QUE HAY EN LAS SERRANIAS DE COCOROTE, PROVINCIA DE VENEZUELA. AÑO DE 1621

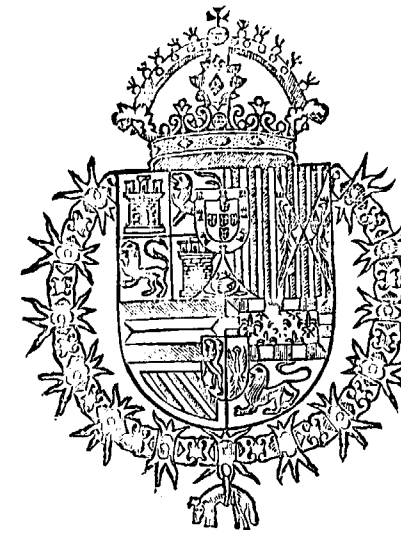
Don Manuel Gaytán de Torres Veinticuatro de Jerez. Dice, que por mandato de Vuestra Majestad y del Real Consejo de las Indias fue a la provincia de Venezuela a reconocer las minas de cobre que hay en las Serranías de Cocorote, y a ver, si son capaces de poder dar la cantidad de cobre que estos Reinos de Castilla pueden gastar y consumir en labor de moneda, fundición de artillería y gasto ordinario, y si en dicho sitio hay las demás cosas necesarias para los ingenios y fundiciones que ha ofrecido hacer. Y habiendo ido y visto dicha provincia, serranías, caminos, ríos, montes, sabanas, puertos y habiéndolo considerado, halla que según muestran dichas minas, son bastantes para lo que se pretende, y hay todo lo que la imaginación pueda desear para el manejo y beneficio de tan gran riqueza, y todas las cosas tan en su lugar, que admira, dándose de la mano las unas de las otras, no sólo para este intento, sino para otros del aumento de la Real Hacienda, fortificación y defensa de estos Reinos de Castilla e Indias, y tan menesterosas en ellos, se alarga a transmitir su parecer y vista de ojos. Pues haciéndose las fundiciones y labores de dichas minas, se facilitan y acomodan las demás, como consta por los papeles e informaciones que trae y por la carta de marear (1) y él lo certifica, por haber visto todo lo que dice. Y para su inteligencia pintó de dicha Provincia, desde el puerto de la Guaira hasta el

río Tocuyo, distrito de treinta y nueve leguas por la costa del mar, y los montes, sabanas, ríos, pesquerías, puertos y caminos que van a las dichas minas, y están en su comarca, que es como se sigue.

El parecer que da en razón del cobre se divide en siete artículos, de los cuales, y del modo en que va dispuesta esta relación, y el sitio en que están las minas y puertos; y lo que para su beneficio se ha de hacer, se acrecientan otros cuatro, que le ((2)) ha parecido en conciencia está obligado a añadirlo aquí, porque entiende serán del Real servicio. Donde se hallaren números de guarismos corresponden a los de la pintura (2).

(1) En diversas partes de la *Relación* se menciona una *carta de marear* que acompañaba la relación. Este plano no se ha podido localizar y ha debido abarcar todo el Caribe, para poder explicar los diversos movimientos de las armadillas que propone establecer.

(2) Se menciona frecuentemente una *pintura* o mapa que también acompañaba la relación. Tampoco se ha podido localizar, ni en el Archivo General de Indias en Sevilla, ni a través de otras fuentes. El texto original de la *Relación* incluye números que debían hacer referencia a localidades marcadas en el mapa. Estos números no se reimprimen. Este mapa parece haber abarcado desde La Guaira hasta el río Tocuyo, y tierra adentro al menos hasta Nirgua y Valencia (fig. 1).



RELACION, Y VISTA DE OJOS QUE Don Manuel Gaytan de Torres Veinti- cuatro de la ciudad de Xerez, haze a su Magestad en el Real Consejo de las In- dias, por comision que para ello tuvo de las Minas de cobre que ay en las Serranias de Cocorote, prouincia de Veneçuela.

Año 1621.

- 1.—En el primer artículo se trata de las minas y su riqueza.
- 2.—En el segundo del modo de los ingenios y fundiciones.
- 3.—En el tercero, cómo se ha de trajinar el metal desde las minas a los ingenios, y a los puertos de La Concepción, Borburata y España.
- 4.—En el cuarto, de dónde y cómo se sustentará esta fábrica de pan, carne, pescado, sal y a qué personas se ha de dar ración.
- 5.—En el quinto, qué gente se ocupará en toda la fábrica, sustento y acarreo, y los sueldos que tendrá cada persona, y dónde se situará.

6.—En el sexto, qué costará poner en punto esta fábrica, y dónde se comprarán las herramientas, ganados y negros.

7.—En el séptimo, que es forzoso poblar tres lugares, en qué sitios se han de fundar, y de las poblaciones que convienen hacer de los Indios Guamonteyes y Caquetíos y puerto de Patanemo.

I ARTICULO PRIMERO

Del sitio de las minas y su riqueza

En la provincia de Venezuela, que con justo título se le dio este nombre, por las grandes riquezas de minas de oro y cobre que hay en ella, fertilidad de campos y valles, serranías de altas y gruesas arboledas, puertos que en la costa del mar tiene, e inexpugnables por la forma y sitio en que están, abundantes en pescado y marisco. Está la serranía de Cocorote, y en ella la quebrada de los indios llaman de Guanariguagu, en la cual están las minas de cobre.

A la parte del occidente está descubierta una veta de metal, ahondada cuatro estados y medio de los suyos (3), y de la boca arriba descubre una cresta de ancho de más de vara por algunas partes, y por otras poco menos, que sube a la cumbre de la serranía, y se muestra al tercio de la subida. Y abajo en lo ahondado y con cabo de la mina viene un Crucero más ancho que la veta. Al ((3)) lado izquierdo a una distancia de diez pasos está otra veta descubierta de la misma anchura al pie de la tierra, y a la orilla del agua de la quebrada se descubre otra veta, y en el agua hay cantidad de piedra de metal, que van fundiendo por orden del Gobernador para la moneda de vellón que Vuestra Majestad le ha mandado hacer. En la quebrada abajo a dos tiros de arcabuz de las vetas está un risco muy grande a orilla del agua, y encima de él todas las piedras que se descubren de la tierra, en la ladera de la serranía son de metal, y trae muestras de ellas, que es mucha más cantidad que las vetas descubiertas. En la quebrada que está por la parte del oriente hay piedras del mismo metal, de forma que toda la serranía que está entre las dos quebradas, de número 1 (4) y número 4 promete ser de metal, y todo lo demás de la serranía de Cocorote muestra tener metal de cobre por el color de la tierra, árboles y aguas, y por ser semejantes a la de Guanariguagu, con (lo) que se sale de la duda, (de que) si habrá minas, que den toda la cantidad de cobre que estos Reinos pueden gastar cada año.

(3) Estado: medida longitudinal tomada de la estatura regular del hombre. *Cuatro estados y medio de los suyos*, significa cuatro veces y media la altura de don Manuel Gaytán de Torres.

(4) Estos dígitos se refieren a la ubicación en el mapa que acompañaba la *Relación* (véase la carta 2).

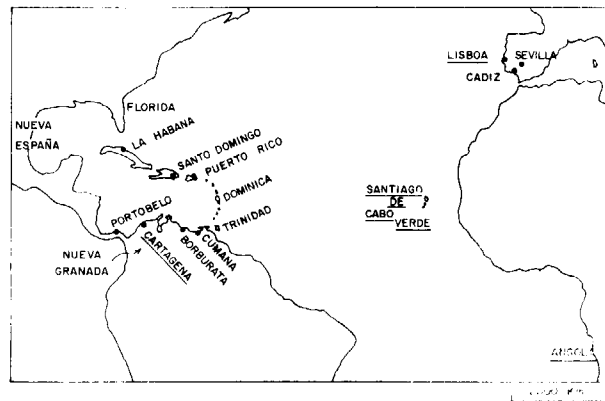
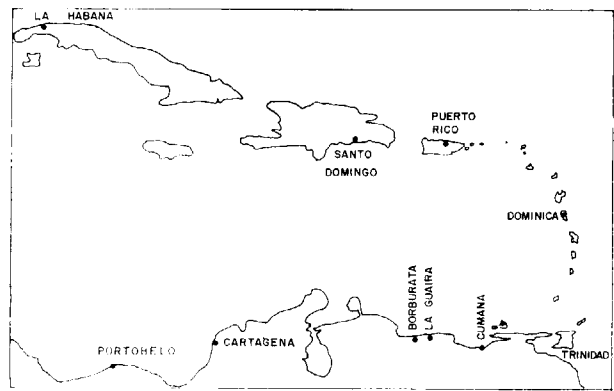


Figura 2.

Mapas de ubicación de localidades mencionadas en el texto (se subrayan los lugares de comercio de esclavos).

Figura 3.



El sitio y forma de la sierra (es) tan levantada y a pique que al que se mueva la tierra en la mina, está abajo en el agua de la quebrada, (lo) que es de gran beneficio para la labor de las minas, y seguridad de los que anduvieren en ellas, pues no se beneficiarán por socavón, sino a tajo abierto. En la serranía de Cocorote, a poco más de dos leguas de las minas a la parte del Oriente nace el río de Casamia; donde se ha lavado y sacado mucha cantidad de oro. Porque es necesario para la fundición del cobre piedras de grano, crió Dios nuestro Señor una mina de ellas; a una distancia de una legua de las fundiciones, en camino llano y enjuto.

Además de las minas de cobre referidas hay muchas otras en la Gobernación, pero los que hoy mandan en ella adulan al Gobernador y (han querido) hacerlo autor de ellas, para sus fines particulares, y no le dieron noticia a tiempo (para) que pudiera verlas, e impidieron al Licenciado don Leonardo Ferigo, clérigo presbítero, a que me manifestase de unas minas de cobre que él había descubierto en el

sitio de Guacara (que es donde la pintura lo muestra), ni tratase de ellas, hasta que viniese a la ciudad el Gobernador, pero con negociaciones suyas, don Leonardo las manifestó, las registró y las puso en cabeza de Vuestra Majestad. Estando de partida para la Gobernación de Santa Marta ((4)) trae piedras y metal de dicha mina, y el registro que está en los papeles que tienen presentados.

Además de la mina de Guacara, hay otra en Cabo Codera a barlovento de La Güaira y Borburata, a orilla del mar donde bate el agua en ella, está en tierras de Pedro Gutiérrez de Lugo, Teniente de Gobernador, el cual luego que llegó don Manuel a dicha ciudad, le mostró piedras y metal de la mina, que es (de) lo mejor que ha visto, (pero) no le dio, ni (le) quiso decir dónde estaba la mina de donde salió aquel metal. (Luego) cuando le dio el registro, piedras y metal a don Leonardo, le dijo que eran de la mina de Cabo Codera, y el teniente no quería que de ella (don Manuel) ganase gracias, sino el Gobernador. Don Leonardo Ferigo es un sacerdote de venerable persona, virtuoso y de loables costumbres, digno de que Vuestra Majestad le honre y haga merced, y a los que ocultaron la otra mina, se les castigue y sea ejemplo a otros, pues siendo ministro de Vuestra Majestad impidió, no trajese luz de la mina a don Manuel, ni se supiese la entidad de ella, debiendo ayudarle, pues ya en nombre de Vuestra Majestad.

Además de estas minas de cobre, hay otras muchas de oro en la Gobernación, que no se labran por las causas que se dice en el artículo séptimo.

II

ARTICULO SEGUNDO

De los ingenios y fundiciones

La quebrada de Guanariguaguao trae una cantidad de agua que es bastante para los ingenios que se han de hacer, en el sitio que hoy están los que hizo el Capitán Alonso Sánchez de Oviedo, que es donde los muestra la pintura, y a los lados de esta quebrada hay otras dos con tanta agua cada una como ella, y tan acomodadas para juntarlas, como se muestra en la pintura.

A la salida de la quebrada, más abajo de la toma de agua de la acequia, que está hecha para dicho ingenio, se han de hacer seis hornos, como están en la pintura, donde se ha de quemar el metal para molerlo con facilidad, y que exhale el azufre y otros metales. (Han de ser) tan grandes que baste uno para quemar ((5)) el metal que cada día se sacará de las minas, y se hacen seis para que no falte horno para cada día.

(5) Gaytán de Torres siempre escribe en tercera persona.

Del sitio de los seis hornos ha de ir el metal a una casa donde se ha de moler.

Sucesivo a esta casa ha de estar otra de ciento diez pies de largo, con un ingenio que ha de mover veintidós pares de barquinos (6), once por cada lado.

Ya fundido el metal de primera fundición, se ha de llevar a otra casa de sesenta pies de largo donde se ha de afinar, y adular con otro ingenio de la misma forma que ha de mover doce pares de barquinos, seis por cada lado.

Después de afinado y adulado el cobre, se ha de llevar a otra casa de cincuenta pies de largo, donde ha de haber cinco ingenios diferentes, donde se ha de hacer tableros el cobre, pesarse y cuadrarse de la forma de el que viene de Hungría.

Por haber dicho que hay todo lo necesario, tan acomodado como la imaginación lo pudo desear, en la parte que se han de hacer los ingenios y fundiciones, hay tres saltos para las tres casas en la distancia del sitio, que es bastante para poder tomar fuerza el agua, y en ellos la piedra que es menester para la fábrica de dichas casas. De no hallarse así en dicho sitio se habrían de gastar muchos ducados en darles con arte la forma que por naturaleza tienen, que están en el sitio que muestra la pintura las casas de los ingenios. En cuanto a leña y carbón hay tanta abundancia, que la falta que tiene aquella tierra es la espesura de montañas que la cubren.

III

ARTICULO TERCERO

Cómo se ha de trajinar el cobre desde las minas a las fundiciones, (y de allí) al puerto de Borburata y a España

Habiendo visto el sitio de las minas, Ingenios y fundiciones, la distancia que hay al mar, la aspereza de las serranías, la ceguedad de (las) montañas, la braveza de la costa del mar donde sale el río Aroa, que llaman Golfo Triste, y la dificultad de su navegación. Todas estas cosas juntas han ofuscado los entendimientos de los que las han visto, para no ((6)) haber hallado modo de trajinar este metal y la mayor causa que ha habido, ha sido tenerlo a Dios nuestro Señor guardado para estos tiempos, y para que su deseo y persona pueda lucir en servir a Vuestra Majestad poniendo en punto esta obra.

El modo de trajinar el metal desde las minas a los seis hornos donde se ha de quemar para molerlo, ha de ser en carretas de bueyes, por ser el camino llano.

Para trajinar el metal desde los seis hornos a la primera casa donde se ha de moler, que es la que muestra la

(6) Barquinos: son fuelles grandes que se utilizan en fraguas.

pintura, ha de ser en canoas por la acequia, y del mismo modo ha de ir pasando de esta casa a las demás.

De los ingenios al puerto de La Concepción, el cobre se ha de llevar en carretas de bueyes por ser la tierra llana y sin pantanos, y las sabanas donde han de comer los bueyes (están) en sitio acomodado. Este puerto está en el río Aroa a cuatro o cinco leguas de distancia por tierra llana de las minas y fundiciones. En este sitio el río tiene bastante agua para navegarlo con canoas, por haberle entrado los ríos Casamia y Carabobo, y abre hasta el mar. Según le pareció, desde la costa y boca del río Aroa al puerto de La Concepción hay de diez a once leguas, y aunque intentó entrar por dicho río en una canoa que le dio el Capitán Sebastián Ruiz Garfias, y descubrir su navegación hasta el puerto de La Concepción, no pudo proseguir por las muchas maderas que el río tiene atravesadas, y por no llevar gente para cortarlas, y aunque la pidió al Gobernador no se la dio, como consta por los papeles que tiene presentados, más juzga por la disposición de la tierra donde sale al mar dicho río, (que) no tiene inconveniente la navegación por tener bastante agua desde el puerto de La Concepción para abajo, y toda la tierra por donde va es muy llana. El inconveniente que se tiene para no poder proseguir con las canoas desde la boca del río a Borburata, es por ser la navegación por el Golfo Triste, donde en aquellas costas reina casi todo el año el viento del Este con tanta pujanza, y (por) ser la costa llana y quebrar las olas muy al mar. Con la fuerza del viento las bocas de los ríos se llenan de arena, y las dos aguas combaten con tanta fuerza, que no pueden salir, ni entrar canoas, ni otra embarcación.

Mas Dios nuestro Señor que puso estos inconvenientes en la boca de aquel río, y en los demás que salen en la costa de aquel golfo, crió tan grandes riquezas en aquellas tierras y valles ((7)) que previno el remedio. Disponiendo la tierra de aquella costa (en forma) tan llana y a nivel, que abriendo una acequia por la parte que la pintura señala se trajinaría el cobre con menos costo que si fuese por el mar, además por el modo como se hará la acequia no será un costo, (por) la gran utilidad al comercio de aquella provincia y (a las) fábricas de navíos y artillería, como se dirá en su lugar.

Puesto el cobre en Borburata, en la fortaleza que se ha de hacer para guardar (tanto) al metal (como al) puerto y demás pertrechos, como se dirá en su lugar, se traerá a España en los galeones, pues sin añadir costo ni camino, ni perder viaje, se puede hacer de manera tal que resultarán otros beneficios que adelante se dirán, que será causa de ellos llegar a aquel puerto cuatro galeones por el cobre, que son bastante para traer la cantidad que se pretende sacar de cien quintales cada día, que al año monta veintisiete mil quintales, que hacen seiscientas toneladas, regulándolo por el afoero del hierro tocho, que es de cuarenta quintales por tonelada, y así mismo el tabaco como adelante se dirá. Para ir a Portobelo por la

plata, no hacen falta los cuatro galeones, que han de quedar en Borburata, pues los cuatro que han de ir a Portobelo son bastantes para traer mucho mayor tesoro y es una fuerza superior a la que el enemigo suele traer en aquellas costas.

4
ARTICULO CUARTO

De dónde y cómo se sustentará esta fábrica de pan, carne, pescado y sal, y a qué personas se ha de dar ración

El sitio donde están las minas y fundiciones, y su comarca es tan fértil de pan, carne, pescado y sal, que si se cultivase, puede sustentar dos Reinos como el de España, tanto en lo referido, como de frutas y legumbres, y beneficiando estos géneros, como aquí se ha dicho, será tan pequeño el costo, como se verá en el artículo que sigue, pues ninguna cosa de las menesterosas está fuera del lugar que pide, para no ser costosa.

En cuanto a la provisión de pan en dicha Gobernación, y en todo lo general de las Indias, el principal y mejor sustento es el maíz. El modo de sembrarlo es rozando montes, quemarlos al fin del verano, y lloviendo la primera agua, se siembra el maíz, sin cavar ni arar la tierra. Con unos palos de madera dura que llaman coas, hacen hoyos pequeños y entierran el maíz. El primer año que siembran las rozas no echan hierba por la fuerza del fuego, y así no es costoso, ni se ocupa más tiempo en esta labor, que el de rozar, sembrar y recoger. La roza, que es en lo que se hubiera de ocupar más gente y tiempo, la van haciendo los negros que talan el monte para la leña y carbón de los hornos y fundiciones, como se dice en su lugar.

En cuanto a la parte de cómo se sustentará esta fábrica de carne, para que sea con muy bajo costo, y la que se hiciese, el valor del principal costo, este siempre vivo y con aumento, se han de comprar ocho mil cabezas de ganado vacuno de año arriba, que costará cada una dos ducados, real más o menos, que a este precio valen en las ciudades de San Sebastián y Nueva Valencia, acomodadas a la parte y sitio donde se ha de poblar un Hato por Vuestra Majestad y el sitio será donde lo muestra la pintura, y el mejor que ha visto en dicha Gobernación, y más acomodado a las minas del cobre y puerto de Borburata, que está en la tierra y provincia de Nirgua, que ocupará desde el puerto y cumbre de Chirgua hasta el puertecillo, antes de llegar al agua de los Papayos, que es la entrada del hato viejo, y en este distrito quedan comprendidas las sabanas de Bejuma, Onoto y Aguirre, y el Agua de Obispos, que son bastantes para sustentar el ganado que ha dicho, y los caballos de las vaquerías, de donde así mismo se sacaran y haran vauyes, que traigan las carretas de los ingenios y fundiciones. Y el dicho sitio además de ser bastante por su fertilidad de pasto, aguas y sombras, es cerrado, y todo en una cal-

dera, que entrando el ganado, no puede salir sino es por una pequeña senda que lleva el camino que los atraviesa.

En cuanto de dónde y cómo se sustentará de pescado y sal esta fábrica. Ambas cosas las crió Dios juntas en las pesquerías y salinas de Tucacas, que están en la parte que la pintura las señala, con tanta abundancia ambas cosas, que no sabe cuál juzgar por mayor, y muy cerca del río Aroa, para que con más comodidad y menos trabajo se sustenten las minas y fundiciones.

Las personas que han de tener ración, serán todos los que llevarán gajes en las minas y fundiciones, porque en tierras tan incógnitas no pueden obtener estos cuatro géneros, las personas que han de asistir en dichas minas y fundiciones, y para buscarlos, gastará mucho dinero, que si no se les da ración, será forzoso darles excesivos salarios y jornales, y por habérseles de dar ración, van moderados, conformes al uso de la tierra, y por el modo que va dispuesto, costará tan poco, como se verá por el artículo que sigue.

5
ARTICULO QUINTO

Qué gente se ocupará en toda la fábrica, sustento y acarreo, y los sueldos que tendrá cada persona, y dónde se situará el gasto

Aunque dio a Vuestra Majestad y al Real Consejo memoria de las personas que se ocuparán en la administración y manejo de los ingenios y fundiciones, sustento y acarreo, ahora por haber visto el sitio y (las) distancias que hay de unas partes a otras, y (conocer) los sueldos y jornalas que se ganan en las Indias y en aquella provincia, en este artículo vuelve a darla con certeza; y pasados algunos años no irá a más el costo, sino a menos porque los negros estarán despiertos en los oficios, y ocuparán algunos que hoy a la fuerza lo hagan los españoles.

El Gobernador que fuese de los ingenios y fundiciones tendrá de sueldo cada año de dos mil ducados de Castilla	2.000 ds
Ha de tener el Gobernador Teniente con seiscientos ducados al año de sueldo	600 ds
Ha de haber Alcalde de las casas y fundiciones, ha de ser tenedor de bastimentos, y tendrá de sueldo seiscientos ducados cada año, y veinte cada mes para un oficial, que tenga los libros; y dos negros que den recado a todos los oficiales y negros	840 ds
Capellán mayor y Administrador del hospital tendrá de sueldo trescientos ducados cada año.	300 ds
Médico tendrá de sueldo trescientos ducados cada año	300 ds

((10)) Barbero tendrá de sueldo quince ducados al mes	180 ds
Enfermero tendrá de sueldo diez ducados al mes	120 ds
Boticario tendrá de sueldo ciento cincuenta ducados cada año, y otros ciento cincuenta para medicinas	300 ds
Minero Mayor tendrá de sueldo veinticinco ducados al mes, y diez reales cada día que trabajase	300 ds
Otro minero diez ducados al mes, y diez reales cada día que trabajase; con estos dos mineros han de trabajar ciento sesenta negros. Ha de haber ocho mayordomos para andar con los ciento sesenta negros de las minas, veinte negros a cargo de cada uno, y tendrá cada mayordomo cien ducados de sueldo cada año ...	800 ds
Para bajar el metal desde las minas a los seis hornos, ha de haber diez negros con veinte carretas, y un español que los mande, que tendrá de sueldo cien ducados al año	100 ds
Para quemar el metal en los seis hornos, cargarlos y descargarlos, ha de haber doce negros, y un español que los administre con cien ducados de sueldo cada año	100 ds
Para cortar la leña a los seis hornos, y traerla en carretas, veinte negros y un español que los administre, tendrá sueldo cien ducados al año	100 ds
Para llevar el metal de los seis hornos a la primera casa donde se ha de moler, cuatro negros para las canoas, como lo muestra la pintura, y puesto en ella, lo han de moler las negras, por ser oficio de poco trabajo. Ha de haber Fundidor Mayor que tendrá de sueldo veinticinco ducados al mes y diez reales cada día que trabajase	300 ds
En la casa de la primera fundición han de trabajar treinta y seis negros y tres españoles, que los han de gobernar, tendrá de sueldo cada ((11)) uno ciento veinte ducados al año, y ocho reales cada día de trabajo cada uno, porque en esta casa se ha de trabajar de noche y de día	360 ds
Para abastecer esta casa de carbón y astilla, han de haber veinte negros, seis carretas y un español que los administre, que tendrá de sueldo cien ducados cada año	100 ds
Para hacer en dicha casa los hornos en que se ha de fundir y que han de arder once continuamente han de haber dos oficiales albañiles, que tendrá cada uno de sueldo diez ducados al mes, y ocho reales cada día que trabajasen cada uno, y para ayudarles, moler carbonera y pisarla seis negros	240 ds

En la mina de piedra de grano han de haber dos negros, uno que sea cantero que saque la piedra, y otro que la lleve a la casa en una carreta.

Para llevar el cobre por la acequia a la casa de afinación, un negro con una canoa, como lo muestra la pintura.

Ha de haber en la casa de afinación dos oficiales que sean caldereros, y tendrá de sueldo cada uno doce ducados y medio al mes, y ocho reales cada día que trabajasen, y les han de ayudar cuatro negros. Para abastecer de carbón esta casa, ha de haber seis negros: dos que lo traigan en cuatro carretas, uno para hacer formas de barro, y otro para llevar el cobre en una canoa a la casa donde se ha de hacer tableros 300 ds

En la última casa donde se ha de hacer el cobre en tableros, ha de haber cuatro españoles que sean caldereros, y cada uno tendrá de sueldo quince ducados al mes, y ocho reales cada día que trabajase, y para que les ayuden, ocho negros: cinco que hagan carbón, y uno que lo traiga en dos carretas 710 ds

((12)) Ha de haber ingeniero carpintero para los ingenios de las fundiciones, y obra de carretas, canoas, y casas. Tendrá de sueldo veinticinco ducados al mes, y diez reales cada día que trabajase 300 ds

Ha de haber tres carpinteros, que tendrá cada uno de sueldo y jornal diez ducados cada mes, y ocho reales cada día que trabajase. Tendrá ocho negros que les ayuden, y no bastará si los que talan el monte para la leña, y carbón no fuesen apartando los maderos que son a propósito para los ingenios, carretas, canoas, y obras de dichas casas 360 ds

Ha de haber un maestro herrero, que tendrá de sueldo quince ducados al mes, y diez reales cada día que trabajase, le han de ayudar dos negros 180 ds

Ha de haber un maestro cerrajero que tendrá de sueldo quince ducados al mes, y diez reales cada día que trabajase, le han de ayudar dos negros 180 ds

Ha de haber un maestro de hacer fuelles, tendrá de sueldo diez ducados al mes, y ocho reales cada día que trabajase, le han de ayudar dos negros 120 ds

Ha de haber dos maestros de hacer carbón, tendrán de sueldo y jornal cada uno diez ducados al mes, y ocho reales cada día que trabajase, han de trabajar con todos los negros que están señalados para hacer carbón 240 ds

Ha de haber maestro mayor albañil, que ten-

dra ((13)) de sueldo veinticinco ducados al mes, y diez reales cada día que trabajase ...	300 ds	se tendrán por bien afortunados en ocuparse en este ejercicio, y no del modo que andan.	300 ds
Ha de haber otro oficial albañil además de los dos que han de hacer hornos, que todos tres han de estar a la orden del maestro mayor, y tendrá de sueldo diez ducados al mes, y ocho reales cada día que trabajase, y cuatro negros que les ayuden ...	120 ds	Para administrar las pesquerías y salinas, llevar al río Aroa el pescado y sal que se ha de gastar en las minas y fundiciones, (cuidar de) las yeguas que han de criar los caballos para las vaquerías y acarreos de pescado y sal: un español con título de Alcalde de Tucacas con jurisdicción de las pesquerías, salinas y sabanas, y la protección de los indios Caquetíos del río Tocuyo. Tendrá de sueldo doscientos ducados. Para hacer las pesquerías, y lo demás referido, serán a propósito los indios que Francisco de Artiaga tiene en Parabachoa, que es justo en las pesquerías de Tucacas, y su ocupación es hoy pescar y sacar sal, y él lo tendrá por bien, haciéndole Vuestra Majestad merced de prorrogarle por una o dos vidas, en otra encomienda que tiene en la sierra de la ciudad de Coro, que ambas encomiendas acaban en su vida ...	200 ds
Ha de haber un maestro de hacer cal, tendrá de sueldo diez ducados al mes, y ocho reales cada día que trabajase, y dos negros que le ayuden ...	120 ds	Ha de haber veinte soldados de presidio en las minas y fundiciones, para seguridad de los negros, y tendrá cada uno de sueldo ocho ducados al mes ...	1.920 ds
Ha de haber un maestro de hacer tejas y ladrillos, y tendrá de sueldo diez ducados al mes, y diez reales cada día que trabajase, tres negros que le ayuden ...	120 ds	Ha de haber un Cabo que gobierne esta gente con veinticinco ducados al mes ...	300 ds
Ha de haber un maestro espartero para hacer sogas, y espuertas, tendrá de sueldo diez ducados al mes, y ocho reales cada día que trabajase, y tres negros que le ayuden y saquen damajagua y palma, y las negras han de hacer la empleita ...	120 ds	Ha de haber en el castillo de Borburata veinticuatro soldados y ocho artilleros, tendrá de sueldo cada uno ocho ducados al mes ...	3.072 ds
Para hacer labor de maíz, yuca, platanales, y acudir a todas las faltas que se ofreciesen veinte negros, y un español que los gobierne, tendrá sueldo de cien ducados al año ...	100 ds	Ha de haber Castellano en el castillo de Borburata, que tendrá de sueldo cincuenta ducados al mes, y como el Castellano del Morro de La Habana, ha de tener a su cargo y cuenta el cobre que se fuese trayendo de las minas, y entregarlo en los galeones que fuesen de Castilla, y ha de ser Protector de los indios Guamonteyes que ((15)) hubiese en aquel puerto y gobernación y de todos los demás indios que hay en la costa del mar de la provincia ...	600 ds
Para llevar el cobre de las fundiciones al puerto de La Concepción, siete negros, catorce carretas y un español que los administre, que tendrá cien ducados de sueldo cada año ...	100 ds	Ha de tener el Castellano Teniente con veinte ducados de sueldo al mes ...	240 ds
En el puerto de La Concepción ha de haber un español que reciba y entregue el cobre, así como los bastimentos, pertrechos y herramientas que subieren a los ingenios con libro de cuenta y razón. Tendrá de sueldo veinticinco ducados al mes, y ocho indios que le ayuden y hagan comida de maíz ...	300 ds	En cuanto a la parte donde se ha de situar esta cantidad, será servido a Vuestra Majestad de librarla en la caja Real de Santa Fé, que por tierra se puede traer con muy poco gasto, y entrarán en el Tenedor de bastimentos, y con mandamientos se pague; así se ahorran los sueldos de los oficiales Reales, que si sobre este punto se admite su parecer, ahorrará Vuestra Majestad en las Indias muchos ducados, y será mejor administrada la Hacienda Real de lo que hoy es. Además del situado que está dicho, de Sevilla han de ir cada año: cien quintales de hierro, cincuenta de acero, cien hachas, cien botijas de vinagre, cuatro ba-	

riles de aguardiente de a seis arrobas, que todo costará mil ciento cuarenta y cinco ducados, (también) otras cosas menudas de poco costo para el beneficio de los negros, de que dará memoria a su tiempo. Todo lo cual ha de estar a cargo del Administrador de Sevilla, enviarlo y embarcarlo en los galeones ... 1.145 ds

Las personas que se han de ocupar en esta fábrica son las contenidas en este artículo, que hacen ciento diez españoles, y trescientos cincuenta y cinco negros. Para tenerlos seguros y para que asistan con gusto al trabajo y no vayan a menos y se excusen pecados, han de ser casados, (así que) para ellos se han de comprar otras tantas negras, que ellos y ellas y los hijos que tuvieren servirá al tiempo que está dicho en el material que dio Vuestra Majestad, las cuales son menesteres para los costos referidos, y para otros oficios livianos, y hacer de comer a los negros, e hilar algodón para vestuarios de sus maridos e hijos ((16)).

6
ARTICULO SEXTO

Qué costará poner en punto esta fábrica, y dónse se comprarán los negros, ganados y herramientas

Aunque esta parte parece la mayor y el todo de esta fábrica, la juzga por la menor, supuesto que el gasto que en ella se ha de hacer es una vez y en tres géneros, y el menor el que tiene merma y se consume, que es las herramientas. Mas los dos que son los negros y ganados, con la ayuda de Dios han de estar vivos y aumentados. Considerando que los negros han de multiplicarse, como se ve en todas las Indias, estos no han de ser de peor calidad, antes de mejor, ya que el trabajo será tolerable y la tierra donde se han de poblar, muy sana por el buen temple que tiene, lo acomodado a su naturaleza, las aguas y comidas que se produce de maíz, yuca, plátanos, auyama y otras legumbres, todas comidas que usan los negros, en todo el tiempo se hallan. El gasto que se hiciese así por el aumento de la generación, como por el valor de sus personas, pues con el uso de los oficios, dentro de pocos años vale uno por cuatro.

Y los ganados será lo mismo, pues no se han de matar de ellos las hembras, solamente los novillos.

La parte donde se comprarán los negros, ha de ser Lisboa, por valer allí baratos, tener tomada la tierra y hallarse algo ladinos ((7)) y algunos oficiales; si no se pudiese acomodar toda la cantidad, se comprará el resto en Santiago de Cabo Verde, que son negros de ley, y con la misma facilidad y costo de Lisboa, se llevarán a Borburata como se verá por la carta de marear.

(7) Ladinos: que habla la lengua.

El costo será cien ducados cada negro, y el costo de llevarlos desde Lisboa o Cabo Verde a Borburata de dieciséis a diecisiete ducados, dándoles a los dueños de los navíos algunos permisos que el dirá a su tiempo. La navegación es corta y segura, pues en mes y medio está hecha.

Si se compran los negros en Cartagena, costarán el doble, y no tan buenos de llevarlos a Borburata, aunque llevarlos costará un poco menos que de Lisboa, por ir las fragatas vacías a la laguna de Maracaibo y costa de Tierra Firme, llevan mucho riesgo de mar y enemigos, por ser la navegación más larga que de España, y por travesías y canales peligrosos ((17)).

Traerlos de Angola, es mucha la dilación y riesgo de salud, mar y enemigos, (además) no son negros de tanto trabajo, ni tan buena ley como los de Cabo Verde, y cuando llegan son tan bozales (8) que en un año no son de provecho.

Monta el valor de las setecientas diez piezas, setenta y un mil ducados ...	71.000 ds
De flete desde Lisboa o Cabo Verde a Borburata costará de dieciséis a diecisiete ducados y contando cada pieza a diecisiete ducados y medio monta a once mil y setecientos quince ducados ...	11.715 ds
Las ocho mil cabezas de ganado vacuno costarán dieciséis mil ducados, y las doscientas yeguas y caballos seiscientos ...	16.600 ds
De las herramientas, hierro y acero dará memoria, que por ser muchas y diferentes, no las escribe aquí, que costará de cuatro a cinco mil ducados ...	5.000 ds
Para fletes, matalotajes, ayuda de costos a los oficiales, y otros gastos extraordinarios, veinticinco mil seiscientos ochenta y cinco ducados ...	25.685 ds
Con que se ajusta a ciento y treinta mil ducados, y así lo entiende en Dios y en su conciencia ...	130.000 ds

7
ARTICULO SEPTIMO

Que es forzoso poblar tres lugares, y en qué sitios se han de fundar, y de las poblaciones de los indios Caquetíos, Guamonteses, y puerto de Patanemo

Porque se sabe que el principal intento de Vuestra Majestad y del Real Consejo, es reducir a nuestra Santa Fé Católica los indios que hay en todo lo descubierto y en lo que se descubriese de las Indias y poblarlas de cristianos, y ser forzoso para poner en perfección las minas

(8) Bozal: negro inexperto recién llegado de su país.

y fundiciones del cobre, poblar, y fundar de nuevo tres lugares, con lo que se consiguen ambos intentos, y los cuatro que del principal del cobre nacen, y el gran servicio que se ((18)) hará a Dios nuestro Señor, reduciendo a su Iglesia a los indios de la provincia de Nirgua, y otros muchos que están en Venezuela sin conocer a Dios, lo que será el mayor fruto de esta obra. Se dirá en dónde se han de hacer las fundaciones conforme lo que ha visto en dicha provincia.

La primera ciudad se fundará en la provincia de Nirgua, por ser como es tan rica de minas de oro y el de más quilates de todas las Indias, pues por su bondad y fineza se marcaba con diferente marca que todo lo demás, y el mejor temple de toda la Gobernación de Venezuela. Los indios de la provincia de Nirgua están levantados y en guerra y son salteadores de caminos, en donde han muerto muchos españoles y negros, robándoles las haciendas, (también han) muerto muchos indios de los que están en paz en sus confines y los que tienen menoscabados; por esta causa (están) despobladas todas las minas de oro que hay en dicha provincia. (Así) a los caminantes que van al Nuevo Reino de Granada, y los vecinos de la Gobernación de Venezuela que han de atravesar a Nirgua, se les recrecen grandes gastos en escoltas de soldados que pagan en Nueva Valencia y Barquisimeto, por esta causa Vuestra Majestad los tiene dados por esclavos a los que conquisten. Las sabanas donde se ha de fundar el hato de las vacas están dentro de la provincia de Nirgua, y en el medio de ella, por no haber otras acomodadas en toda la comarca para la cría de ganado. El llevarlo a las minas del cobre y al puerto de Borburata, traerá la obediencia a Vuestra Majestad de los indios y se castigarán sus delitos. Por todo lo referido es fuerza y obligación que Vuestra Majestad le corre, y al decirlo, pues lo ha visto, se pueble en dicha provincia una ciudad en el sitio que estuvo poblado el fuerte (9), que es el mejor de toda ella, que es donde lo muestra la pintura. Con lo cual cesarán todos los daños referidos, y se sustentarán las minas y fundiciones con tan pequeño costo como está dicho, y se beneficiarán las minas de oro que están despobladas en dicha provincia.

Para que se vea lo mucho que se pierde en no labrarse las minas de oro, y cuán forzoso es fundar en aquel sitio una ciudad, se refieren todas las minas de oro que vio despobladas, y que no se labran por dicha causa, que semejantes riquezas es justo se gocen, y Vuestra Majestad no esté defraudado de los quintos, y otros derechos que interesa a la Real Hacienda. Están despobladas y no se labran las minas del río ((19)) Tocuyo, que es junto a Valencia. Las de la quebrada de Barreda, las del río Chirgua, que son muchas y muy buenas. Las de Bejuma, las del Picacho, pues cuantas quebradas bajan de él, dan oro, y las del río Buría, que eran las mejores de todas, y las

(9) A fines del siglo XVI existió el fuerte de San Juan de Nirgua.

de la montaña de San Pedro, que son muchas. Además de dichas minas, las de Apa y Carapa, que están a veinte leguas de San Sebastián, están despobladas por haber faltado en aquel sitio los naturales y mineros, y son las más ricas de toda la Gobernación.

Toda la provincia es muy fértil para la cría de ganados mayores y menores, zarzaparrilla, algodón, azúcar, tabaco y cáñamo, por tener la tierra la calidad que estas semillas piden, y asimismo muy fértil para todo género de comidas, de maíz, casabe, y las demás que se usan en las Indias.

En cuanto a la segunda ciudad que se ha de poblar, será en las minas de cobre, que por la mucha gente de ministros, soldados, oficiales y negros, que en el manejo y beneficio de los ingenios y fundiciones se han de agregar, es forzoso estén en forma de ciudad y tengan justicia y Cabildo que los gobierne, además que irán otros muchos vecinos a poblar, por gozar de la fertilidad de aquella tierra, y labrar las minas de oro que hay en el río Casamia, y se descubrirán otras muchas en aquella serranía, porque la disposición de la tierra las promete, pues desde el sitio de las minas de cobre hasta el mar, habrá de quince a dieciséis leguas, y en más de cuarenta en ancho no se han hallado españoles ni se sabe lo que hay en este golfo, más que lo que se juzga desde afuera, por ser las tierras y llanos toda montañas de altísimos árboles. El sitio donde se ha de poblar la ciudad es al lado de los ingenios y fundiciones en tierra llana, y con las calidades que está dicho en el principio del artículo antecedente.

La tercera ciudad será en el puerto de Borburata, que al principio del descubrimiento de la Gobernación de Venezuela se pobló y despobló pasados muchos años por quemarlo los ingleses, y de allí se retiraron los vecinos y fundaron la ciudad de Nueva Valencia.

El sitio de este puerto es como la pintura lo señala, y (es) tan inexpugnable, que fortificado no habrá en las Indias puerto ni lugar más seguro en toda la costa del mar que señala la pintura, porque desde la Guaira hasta dicho ((20)) puerto son sierras en que bate el mar y no hay desembarcadero. Desde Borburata al río Tocuyo es (el) Golfo Triste donde no sale navío que en él entra. En el sitio que la pintura lo señala han hecho un castillo que defiende a Puerto Cabello y Patanemo.

Cortada una restinga que tiene treinta pasos de ancho que divide una salina del mar (10), y haciéndole un foso por la sabana, y comunicarle el agua con la ciénaga de Puerto Cabello, que es como la pintura lo señala, quedará cercado sobre el puerto lo que fuere bastante para el sitio

(10) En este párrafo se indica que el puerto quedaría *islado*. En la figura 4 se señalan con las letras A y B los posibles sitios donde cortar las restingas, y en C la ubicación de un foso en la sabana, con lo cual según Gaytán de Torres se hubiera logrado tal objetivo.

de la ciudad, dejándola islada como está Venecia, que a semejanza del sitio y riquezas que la tierra tiene, se le puso el nombre de Venezuela.

Este puerto es el mejor que he visto en las Indias, no tan grande como los de Cartagena y La Habana, más bastante para las armadas y navíos que pueden ir a él. Es ahondable, como consta de los autos y diligencias que hizo el Teniente de la Nueva Valencia, escribano y testigos, y así él lo certifica. La forma es de una herradura, la navegación a Cartagena es a popa (11), y a La Habana a un largar está guardado al Este y al Norte, como se muestra en la pintura y carta de marear. El agua es tan quieta en él, como en un estanque, y tan a pique y hondo por las orillas, que junto a ellas tiene seis brazas de fondo que puede tener plancha en tierra el mayor galeón del mundo. Entre el puerto (12) y la montaña de Santa Lucía está una sabana fértil de hierba para ejidos, y prado de la ciudad de más de media legua en cuadro, sin cerro, ni padastro al fuerte que se hiciera. El río Borburata pasa arrimado a la montaña de Santa Lucía, y es la mejor agua

(11) Con el viento a favor, —viento en popa—.

(12) Sugiere abrir un canal en la barra de arena que separa el puerto de Borburata con la laguna de Puerto Cabello (B en la fig. 4).

que hay en toda aquella costa. Los valles, y ríos que la pintura señala son fértiles para tabaco, cacao, azúcar, maíz, yuca, algodón y todo género de frutas y agro, abundantes de maderas incorruptibles para fábrica de navíos y galeones, y asimismo de zarzaparrillas. Hay muchas salinas en el contorno, y el puerto es el más acomodado de toda aquella costa para embarcar el cobre, pues tiene las comodidades y fortaleza que muestra la pintura y carta de marear. El temple es más afable que el de Cartagena por las altas y grandes sierras que tiene cerca, las noches muy regaladas, el mar muy abundante de pescado y marisco, y casi en medio de la Gobernación, y en el paso de camino que importan para el comercio. Los términos y jurisdicciones que han de tener estas ciudades dirá a su tiempo, para no dilatar esta relación, y el terreno del sitio del Castillo Peña, como lo muestra la pintura ((21)).

En Puerto Cabello que está junto a Borburata, se fundará el pueblo de los indios Guamanteyes, que han sacado de los llanos por engaño y están poblados en el valle de Acarigua, cerca de la ciudad de Barquisimeto. El Gobernador los ha dado en custodia a algunos vecinos de Barquisimeto y El Tocuyo, por haber mandado Vuestra Majestad que no se encomienden, y son poco más de mil, sin otros muchos de esta nación y tierras, traídos por el mismo

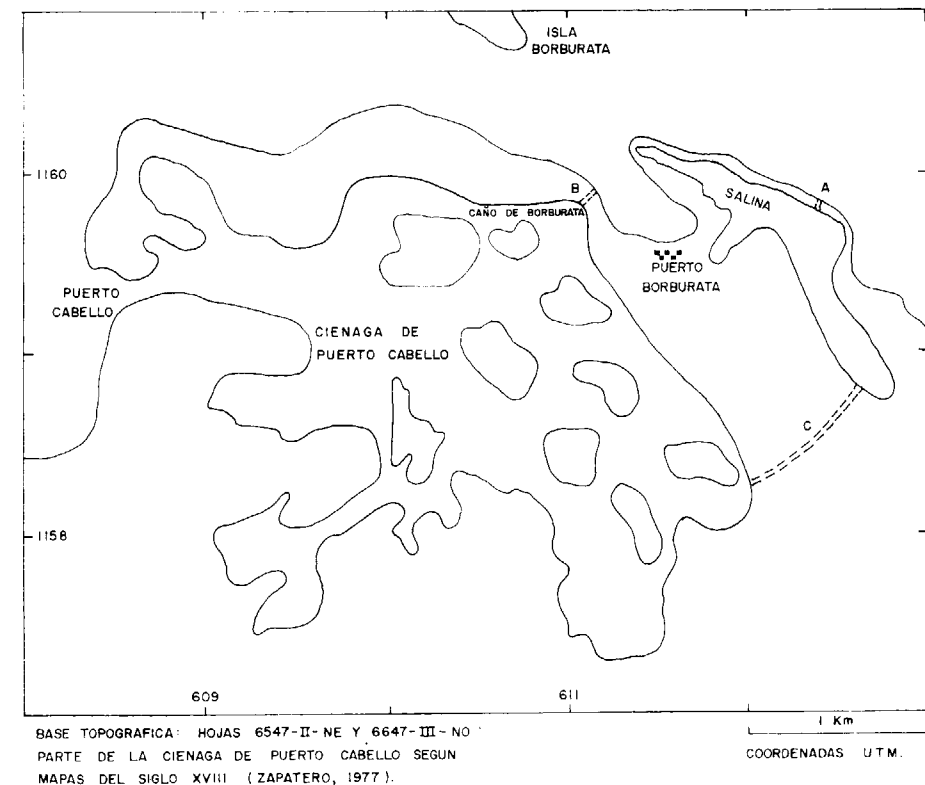


Figura 4.—Mapa de Puerto Cabello y Borburata.

orden y que están repartidos en la Gobernación. Con los cuales se trajinará el cobre en canoas por la acequia y río Aroa, y en esto se ocuparán cosa de cien personas por su rueda entre todos, y de los que restan acudirán dos días de la semana a la obra de la fuerza y a las demás públicas de la ciudad, y así no tendrá más gasto la fortificación que en los maestros españoles, porque en el sitio donde se ha de hacer el castillo hay tantas piedras amontonadas, como que para este intento se hubiesen mandado a juntar, y de ella se ha de hacer cal (13), porque es de su naturaleza, causa para admirar, como otras muchas que ha visto en este negocio. Porque no es de menos admiración la del sitio por donde ha de ir la acequia, lo diré aquí, pues en un distrito de treinta y nueve leguas que tiene la costa del mar, como ha dicho, toda es sierras, hasta besar el agua, sin poderse caminar media legua de playa, por los grandes riscos y volcanes en que quiebran las olas, y todo el distrito que hay desde la boca del río Aroa hasta el puerto de Borburata las sierras de desvían del mar, dando lugar, para que se pueda hacer la acequia, dejando un llano tan apacible, que en todo él no hay cerro como un puño, y tan a nivel, que apenas tiene corriente para la acequia de tierra noble y sin peñas. En los cuatro días de la semana que les quedará a los indios, harán sus comidas, y abastecerán la ciudad, y ganarán dinero para vestirse, y será comodidad para los vecinos, tener a la mano servicio por su dinero. Esto de la ocupación de los dos días, no ha de ser perpetua, sino en esta ocasión, y los indios gustarán mucho de servir a Vuestra Majestad y estar bajo la protección de Vuestra Majestad como lo están los indios Caquetíos, porque en el modo que hoy están con título de custodio, trabajan mucho más que si fueran encomendados.

Los indios Caquetíos que hay libres de encomienda en la Gobernación están la mayor parte de ellos poblados en el río Tocuyo, y en la Gobernación hay otros muchos divididos ((22)) por las sierras de Coro, que como no están encomendados, vive cada uno donde quiere, sin acudir a doctrina, ni reconocer a Dios y para que sean administrados los Sacramentos, será servido Vuestra Majestad de mandar a poblarse todos juntos en dicho río, que él con decirlo, descarga su conciencia.

Además de estos indios Caquetíos libres, hay otros muchos en la Gobernación que son de esta casta, hablan la misma lengua que todos y estaban sujetos al gran Naure, que dio la obediencia a Vuestra Majestad al punto que vio los españoles. Y en relaciones que han hecho no muy ciertas, y el interés que se sigue a los Gobernadores, de encomendarlos, están encomendados. Hacer servicio a Dios, en que como fueren vacando, queden libres, como los demás de su nación, y desde luego se pueble en la

(13) La piedra de cal corresponde a los afloramientos de mármoles de la Formación Nirgua que existen en casi todas las filas que terminan hacia Borburata y Puerto Cabello.

salida del camino que va de Nirgua a la montaña, cerca del río Yaracuy, porque en aquel valle están todos los más poblados. Los que estuvieren en cualquier parte, se traigan allí, (lo que) será de importancia para la conquista de Nirgua y (para) comodidad de los que caminan al Reino y a los demás lugares de la Gobernación, así como para abastecer las tres ciudades, pues quedan en medio de ellas, gozando del privilegio y merced que Vuestra Majestad les tiene concedida, y que fue adquirida por la buena correspondencia que tuvieron con los españoles, cuando entraron a la provincia, y por la lealtad que siempre han tenido.

El puerto de Patanemo está en el sitio que la pintura le señala, y por estar tan cerca de Borburata, conviene tenga alguna guarda. Para que la tenga, en el valle de este puerto hay algunas estancias de cacao, que son de don Agustín de Herrera, Diego de Avila, Gaspar Camacho, y para su beneficio ellos traen indios del valle de Guacara, donde tienen las encomiendas. Pero por haber dividido las poblaciones, ni unos ni otros se administran de Sacramentos, ni hacen servicio a Dios. Para seguridad del puerto (se ha de) mandar se pueblen todas las tres encomiendas juntas en la boca del río Patanemo, que es el sitio a propósito y cercano con más comodidad para que los indios puedan acudir a beneficiar las estancias de sus encomenderos que están muy cerca del sitio y puerto, y así serán administrados de Sacramentos, los pasajeros tendrán hospedaje para su camino, porque huyendo de Nirgua, van por allí al Reino, a Coro, a la Laguna, y acudirán con bastimentos a Borburata, y estará guardado aquel puerto con esta población, y con la artillería de Borburata ((23)).

Para que con más fundamento se pueblen y aumenten las tres ciudades, les hará Vuestra Majestad merced de privilegio de esta riqueza de alcabales y almojarifasgos por tiempo de treinta años, y que en España no paguen de los frutos más derechos que los que pagan los vecinos de Puerto Rico y La Habana, y que solamente haya un derecho para que (de él) se pague la gente de guerra del castillo, el Castellano de Nirgua, y tengan algunos propios dichas ciudades.

Que por el tiempo de treinta años no paguen de las minas de oro y plata que labraren más de medio quinto, y que gocen de las preeminencias que gozan los que tienen minas en Zaragoza de las Indias. Que al puerto de Borburata vaya cada año un navío o dos, con negros en cantidad de cuatrocientas piezas para la labor de las minas de oro, haciéndole Vuestra Majestad merced, que por dicho tiempo de treinta años no paguen de los negros más de la mitad de los derechos que a Vuestra Majestad pertenecen en Castilla, Portugal e Indias. Que de Pamplona y Zaragoza vayan dos mineros, que enseñen a labrar las minas de oro de veta y lavado, porque hoy no hay en Venezuela quien sepa labrar las minas de oro, por haberse muerto o ausentado los que solían labrarlas, por causa

de la guerra. A los cuales será Vuestra Majestad servido de hacer alguna merced particular, para que vayan a lo referido.

Conforme a los autos y parecer que ha presentado, hechos en las minas y en Sevilla, para la verificación de que sí se puede sacar cada día cien quintales de cobre, consta que se pueden sacar pues en tres horas de trabajo de un hombre, se sacó de la mina treinta y seis arrobas de metal, y fundido en las minas dos quintales, acudieron al tercio, y fundidos en Sevilla otros dos, se sacaron 75 libras, que es más del tercio de cobre, y uno y otro de primera fundición en tiempo de hora y media cada quintal, que regulando la cantidad de negros que se aplican al trabajo de las minas, se puede sacar de ellas mucha más cantidad de piedra de la que es necesaria para sacar cien quintales de cobre. Y regulando el tiempo en que se fundieron los dos quintales de piedra en Sevilla en un horno, y la cantidad de hornos que se dispondrá en la primera casa de fundición, y el modo de su relación, se verifica poder fundirse los cien quintales de cobre cada día. Con lo cual, y con las informaciones que están en los autos de la grandeza de las minas, y el parecer que dio don García Girón, están ((24)) satisfechas las dos dudas que opuso el Consejo, que son, si habría minas que diesen la cantidad referida, y si habría ingenios y fundiciones que las pudiesen beneficiar. Por las diligencias hechas en Sevilla sobre la calidad y bondad del metal, parece no ser a propósito para calderas, y (si) para todas las demás cosas que de este metal se labran (y) tan bueno como el de Hungría y mejor que el de La Habana.

Baja de la cantidad de maravedíes que monta la situación a 2.198 ducados que tendrían de costo cada año los oficiales de las dos casas. De los ingenios para afinar el cobre y hacerlo tableros, y del costo de los negros 6.524 ducados, quedará líquido para la situación de cada año, 21.019 ducados. Valdrán a Vuestra Majestad los cien quintales que cada día se sacarán, regulado el año a doscientos setenta días de trabajo, y al precio que a Vuestra Majestad cuesta el cobre para artillería y moneda, que es de dos reales y medio, 613.636 ducados, que bajados, 21.019 ducados, quedará líquido, cada año, 592.617 ducados. De los 130.000 ducados que habrían de costar los negros, se bajan los dichos 6.254 ducados, que habrían de costar los negros que se habrían de ocupar en las casas, y quedará líquido por el principal costo, 123.436 ducados, además de los grandes aprovechamientos que a la Real Hacienda se sigue en labrarse las minas, y poblarse el puerto de Borburata, como más largamente se verá por los cuatro artículos que a estos siete se siguen ((25)).

De los siete artículos referidos: la riqueza de las minas, el sitio en que están, el río por donde ha de salir el cobre al mar, la acequia o navillo que se ha de abrir, las montañas por donde ha de pasar, las paquerías que se han de introducir, las pesquerías que se han de armar, el puerto

que se ha de fortificar, los galeones que han de ir a él, la gente que lo ha de administrar. De todas estas cosas se componen otros cuatro artículos o conveniencias, que apoyan más la labor de las minas del cobre, y aminoran el costo. Los cuatro (se han) añadido por haber ido y andado con cuidado mirando, atendiendo y confirmando con personas prácticas (sobre) todo lo que comprende esta relación y vista de ojos, pintura y navegación de su viaje. (También) reparado en: el estado en que están las fuerzas del mar de estos Reinos de Castilla, la poca guarda que hay en los mares y costas de las Indias, los grades gastos que de la Real Hacienda se hacen habiendo alguna armadilla en las Indias, los inconvenientes que el tiempo ha descubierto en materia del tabaco (que han platicado con él los vecinos de las provincias de la costa de Tierra Firme, a quienes están repartidas veintidós mil arrobas de tabaco cada año), en los gastos que se recrecen a la Real Hacienda en el modo en que se ha mandado administrar; (ha encontrado) que se pueden excusar y obviar todos los inconvenientes que consigo traen, al fortificar estos Reinos de Castilla, sus costas y puertos de navíos, y lo mismo en las Indias si se hace como va dispuesto en ésta su Relación. Salva la corrección de las muy graves personas que la han de ver, perdonando los yerros, por la intención con que van dichos.

- 1.—El primer artículo contiene la comodidad y poco costo con que se hará una fábrica de navíos y galeones en Borburata.
- 2.—El segundo, que se haga fundición de artillería en Borburata.
- 3.—El tercero, cómo se guardarán las costas de Tierra Firme e Islas de Barlovento.
- 4.—En el cuarto, del modo en que se debe administrar el tabaco ((26)).

I ARTICULO PRIMERO

Que contiene la comodidad y poco costo con que se hará la fábrica de navíos y galeones en Borburata

En cuanto al primer artículo, por haber visto la falta de navíos de armada que Vuestra Majestad tiene en los puertos de España, lo que importa la guarda de sus mares, costas y estrecho de Gibraltar, y asimismo la comodidad y poco costo con que se fabricarán en el puerto de Borburata: por la abundancia de maderas que hay en todas las serranías y valles cercanos al puerto y la comodidad con que se llevarán los demás pertrechos, la importancia de que en las Indias haya mastranza asentada y fija, la bondad de los navíos criollos. Todas son conveniencias para poderse hacer, y (por) la afición y celo que tiene del aumento de lo que se va tratando, ha dado causa a escribir estos renglones.

La fábrica de un navío se compone de madera, hierro, árboles (14), jarcia (15) y manufactura. En cuanto a la primera parte, por la información que está en los papeles del cobre, consta: la gran abundancia de montañas, la grosedad de árboles de incorruptibles maderas que hay en el sitio de Borburata y los demás cercanos a él, la facilidad con que se juntarán en dicho puerto, como se muestra por la pintura que él certifica ser así; por ser cosa que no tiene duda ni dificultad, traerse la madera hecha a dicho puerto, por la acequia o navillo que ha dicho (16). Se podrán fabricar cada año cuatro galeones de quinientas toneladas, teniendo Vuestra Majestad en dicho puerto los oficiales y negros que aquí se dirá, porque de personas muy prácticas en esta materia se ha informado en La Habana en el tiempo que estuvo aguardando pasaje para estos Reinos, y con particular cuidado asistió muchos días en las fábricas que el Capitán Ferrera y otros vecinos tienen en dicho puerto, y vio la cantidad de oficiales y negros con que las manejan.

Haciéndose la de Vuestra Majestad por el mismo orden, costará cada galeón de quinientas toneladas conforme a la fábrica nueva, lo que se verá por las sumas de sueldos de los oficiales y pertrechos, y el costo de los oficiales cada día será menor, porque los negros se irán desperdiciando en los oficios, y despidiendo los españoles que en los principios ((27)) no se excusan, que serán los que van nombrados en esta relación.

En cuanto a los árboles, jarcia, hierro y demás pertrechos que son menester para cuatro galeones del porte que está dicho, se dice en las memorias que van en este artículo el costo que tendrán por mayor, y los precios que costará lo referido. Sólo dice para comodidad y beneficio de la Real Hacienda que hay en los galeones que tiene dicho vayan a Borburata, y se lleven todos los pertrechos, (ya) que en esto consiste una gran parte del costo. Si se quiere ahorrar en la clavazón, y demás cosas de hierro a más de sesenta por ciento del costo de Sevilla, mandará Vuestra Majestad se labre en Vizcaya, haciendo asiento con un señor de herrería para cada año de la clavazón, pernería, anclas y las demás cosas de hierro, y en los navíos de armada de aquella provincia de las cuatro villas, o en uno de ellos se traiga cada año a Cádiz, y se entregue en los galeones que hubieren de venir a Borburata. De los árboles, jarcia, velambre y las demás cosas contenidas en la memoria que se traen de las partes Septentrionales, se haga asiento con un Flamenco para que cada año tenga en Cádiz los géneros de que se hiciese el asiento, que será de importancia hacerse la prevención por este modo.

(Una vez) poblada la provincia de Nirgua, se excusará el costo de jarcia y velamen (ya) que en ella se criará

(14) Palo o mástil de un buque.

(15) Aparejos y cabos.

(16) Se refiere a la acequia que propone construir desde Boca de Aroa hasta Borburata.

mucho cáñamo, porque la calidad, temple y suelo de aquella tierra es a propósito para esta semilla.

Asimismo los galeones llevarán los soldados, marineros y artilleros que han de traer los galeones nuevos, y dejando al primer año todos los pertrechos del siguiente, y cuando lleguen a Borburata hallarán los nuevos (galeones) cargados de cobre y tabaco, y de vergas en alto para proseguir el viaje. Ocupando los galeones que van de Castilla con lo referido, no irán cargados de haciendas de particulares, porque de una o de otra han de ir abarrotados, y ya que no se le puede poner remedio enviándolos cargados, y ocupados los bucos con las cosas que convienen para el Real servicio, no tendrán en que ir las mercaderías que llevan, y así irán más navíos en las flotas, lo que resulta (en) aumento a la Real Hacienda.

En cuanto a la gente que ha de administrar esta fábrica, que es el mayor gasto que Vuestra Majestad tiene en comisiones semejantes en ésta, y en las demás que se han de hacer en el puerto de Borburata, (pero) se excusarán porque para el cobre se ha de nombrar ((28)) persona que lo administre, quien administrará ambas fábricas con un sueldo. (Así) para el cobre se abre la acequia o navillo, y por él (también) se ha de sacar la madera sin costo de acarreo, que tan solamente han de ayudar algunos de los indios Guamonteyes. Para la guarda del cobre y (del) puesto, se ha de hacer (un) castillo y en él se almacenarán los pertrechos de esta fábrica, y estarán tan a la mano como lo muestra la pintura. La persona que tuviese a su cargo el castillo y el cobre, (también) tendrá los pertrechos, sin añadirle más salario que para un oficial que tenga los libros.

Para sustentar de pan esta fábrica, en los negros que van señalados hay cantidad para todo. Para el sustento de carne, se proveerá del ható que se ha de fundar para las minas, añadiendo cuatro mil vacas en las sabanas de Chirgua, y para su administración, (ha de haber) un español que tendrá de sueldo cien ducados, quien traerá cada mes el ganado que se ha de comer, y lo mismo será con el pescado de las pesquerías de Tucacas que se proveerá sin añadir costo, y de este modo está dispuesto que se pueda acudir a todo. De donde se han de llevar los negros de las minas, se llevarán los de esta fábrica, y con los oficiales que se han de llevar para el cobre, irán los de esta fábrica, y con el gasto (con) que se ha de traer el situado del cobre, se traerá el de esta fábrica, y así se acomoda todo con un (solo) gasto. (Mientras) que si para cada fábrica de éstas se han de nombrar la máquina de mirones que toman nombres de ministros, será el gasto excesivo y el intento no se consigue.

Haciéndose en Borburata lo que se ha dicho y se dirá, se puede hacer con tan pequeño costo, como aparece en las memorias y sumas de esta relación, mayormente siendo como es de un señor y en un sitio, así lo pueden administrar todo unas mismas personas, que a veces por haber muchas jurisdicciones en un lugar, no se hace el

servicio de Vuestra Majestad. En cuanto a los jornales en la copla de los oficiales se verá como se sigue.

Memoria de los oficiales y negros que en un año harán cuatro galeones de quinientas toneladas cada uno, conforme a la fábrica misma y los sueldos y costo que tendrán

Ha de haber un maestro carpintero con título de maestro mayor, que tendrá de sueldo treinta ducados de Castilla al mes, y ración de pan ((29)), carne, pescado y sal, y asimismo la han de tener todos los demás oficiales, que regulando el valor de la ración, se les modera el salario	360 ds
Ha de haber otro oficial carpintero con título de segundo maestro, y tendrá de sueldo veinticuatro ducados al mes	300 ds
Ha de haber un maestro tornero, tendrá de sueldo veinticinco ducados al mes	300 ds
Ha de haber cuarenta y ocho oficiales carpinteros, que cada uno tendrá de sueldo veinticuatro ducados al mes	13.824 ds
Ha de haber deciséis hacheros, a quince ducados cada uno al mes	2.880 ds
Ha de haber nueve aserradores, a nueve ducados cada uno al mes	972 ds
Ha de haber veinticuatro calafates, a veinticuatro ducados al mes cada uno	6.912 ds
Ha de haber veinticuatro marineros a ocho ducados al mes cada uno	2.304 ds
Ha de haber seis españoles, para mandar los negros, y asistir uno en cada galeón, tendrá de sueldo cada uno diez ducados al mes	720 ds
Ha de haber dos herreros, y cada uno tendrá de sueldo veinticinco ducados al mes	600 ds
Ha de haber ciento cuarenta y cuatro negros.	29.172 ds

Memoria de los pertrechos que han menester cuatro galeones de quinientas toneladas, conforme a la fábrica nueva

Dos mil doscientos seis quintales de clavazón, pernería, anclas, hierros del timón y cadenas de guarnición, vale uno con otro en Sevilla a seis ducados, monta trece mil doscientos treinta y seis ducados	13.236 ds
Ocho cajones de clavos de alfarjía, cuesta el cajón a seis ducados	48 ds
Cuatro cajones de clavos de barrote, cuesta el cajón a doce ducados	48 ds

Cuarenta millares de estoperoles (17), vale el millar a dieciocho reales	64 ds
((30)) Cuarenta y ocho millares de tachuelas de bomba, vale el millar a medio ducado	24 ds
Cincuenta hachas cada año, vale cada una medio ducado	25 ds
Cuatro quintales de acero cada año, para calzar hachas y barrenas, vale doce ducados el quintal	48 ds
Veinte quintales de hierro cada año, a tres ducados y medio cada quintal	70 ds
Los árboles para cuatro galeones de a quinientas toneladas, conforme a la fábrica nueva, costará en Sevilla o Cádiz seis mil ducados, que son cincuenta y dos piezas	6.000 ds
Ochocientos quintales de jarcia, y de la forma que ha de ser se dará memoria a su tiempo, vale una con otra a seis ducados en Sevilla o Cádiz	4.800 ds
Catorce mil varas de paca para dos equipamientos de velas a cada galeón, vale a dos reales la vara	2.545 ds
Ocho quintales de hilo de vela, a dos reales la libra	145 ds
Cien quintales de estopa, vale a dos ducados el quintal	200 ds
Doscientos quintales de brea, vale a dos ducados el quintal	400 ds
Cuarenta quintales de sebo, esta cantidad se sacará del ganado que se ha de gastar en esta fábrica.	

27.643 ds

Sueldo de oficiales	29.172 ds
Costo de pertrechos	27.643 ds
Valor del costo	56.815 ds
Cuarta parte del costo	14.204 ds

Si a Vuestra Majestad le pareciere costoso haber de enviar cada año ((31)) de España, a soldados, marineros y artilleros para traer cuatro galeones nuevos, se puede excusar este gasto, mandando que la flota de Tierra Firme vaya al tiempo que solía, y que los galeones salgan quince días antes de lo que ahora salen, y que como habrían de ir ocho, vayan cuatro derechos a Borburata llevando todas las cosas referidas en esta relación, y estén allí ocho días de los quince que anticipan el viaje, y (luego con los cuatro galeones nuevos) prosiguen a Cartagena, donde hallarán la flota despachada, (y así) vuelven flota y ga-

(17) Clavos cortos con cabeza grande.

leones y cesarán los inconvenientes que tienen, al ir flota y galeones juntos. Desde Cartagena proseguirán todos ocho su viaje a La Habana, donde estará la flota de Nueva España que por el tiempo que se anticipa a la de Tierra Firme. (Así) los galeones vienen todos juntos y en verano, seguros de los temporales que en invierno los pone en ocasión de perderse (como se ha visto, y cada día ha sucedido, como se ha visto en este año de 1621 que desbaratados han venido), y cuán bien llega la flota de Nueva España, y las fuerzas aumentadas a vuelta viaje, que es cuando se teme de que el enemigo les ofenda, sin añadir gasto a lo que hoy hace, antes aumentando Vuestra Majestad a cuarenta y ocho mil ducados cada año, que darán los asentistas por el flete de los cuatro galeones que han de venir nuevos cada año, como hoy lo dan a los dueños de los navíos que fletan, que por el sitio en que está Borburata, no tiene dificultad lo dicho, como se verá por la carta de marear.

Trayéndose (18) cada año de las Indias cuatro galeones nuevos será forzoso que sobren en las armadas, con (lo) que estarán las fuerzas del mar de los Reinos de Castilla con el aumento que es justo que esté, y asimismo renovadas de galeones las escuadras que Vuestra Majestad tiene en las costas de España, estrecho de Gibraltar, Armada Real y la que cada año va por la plata. Mandando a que los galeones viejos que se fueren desechando, se vendan con licencia para que vayan a la flota de Tierra Firme o Nueva España, se venderá cada galeón por más cantidad de lo que tendrá de costo (uno nuevo) por el modo que va dispuesta esta fábrica. Pues supuesto que los jornales, precios de los pertrechos, es cierto y verdadero, será felicidad que estos Reinos estén tan sobrados de navíos, como lo estarán (una vez) puesta en ejecución esta fábrica, sacando por el modo referido el costo que cada año tiene, y con aventajada ganancia, pues las dos partidas de flete y venta son efectivas a Vuestra Majestad, señor del mar y del enemigo ((32)).

**II
ARTICULO SEGUNDO**

De la comodidad y poco costo con que se fundirá artillería en Borburata

Para que se pruebe que todas las conveniencias de aumento y fortificación de estos reinos de Castilla e Indias, que hoy se ofrecen y puede suceder el remedio de ellas, consiste en que se labren las minas de cobre de las serranías de Cocorote, y se pueble el puerto de Borburata. Porque este género es la principal materia de que se hace la artillería, y sin ella los vasos de navíos y galeones no pueden servir, y llevarla (18) de España para traer

(18) Nótese que siempre utiliza el verbo *traer* para el transporte de bienes desde América a España, y *llevar* para la ruta opuesta.

los galeones que se fabricasen en aquel puerto, traer el cobre para fundirlo en España, es añadir costos a costos, y arriesgar el cobre y artillería a los naufragios del mar; (pero) habiendo como hay tanta comodidad para fundirla, y hacer los encabalgamientos, y tan menesterosa en aquel puerto, si se hace la fábrica de galeones, es fuerza hacerse la fundición (de artillería) en dicho puerto, con (lo) que se obviarán los inconvenientes que ha dicho, y el mucho gasto que tiene Vuestra Majestad en las fundiciones de artillería de Sevilla, Málaga y Lisboa. Y si en estas ciudades se hace, es porque no se habían descubierto estas minas, ni dicho las conveniencias que comprende ésta su relación y vista de ojos.

La artillería con su encabalgamiento se compone de cobre, estaño, carbón, barro y manufactura. El cobre tiene Vuestra Majestad en Borburata para de allí traerlo a España a fundirlo en artillería, (pero) fundiéndose en dicho sitio, las piezas vienen hechas, encabalgadas y sirviendo. (De) que la fundición será a menos costo en Borburata que en Sevilla es cosa llana, pues en dicho puerto están todos los materiales con abundancia. Así como el gasto de la copia de los oficiales y negros que van en este artículo, se fundirá cada año la cantidad de piezas que han menester los cuatro galeones que he dicho se pueden fabricar cada año.

El estaño, hierro y acero se llevará en los galeones con los pertrechos de la fábrica y minas. Barro lo hay mucho y muy bueno en la serranía de Santa Lucía y en el valle de Borburata y tan cerca de la fundición como lo muestra la pintura. En muchas partes de esta relación se dice la abundancia que hay de leña, y el carbón se hará con el que se ha de hacer para la herrería de la ((33)) fábrica. Los encabalgamientos se harán a poco costo de las sobras de los árboles que se derriban para la fábrica de galeones, y las personas que han de andar en el monte, una de ellas tendrá a su cargo las plantillas y formas de las cureñas y ruedas, y mandará a los negros que para este efecto se señalarán, las labre con hachas de la madera de la fábrica y se llevará al artillero. En las demás cosas de sustento y administración, milita la razón misma que en la fábrica y minas, pues todo está en un sitio, y es de un señor, como está dicho.

Y para hacer cada mes una fundición, que se harán doce piezas, son bastantes doce oficiales españoles y un fundidor mayor, que tendrá de sueldo cada uno ocho reales cada día de jornal, y cien ducados de sueldo, y la ración ordinaria, y el maestro mayor tanto sueldo, y jornal, y ración como dos oficiales, veinticuatro negros que les ayuden. Montará el sueldo de catorce personas a mil cuatrocientos ducados 1.400 ds

Y los jornales regulados al año a doscientos sesenta días de trabajo, dos mil setecientos cuarenta y nueve ducados 2.749 ds

Además de estos oficiales ha de haber un maestro carpintero para hacer los encabalgamientos de la artillería, que tendrá de sueldo veinticinco ducados al mes, y diez reales cada día que trabajare, que monta sueldo y jornal a quinientos sesenta y tres ducados ... 563 ds
Ha de haber otros tres oficiales españoles, que tendrá cada uno de sueldo cien ducados, y ocho reales cada día que trabajase, que monta ochocientos ochenta y nueve ducados ... 889 ds
Con estos oficiales habrá diez negros para hachear y aserrar la madera, e irán aprendiendo el oficio del hierro y acero. (De los) demás pertrechos se dará memoria, y se llevará por el orden que lo demás de esta relación. La cantidad de piezas y fundiciones que está dicho, se hará con el costo referido, que monta a cinco mil seiscientos y un ducado 5.601 ds

Porque en Sevilla se informó de los maestros y oficiales que ((34)) trabajan en la fundición, por los que vio que estaban trabajando, le parece será cierto lo que se contiene en este artículo, y por la comodidad que tienen de los materiales en Borburata.

III

Cómo se han de guardar las costas de Tierra Firme e Islas de Barlovento, y el costo que tendrá

Por haber oído en todas partes de las costas de Tierra Firme e Islas de Barlovento (en) que han andado, entre los vecinos (hay) un continuo clamor y quejas de: las grandes pérdidas de navíos y haciendas que cada día tienen, de los derechos que pagan de las mercaderías y frutos para las armadillas, y (de) la poca guardia que hay en dichas costas; (esto) ha sido causa de acrecentar este artículo, pues será conveniencia de aumento para los demás que están dichos, y el que se sigue. Considerando la latitud y longitud de las costas de Tierra Firme e Islas de Barlovento, y el peligro de sus navegaciones por la braveza de sus mares, rigurosos vientos y huracanes, e inciertas travesías, y que lo más del año al pasar de las Islas Canarias, corre un viento general en todos aquellos golfos y costas, de cuya causa son las navegaciones largas y peligrosas; así, no pueden estar guardadas con dos galeras en Cartagena, sino con navíos de alto bordo, y no sólo en una parte ((35)), sino en cuatro. Para que tenga efecto, será servido Vuestra Majestad, de mandar allá cuatro escuadras de navíos en las Indias, cada una de dos navíos y un patache, que son bastantes fuerzas para defender y guardar todos dichos mares, puertos y sitios donde conviene estar, serán (las de) Cartagena, Habana, Puerto Rico y Santo Domingo, y han conformado con este su parecer muchos Capitanes y Pilotos, personas capaces en lo que se va tratando, procurando siempre

los más peritos y de mayor opinión con quien comunicarlo, deseando se acierte, y aún todos concluyen que la guarda de las Indias consiste, en que haya cuatro armadillas, y estén en los lugares dichos por los sitios en que están, por estar cerca a los que el enemigo ocupa, aguardando que pasen los navíos y fragatas del trato, y otras comodidades que alude a este intento.

Los navíos para ser de servicios, (han de ser) veleros y de fuerza bastante para resistir la del enemigo, serán las Capitanas de doscientas toneladas y las Almirantas de ciento cincuenta, y los pataches de a cincuenta, que del dicho porte los mandó hacer Vuestra Majestad, cuando se acordó hubiese armada en las Indias. Aunque hay alguno de (la) opinión (de) que la haya y anden la cantidad de navíos junta en una (sola) escuadra con General y Almirante, todos cuantos él ha comunicado, concluyen, que será Vuestra Majestad más bien servido, si andan divididas las escuadras, como se verá por las razones que se siguen.

La infantería que ha de andar en estas tres escuadras, servido la que Vuestra Majestad tiene en los presidios y castillos de las cuatro ciudades referidas, añadiendo al presidio de Santo Domingo otros ciento cincuenta soldados.

Lo primero, cuando se poblaron dichas ciudades, no tenían la vecindad, fuertes y defensa que hoy tienen, y así se puede sacar la mitad de la infantería, y traerla en esta ocupación, como lo hacen hoy los Gobernadores en las ocasiones que quieren enviar algunos navíos a correr las costas. Y consistiendo la guarda de las Indias, en que haya los navíos de guerra en ellas, si andan todos en una armada, no se puede aprovechar de la infantería que está dividida en los cuatro presidios y hacerla de nuevo, serán de gasto.

Lo segundo, aunque se saque la mitad de la infantería de dichos presidios y castillos, no se aminora la fuerza y guarda que hoy tienen, pues efectivos y que sirvan con las calidades que está mandado tenga el soldado. No hay la mitad de los que Vuestra Majestad paga, por la comodidad y poco riesgo con que se sirven, mandando que la mitad de la infantería y artilleros, anden siempre embarcados, estarán todas las plazas llenas de soldados aptos para la ocasión, y no asentarán plazas algunos, que las llevan sin servirlos, con que estarán los presidios y castillos tan guardados de infantería de servicio como hoy tienen, y los navíos armados y las costas y mares guardadas, sin añadir costo en estas armadas para la infantería y artilleros.

Lo tercero, el daño que le ha de suceder a cualquier puerto y lugar de las Indias, ha de ser con armadas que han de ir a ellas, y teniendo las que están dichas, están seguros de este riesgo, y los tratos engrosados por la seguridad del mar, de que resulta aumento a la Real Hacienda, y (la de) los naturales de España e Indias, y

Vuestra Majestad obligación como Rey y Señor, de asegurar dichos mares, pues contribuyen con derechos para lo referido.

Lo cuarto, para cualquier corsario que vaya a las Indias, es bastante fuerte para desbaratarlo cualquiera de las cuatro ((36)) armadillas, y andando como han de andar continuas, sabido en los reinos extraños, no Irán a las Indias corsarios, y se vivirá en ellas con la seguridad (con) que se desea. Y si alguno fuere, por andar siempre en coso y divididas las armadillas, es cierto dar con el enemigo y romperlo, como se ha visto en la ocasión preferente de Cartagena, y como se vio en tiempo que hubo armadilla en Santo Domingo, pues no paró navío en todas sus costas.

Lo quinto, si fuere armada gruesa a las Indias, juntas las escuadras, son bastantes para romper al enemigo, o por lo menos no dejarlo hacer efecto en tierra, pues mientras estuviere la armada de Vuestra Majestad en el mar, no han de osar a dividir sus fuerzas. Si en los años pasados hubiera semejante defensa, no se atreviera el enemigo a pasar a las Indias, ni tomar, ni quemara los lugares que tomó y quemó, ni intentara pasar al mar del Sur, como lo intentó. Y si Vuestra Majestad, en todos los reinos que posee tiene escuadras de navíos y galeras, que guardan las costas y mares. Porque, señor, han de ser los de las Indias de peor calidad?, y han de estar sin guarda, siendo toda la riqueza de estos de Castilla la que viene de las Indias, y unos y otros de Vuestra Majestad.

En cuanto al gasto, sustento y costo de la gente de mar, en todas las escuadras, es bastante el situado que está en Cartagena, ayudado del derecho que se cobra en las Indias, con título de armadilla, que se pagará con mucho gusto, viendo que tiene efecto lo contenido en este artículo, haciéndose las pagas en la forma que va dispuesto y enviando de España vino para dar ración a la gente de mar, se ahorrará la mitad del sueldo, porque a la persona que se da ración de vino se le aminora muy gran parte del sueldo, y no dando vino, habrá de ser el costo al uso de las Indias. Más a Vuestra Majestad, es fácil ponerlo en las Indias con sólo el primer costo de España, enviándolo en los galeones, con el vinagre y aceite que cada año han de consumir las armadillas, y la cantidad de pipas que gastarán cada año, serán doscientas noventa y seis de vino, y de vinagre veinte, y de aceite cuatrocientas arrobas, y dando a cada persona de las que van en la memoria de la gente de mar ración de vino, que es medio azumbre (19) cada día, al cabo del año, monta una pipa, y en el de más a más de la ración a la pipa, hay para la merma, que se da al Maestro. De forma que enviando cada año la cantidad de pipas, referida, hay para sustentar cuatro escuadras, pues (por) el porte que son los navíos, no es menester más gente para marearlos, que los que se indica en la memoria que sigue ((37)).

(19) Azumbre: medida de aproximadamente 2 litros.

**Memoria de la gente de mar que ha de andar
en las tres escuadras de navíos de armada, de la
guardia de las Indias**

Ha de haber ocho capitanes, tendrá de sueldo cada uno cuarenta ducados al mes	3.340 ds
Ha de haber cuatro capellanes, uno en cada escuadra, que tendrá de sueldo cada uno al mes seis ducados	286 ds
Ha de haber ocho cirujanos, que tendrá cada uno de sueldo quince ducados al mes	1.140 ds
Ha de haber doce pilotos, que tendrá cada uno de sueldo treinta ducados al mes	4.320 ds
Ha de haber doce maestros, que tendrá cada uno de sueldo ocho ducados al mes	1.152 ds
Ha de haber doce contramaestres, a ocho ducados cada uno al mes	1.152 ds
Ha de haber doce escribanos a seis ducados de sueldo al mes cada uno	864 ds
Ha de haber doce despenseros, a cinco ducados de sueldo cada uno al mes	690 ds
Ha de haber cuatro calafates, a ocho ducados de sueldo cada uno al mes	384 ds
Ha de haber cuatro carpinteros a ocho ducados de sueldo cada uno al mes	384 ds
Ha de haber cuatro toneleros a ocho ducados de sueldo cada uno al mes	384 ds
Ha de haber noventa y seis marineros, diez para cada Capitanía, ocho cada Almiranta, seis cada patache, a cuatro ducados de sueldo cada uno al mes	4.608 ds
Ha de haber sesenta y dos grumetes, ocho cada capitana, seis cada almiranta, cuatro cada patache, y tendrá cada uno de sueldo tres ducados al mes	2.592 ds
Ha de haber treinta y seis pajes, cuatro cada capitana, tres cada almiranta, dos cada patache, a dos ducados de sueldo cada uno al mes.	964 ds
Que todos los sueldos de gente de mar, suman y monta	23.022 ds

((38)) Por darles ración de vino a los indicados en esta memoria, no se les señala más sueldo como así es costumbres en las Indias. A los soldados y artilleros no se les ha de dar ración de vino, porque tienen a ocho ducados cada mes de paga, que no se pone aquí, porque corre por cuenta de lo que Vuestra Majestad tiene situado para la Infantería de los presidios. No ha de haber en tierra oficiales para la administración, y provisión de estas escuadras, porque lo han de administrar los Gobernadores, y oficiales Reales de las cuatro ciudades, pues ellos cobran el derecho de la armadilla.

Los sitios que estas cuatro escuadras han de correr, son:

La armadilla de Cartagena, las costas de Tierra Firme desde la Isla de Trinidad hasta Portobelo. Por el mes de

marzo saldrá de Cartagena para Trinidad, haciendo escolta y guardia a las fragatas que van a desembocar a la Laguna de Maracaibo, y a los demás puertos de la costa de Tierra Firme e Islas de Barlovento. Llevará cuatrocientas pipas vacías para llenarlas de tabaco, que está repartido en dicha Isla y Cumaná, y tomando puerto y hecha la carga, saldrán para Cumaná y Borburata, como se dice en el artículo del tabaco, y por octubre con los vendavales volverá por segunda vez a Borburata a dar carena, y repararse de lo necesario.

La escuadra de Santo Domingo correrá sus costas y las de la Isla de La Habana, pasando a Nueva España por los situados de su ciudad y los de Puerto Rico y Floridabana, luego volverá en conserva de la flota de Nueva España hasta salir a desembocar, dejando en la Florida el situado que le toca, y llegando a Puerto Rico con lo que le toca, pasando a su puerto con el que le pertenece. Así se siguen dos beneficios, ahorrando todo el costo que en estos situados Vuestra Majestad gasta cada año. Lo segundo, la seguridad con que vendrán los situados en navíos de armada y haciendo este servicio, surte efecto al principal intento, pues va limpiando las costas y sitios donde el enemigo suele estar. Traerá de Veracruz trescientas ochenta y cuatro pipas vacías, que de segunda salida llevará a Borburata, adonde dará carena, y se apertrechará de lo necesario.

La escuadra de La Habana dará dos vueltas cada año a su Isla, a las de Santo Domingo y Puerto Rico, de donde recibirá el tabaco que le está repartido, y lo llevará con seguridad y sin costo a La Habana, a entregar en los galeones; con los vendavales atravesarán a Borburata a dar carena, y repararse de sus menesteres ((39)).

La escuadra de Puerto Rico saldrá a guardar la flota de Tierra Firme en las islas de Dominica, echando de ellas al enemigo, por ser como es el sitio donde puede aguardarla, y le hará escolta hasta Cartagena y Portobelo, y volverá con ella a Cartagena, trayendo la plata en la Capitana y Almiranta de flota. En Cartagena se pasará a galeones, con (lo) que se asegura y se apresura la vuelta a Castilla, para poder venir en verano ambas flotas en conserva de los galeones. Acompañará a los galeones y flota, hasta salir a desembocar arribando a su puerto, donde mudando de infantería atravesará a Borburata, a dar carena por el vino que (le) toca a la gente de mar, porque allí lo han de dejar los galeones, para que se aprovechen las pipas en el tabaco, como se dice en el artículo que se sigue.

ARTICULO CUARTO

**Donde se trata de los inconvenientes que el tiempo ha
mostrado en la administración del tabaco y el remedio
que tendrán**

Por conveniencia del principal intento de esta relación, y de los muchos beneficios que trae consigo, y el por qué

se sigue a la Real Hacienda, labrándose las minas de cobre de Cocorote, y para que se vea el misterioso sitio en que está Borburata, y los inconvenientes que el tiempo ha descubierto en materia del tabaco, acrecienta este capítulo, y dice que estando en la ciudad de Santiago de León, se tuvo noticia de lo que Vuestra Majestad, manda que se haga en la administración del tabaco, donde se hallaron muchos vecinos de (las) provincias comprendidas en dicho asiento, los cuales le propusieron y platicaron muchas veces, (sobre) los daños y gastos que se les causará a los vecinos labradores, si se prosigue en el modo, con que se ha mandado administrar. Habiendo conferido con ellos (sobre) los inconvenientes que ponen, y (los) gastos que de ellos resultan a la Real Hacienda, y habiendo visto y andado por la tierra adentro de la Provincia de Venezuela y Cumaná, y los puertos de mar y modo de su navegación; sirve a Vuestra Majestad, diciendo el modo como cesarán los inconvenientes que se han ofrecido, reservando en sí el modo de la paga y administración, que es lo más esencial de este artículo, para decirlo cuando lo mande Vuestra Majestad ((40)).

Lo primero, por haber de ir a Cartagena los vecinos a cobrar el valor del tabaco que entregan en sus lugares, gastan de sus haciendas mucho más de lo que se les puede dar para el viaje.

Lo segundo y de (lo) que más recelan los vecinos labradores, es que llegados a Cartagena, si los oficiales Reales dicen que no hay dineros en la Real caja; poniendo algunos inconvenientes como de ordinario se hace, pues en la omisión de las pagas consiste el acrecentamiento de las personas sobre quien se libra, en el interín (en) que se da cuenta a Vuestra Majestad quedan perdidos y quebrados el crédito, e imposibilitados los labradores de poder hacer sus labranzas de tabaco el año siguiente, y (al) no poder cumplir con sus obligaciones se siguen notables daños, pues para remedio de semejantes ocasiones los pobres que tienen libranzas de Vuestra Majestad suelen perder la mitad de ellas y en España mucho más.

Lo tercero (es) el riesgo de sus personas y haciendas, porque aún que está mandado (que la) entrega del tabaco sea en los puertos, y desde ellos vayan a Cartagena a cobrar el dinero por cuenta y riesgo de Vuestra Majestad, vienen por el de los labradores, hasta llegar a sus tierras, pasando muy largas navegaciones en haber de ir a desembocar. Cierta señor que es cosa rigurosa, y causa para considerar y digna de remedio, pues habiendo un pobre hombre criado y beneficiado todo el año a sus costas y expensas, (al) tener el fruto logrado para el sustento de su casa e hijos, se le tome y libren su procedido en Cartagena, obligándole a que vaya a cobrar y andar tanta cantidad de leguas, como hay en el circuito de andar hasta volver a su casa, con tantos peligros y pérdidas, como cada día sucede en aquellos mares.

Lo cuarto es que carecen en sus puertos y lugares, de mercaderías para el sustento y ornato de sus personas.

casas y haciendas, que a codicia del tabaco a sus puertos navíos de permisión, de que totalmente carecerán, siguiéndoseles a dichos lugares y labradores notables daños, y gastos para haber de proveer (a) sus casas de lo necesario.

Los daños y gastos que recibe la Real Hacienda no son menores que los referidos, sino de mayor consideración, pues con la sustancia de ella se manda satisfacer.

Lo primero en que llevándose el tabaco a Cartagena con fragatas como está mandado, va a riesgo de que el enemigo lo ((41)) tome, como ha sucedido y sucede cada día, por ser las fragatas navíos destroncados, y siendo la seguridad de este género, el principal asunto (por) que Vuestra Majestad ha tenido para mandar se compre el tabaco a los labradores y se traiga a España con seguridad, (pero) por el modo (en) que está mandado no se consigue lo que se pretende, pues no sólo está el riesgo en las costas de Castillas, sino también lo hay en las de las Indias, que así mismo las infectan ladrones piratas. Por ser de la Hacienda Real el tabaco, debe pasar con mayor guarda, (pero) iendo en fragatas no la puede haber.

Lo segundo es que el trajinar a Cartagena las veintidós mil arrobas que están repartidas a las gobernaciones de las costas de Tierra Firme, se hace a costa de la Real Hacienda. (Son) doce mil ducados, contando el flete que se ha de dar a las fragatas, a (razón de) seis reales por arroba, que es el precio más bajo que corre en todos los puertos de la costa.

Lo tercero es que a los costos que se han de hacer con las personas que han de ir a cobrar a Cartagena el precio del tabaco, en los navíos que está mandado, se les dé para volver a sus tierras.

Lo cuarto es que a los costos que han de hacer las personas que administraren este género y hacienda en dichas Provincias, Cartagena y Sevilla, en todo cesarán, haciéndole Vuestra Majestad la merced de su voluntad, y trabajos que ha padecido merece, y lo que se sigue.

El remedio que tiene el caso presente, según lo que ha visto y platicado con los vecinos y labradores de dichas Provincias, es mandando Vuestra Majestad que se haga en Borburata, la entrega y ferias del tabaco de Venezuela y Barinas, porque este puerto está en medio de la Gobernación, y cercano a los valles donde se recoge la mayor cantidad de tabaco, como se verá en la pintura.

El tabaco que se recoge en los demás lugares de la Gobernación, que son Barquisimeto, Carora, Trujillo, Guaba, Gavare, vendrá al puerto de La Concepción, por el camino que han de abrir los vecinos de Barquisimeto a dicho puerto de La Concepción, y de allí a Borburata que es más cerca y mejor camino, que el que llevan de dichos lugares a la Laguna de Maracaibo. Excepto el que se recogiere en las instancias y repartimientos del valle de

las Damas (20), que esto tiene camino abierto por la montaña de Borburata. El tabaco que se recoge en Nueva Valencia está tan ((42)) cerca a Borburata, como se muestra por la pintura.

El tabaco de Barinas vendrá a Borburata, por otro camino y mejor que (el de) al Laguna de Maracaibo, viniendo al puerto de La Concepción en el río Aroa, por el camino que está dicho se ha de abrir desde Barquisimeto, y hasta Barquisimeto ya está abierto desde Barinas por tierra llana y apacible (y es) mucho mejor que el que va desde Barinas a la Laguna, e Igual en leguas, como se verá por la relación que se sigue que es cierta, y verdadera.

Camino desde Barinas a la Laguna de Maracaibo

Desde Barinas al valle de Santo Domingo, hay dieciséis leguas 16
Desde el valle de Santo Domingo al valle de los Timotes hay cuatro leguas 4
Desde el valle de Timotes al valle de Bomboy hay cinco leguas 5
Desde el valle de Bomboy al valle de Escuque hay cinco leguas 5
Desde el valle de Escuque a la Sabana de Mendoza hay seis leguas 6
Desde la Sabana de Mendoza a las Barbacoas hay nueve leguas 9
Desde las Barbacoas a la ciudad de la Laguna hay dieciocho leguas 18
63

Camino desde Barinas al puerto de La Concepción

Desde Barinas al valle de Niquitao hay doce leguas. 12
Desde el valle de Niquitao al valle de Boconó hay cinco leguas 5
Desde el valle de Boconó al valle de Carache hay nueve leguas 9
Desde el valle de Carache al valle de Humocaro hay siete leguas 7
Desde el valle de Humocaro a El Tocuyo hay seis leguas 6
Desde El Tocuyo al valle de Quibor hay cinco leguas. 5
Desde el valle de Quibor a Barquisimeto hay siete leguas 7
Desde Barquisimeto a las minas, y lo mismo al puerto de La Concepción, abierto el camino por los nacimientos del río Aroa, hay diez leguas 10
61

(20) Valle de las Damas: algún lugar quizá localizado en los valles de Aragua-Valencia.

((43)) Desde el puerto de La Concepción a Borburata hay veintidós leguas por el río Aroa, y (por) la acequia que se ha de abrir. Desde Borburata a Cartagena se tarda menos tiempo que desde la Laguna, por ser como es la navegación a popa.

Desde la ciudad de la Laguna a la barra hay cinco leguas, y la barra es peligrosa, y algunas veces se ha visto no poder salir las fragatas por estar la boca de la barra cerrada de las muchas brisas que la clegan de arena, y después de haber salido de la barra, las fragatas están algunos días barloventeando para poder doblar por el cabo de Coquibacoa, que está y sale (a) treinta leguas al mar Norte-Sur con la boca de la Laguna, con (lo) que se prueba ser mejor navegación a Cartagena desde Borburata que desde la Laguna. Y por tierra (es) el mismo camino o mejor, por no tener tantas sierras y ríos.

Puesto el tabaco en Borburata por sus dueños, se hará feria como se hace en la Laguna, y recibiendo allí la paga, en pocos días irán con gusto por tierra a sus casas, cargadas las recuas con las mercaderías y géneros de su sustento; así se excusarán los gastos y riesgos referidos, tanto de la Real Hacienda, como de los labradores.

El tabaco de Trinidad y Cumaná que (en) ambas partidas hacen ocho mil arrobas conforme al repartimiento, mandando Vuestra Majestad que la armadilla de Cartagena, que es la que está en el mejor paraje para hacer esta navegación, como se ve por la carta de marear, vaya a dicha isla por el tiempo que está dicho en el artículo antes de éste, y reciba y cargue el tabaco llevando las pipas vacías en que se ha de echar, que si no viene empipado se perderá todos los años, como se mostrará al tiempo, que para las ocho mil arrobas son menester cuatrocientas pipas a quinientas libras cada pipa. (Una vez) llenas las pipas y cargados los navíos irán a Cumaná, donde recibirán las cuatro mil arrobas que le toca a su repartimiento, y prosiguiendo el viaje entrarán en Borburata donde estarán los galeones del cobre y fábrica, a quienes entregarán las ocho mil arrobas de tabaco de Trinidad y Cumaná, así vendrá seguro de enemigos hasta dicho puerto por ser navíos de armadas en los que se trajinan. De allí a Castilla vendrá en los galeones, pero la armadilla pasará corriendo y asegurando las costas al Cabo de la Vela y boca del río grande (21), hasta tanto que los galeones hayan salido de Cartagena para La Habana, ya que en aquel tiempo es el de mayor comercio y cuando el enemigo infecta aquellas costas robando las fragatas, como se ha visto y se ve cada día ((44)).

—OoO—

Don Manuel Gaytán de Torres

(21) Río Grande: corresponde al río Magdalena en Colombia.

Presentación del XV Congreso Mundial de Minería en el Club Español de la Minería

Al estar ya cercana la fecha en que comenzará la andadura del XV Congreso Mundial de Minería, que se celebrará en Madrid del 25 al 29 de mayo de 1992, el Club Español de la Minería decidió convocar un acto sobre el mismo que se celebró en el Hotel Castellana Intercontinental el pasado 29 de enero de 1992.

En la mesa de personalidades del salón se encontraban algunos de los responsables de la organización del Congreso como don Carlos Muñoz Cabezon, Presidente, y don Enrique García Alvarez, Presidente de Honor y Director General de Minas y de la Construcción; don Camilo Caride de Liñán, Director General del Instituto Tecnológico Geominero de España y Vocal del Congreso, al igual que don Ramón Mañana Vázquez, Catedrático de la ETS de Ingenieros de Minas de Madrid y Presidente de AITEMIN.

Asimismo se encontraba allí don José Rosón Trespalacios,

Vocal del Congreso y Presidente del Club Español de la Minería. Otro vocal del Congreso que estaba también en la mesa de honor era don José Ramón Irisarri Yela, Decano Presidente del Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, y don Mariano Arus Quílez, de la Secretaría del Congreso.

Finalmente, presidiendo el acto y como último en intervenir, don Ramón Pérez-Simarro, Secretario General de la Energía y Recursos Minerales, además de miembro del Comité de Honor del XV Congreso Mundial de Minería.

A los postres del almuerzo, el presidente del Club, don José Rosón, tomó la palabra para presentar el acto y agradecer la visita de los señores Pérez Simarro y García Alvarez, así como presentar a los socios del Club Español de la Minería a don Camilo Caride en su primera visita al Club como Director General del ITGE.

INTERVENCION DE DON CARLOS MUÑOZ CABEZON, PRESIDENTE DEL XV CMM

Amigos todos. Ya faltan menos de cuatro meses para la celebración del XV Congreso Mundial de Minería, que representará un acontecimiento a nivel mundial.

Los Congresos Mundiales de Minería han ido adquiriendo, desde su iniciación, una importancia cada vez mayor, especialmente si el tema elegido se corresponde con los problemas que en ese momento tienen planteados los mineros, lo que permite un valioso intercambio de experiencias y opiniones, para su resolución.

Para comprobar esto van a permitirme que recuerde brevemente la historia de los XIV Congresos anteriores, para poder comprobar cómo han ido evolucionando los temarios en razón de las circunstancias que se han producido en cada momento.

Para la organización de los Congresos Mundiales de Minería se creó, el 2 de diciembre de 1957, un Comité Internacional, que tuvo su primera reunión en Varsovia, bajo la presidencia de un ilustre ingeniero polaco, el profesor Kuprinsky.

El primer Congreso de Minería, celebrado en Varsovia (Polonia), en 1958; el segundo en Praga (Checoslovaquia), en 1961, y el tercero se celebró en Salzburgo (Austria), en 1963, donde se dedicaron casi exclusivamente a la minería del carbón.

El cuarto, celebrado en Londres en 1965, con el tema «Minería moderna», y el quinto en Moscú (Rusia), en 1967, con el tema «Progresos técnicos en minería», se dirigieron a los progresos de la automatización de la minería subterránea y se empezó a hablar de la minería a cielo abierto, pero siempre con gran aplicación al carbón.

En el sexto, celebrado en Madrid en 1970, con el tema «La ciencia al servicio de la minería», se trató, ya, de las perspectivas de cambio en la tecnología a través de la aplicación de las ciencias y se analizó el desarrollo del progreso técnico en minería. La gran preocupación de los mineros del mundo era entonces modernizar las explotaciones.

En el séptimo congreso, celebrado en Bucarest (Rumanía), en 1972, con el tema «Organización y dirección en minería», se continuó profundizando en el tema de la modernización con nuevos medios, sistemas, máquinas y equipos.

El octavo congreso se celebró en Lima (Perú), en 1974, con el tema «Prognosis de los avances en minería hasta el año 2000», planteando la situación, en aquel momento, de la utilización de las materias primas y empezando a hablar de la minería del futuro.

El noveno congreso se celebró en Düsseldorf (Alemania),

en 1976, con el tema «Explotación y beneficio de las materias primas minerales por la industria minera».

La crisis del precio del petróleo de 1973 ya había producido sus efectos y, en este congreso, la preocupación general se concertó en analizar el papel de la minería en las economías, a escala mundial.

El décimo congreso se celebró en Estambul (Turquía), en 1979, con el tema «Minería y materias primas minerales al servicio de la Humanidad».

Se había producido la segunda crisis de los precios del petróleo en 1978 y se estaba operando un nuevo cambio en la minería mundial. Había que empezar a utilizar los yacimientos difíciles y se planteó la utilización de los combustibles de bajas calorías para producir energía, que entonces podían empezar a ser rentables.

En el undécimo congreso, que se celebró en Belgrado (Yugoslavia), con el tema «Materias primas minerales, un factor en la economía mundial», se presentó el problema, para muchos países, de la disponibilidad de materias primas minerales y, por tanto, la necesidad de la explotación y desarrollo de nuevos y más difíciles yacimientos, lo cual, sobre todo en minas a gran profundidad, requería una nueva revisión de la seguridad y de las condiciones de trabajo de los mineros.

El duodécimo congreso se celebró en Delhi (India), en 1984, con el tema «Explotación óptima de recursos minerales sólidos, demanda y necesidades». El título continuaba reflejando la gran preocupación existente en el mundo de la minería. Se estaban agotando, al menos en Europa, las reservas y había que buscar nuevos horizontes.

Asimismo, se discutió ampliamente el importante problema de transformar los recursos en reservas mediante nuevos métodos de evaluación con la mejora en la recuperación de recursos minerales, incluyendo yacimientos en condiciones adversas.

También se destacó la importancia de mejorar las políticas mineras, y el papel de la pequeña minería, que podría ser importante.

El decimotercer congreso de Estocolmo (Suecia), en 1987, tuvo como tema «Mejoras en la productividad minera y en la economía total por medio de tecnología minera». Allí se discutió la utilización más eficaz de la informática en la planificación y explotación mineras y los requerimientos de capital necesarios para mejorar la organización y la productividad en una minería cada vez más mecanizada.

El decimocuarto congreso se celebró en Pekín (China), en 1990, con el tema «El futuro de las explotaciones mineras. Tendencias y perspectivas de desarrollo».

INTERVENCION DE DON RAMON MAÑANA SOBRE EL XV CONGRESO MUNDIAL DE MINERIA EN MADRID

INTRODUCCION

En nombre del Comité Español quiero transmitirlos un breve pero significativo mensaje que voy a desarrollar en

En él se manifestó, una vez más, la preocupación por el futuro de la minería en los diferentes países y la posibilidad de encontrar nuevas vías de desarrollo.

Por eso, cuando los españoles nos enfrentamos al reto de presentar un temario para el VX Congreso, que fuera interesante y actual, examinamos el panorama minero que nos rodeaba.

La verdad es que, en Europa, en general, y en España en particular, las perspectivas no parecían en principio demasiado halagüeñas para la minería, debido a la disminución en la demanda de metales como el plomo, el estaño y el mercurio, fundamentalmente por problemas de contaminación, y recuperación secundaria, y al agotamiento de yacimientos tradicionales.

Pero, profundizando en el estudio de la situación, se apreciaba que se podía ser optimista, ya que lo que había que hacer era variar los conceptos, explotar nuevas sustancias y promocionar la pequeña minería.

En definitiva, decidimos presentar el XV Congreso bajo un aspecto optimista para la minería del futuro y se eligió el tema «Perspectivas para la minería». Con este título genérico se quería presentar a la consideración de los participantes una serie de subtemas que despertaran el interés por su novedad.

Este temario les será exuesto con todo detalle a continuación, y ustedes podrán apreciar que hemos acertado y que ha despertado gran interés.

Hay otro hecho importante, y que consideramos necesario destacar, y es que si en 1970 decíamos que se estaba produciendo un relevo generacional en los técnicos mineros, y que las promociones formadas después de la Segunda Guerra Mundial, con nuevos métodos e ideas, estaban ocupando los puestos directivos.

Hoy, veinte años más tarde, podemos decir que el fenómeno se repite, las recientes generaciones de ingenieros tienen una formación diferente y con nuevas ideas sobre economía y dirección están llegando ya a los puestos de responsabilidad.

A ellos es a los que queremos dedicar este congreso para transmitirles el testigo de la experiencia, siempre importante.

La organización está terminada, como podrán apreciar en la Tercera Circular, que les va a ser presentada. Todo está a punto, sólo nos falta contar con su colaboración y, muy especialmente, con su presencia. Todo el que esté relacionado con la minería no puede faltar.

los próximos minutos, pero que podría condensarse así: Todo está preparado y a punto para que el próximo XV Congreso Mundial de Minería de Madrid sea un acontecimiento

to y una oportunidad excepcionales; y el Comité desea que compartáis con él este éxito participando plenamente en la fase final que culminará en la última semana del próximo mes de mayo.

EL ESCENARIO

Al igual que ocurre con el resto de los sectores económicos, los cambios en la minería se suceden con rapidez, y el Congreso Mundial es testigo vivo de esos cambios, de los cuales levanta acta puntual.

Por una parte, el rápido desarrollo de un mercado mundial cada vez más global, ha supuesto —y supondrá aún más en el futuro— la desaparición progresiva de la actividad en cuencas marginales —como es el caso del carbón— en beneficio de la explotación de los yacimientos más ricos, cualquiera que sea su ubicación, y más aún si se abaratan los costos y la logística del transporte. Pero otra parte, también les llegará el turno a los yacimientos marginales a medida que las tecnologías punta encuentren métodos más rentables de explotación.

Acelerando la evolución histórica de la minería, unas sustancias quitan sucesivamente a otras el protagonismo en el escenario minero, y el caleidoscopio de la geopolítica minera continúa alterándose sin cesar nuestra vista.

La tecnología minera es hoy, más que nunca, una tecnología multidisciplinar, que utiliza inmediatamente como herramienta útil cualquier desarrollo que aparezca en otros campos: El Congreso ayuda a revisar esa situación cada dos o tres años, y el XV Congreso en Madrid supone a estos efectos un caso singularmente significativo.

Pero, además, debido a la coyuntura rápidamente cambiante del contexto internacional en los dos últimos años desde el XIV Congreso en Pekín, el Congreso de Madrid va a jugar un papel clave en la historia de los Congresos mundiales de minería; y los españoles, conscientes de ello, hemos asumido nuestra tarea de contribuir a que nuestro Congreso represente la introducción de un giro nuevo y la apertura a nuevos planteamientos.

Las situaciones nuevas exigen del Congreso actitudes y comportamientos nuevos: a unos Congresos nacidos hace cerca de medio siglo al calor de la producción polaca del carbón y ostensiblemente patrocinados por el área de países del Este (a pesar de sus itinerantes estaciones geográficas mundiales) han de suceder en el futuro, por razones históricas obvias, Congresos más universales que inevitablemente gravitarán en otras órbitas económicas, de acuerdo con los centros de gravedad europeos y/o americanos del Norte; y ésta es una incógnita cuya solución empezará a vislumbrarse en Madrid en mayo. La novedosa participación del U.S. Bureau of Mines o el papel de la CEE anunciados en Madrid serán determinantes para ese futuro.

LA GESTACION DEL TEMARIO

Aun antes de que esta evolución empezara a ser patente, hace dos años, en la reunión en Argentina de otoño

de 1990, el Comité español presentó ya al Comité Internacional un temario que se salía francamente de la línea seguida por los últimos Congresos. Su carácter innovador dio lugar a largas discusiones, ya que incluso países tan avanzados como el Reino Unido tenían dificultades para comprender que la del carbón era una importante minería, pero no la única.

En primer término el Comité español introdujo la limitación de comunicaciones a nivel exclusivo de innovaciones; se excluyen presentaciones puramente descriptivas de variantes de métodos.

En segundo término el Comité español sacó a escena minerías que tienen cada vez más protagonismo: Menas para nuevos materiales, piedra natural, minerales industriales y sulfuros polimetálicos. (En aquel momento aún no se había normalizado la denominación «Piedra Natural», cosa que hizo el WP de ISO en Madrid en 1990).

Ciertamente algunas de estas sesiones cobran su máximo interés debido a la ubicación del Congreso en España; tal es el caso de los sulfuros polimetálicos, en cuyas sesiones la presencia ibérica es dominante; y de la piedra natural, cuyos protagonistas naturales son los países mediterráneos.

Por último, la conveniencia de decir una sesión al impacto ambiental contó con todas las aquiescencias, como era de esperar.

En cuanto a las Mesas Redondas, se propusieron en principio tres: Una ligada a la historia común hispanoamericana, era obligada en España y en 1992. Como contrapartida, dos temas que son realidad ya, pero que se proyectan energicamente hacia el futuro, desmintiendo con la misma energía las predicciones catastróficas de los pesimistas sobre el fin de la minería: Fondos marinos y Espacio subterráneo.

En el proceso histórico en que unas minerías sustituyen a otras, lo único que ocurre es que la minería nueva no se parece mucho a la sustituida. La explotación de los fondos marinos, igual que la del espacio exterior y la de los casquetes polares, se parecerá tan poco a la minería de la primera mitad del siglo XX como poco es el parecido entre las Cruzadas y la Guerra del Golfo. (Los problemas geopolíticos han ocultado hasta ahora los grandes desarrollos preparados para estas actividades realmente innovadoras, a las cuales hay que dotar ahora de las salvaguardias ambientales necesarias.)

Una minería nueva es también la que utiliza el mundo subterráneo para crear una nueva riqueza: espacio. El espacio subterráneo es ya utilizado para infinidad de aplicaciones y quizá no seamos conscientes de cómo esas aplicaciones se multiplican, se amplifican y se hacen lugar común para el transporte, el almacenamiento e incluso, cada vez más, para espacios destinados a servicios comerciales y de ocio. A esta cuestión se dedica otra Mesa Redonda.

La Mesa Redonda «Estrategias de desarrollo Minero» fue propuesta al Comité Nacional español por la Dirección General III, «Mercado interior y asuntos industriales», de la Comunidad Económica Europea. Se aceptó inmediata-

mente y se llevó al Comité Internacional de mayo de 1991, donde, después de bastantes discusiones, quedó con el título actual. Esta Mesa Redonda promete ser una de las estrellas del Congreso. Por lo que se aprecia hasta ahora, los temas pueden agruparse alrededor de algunos núcleos significativos:

- La política minera de la Comunidad Europea, sobre cuya inexistencia y necesidad tanto se ha hablado, en particular por CONFEDEM, por España y por los países mineros de la Comunidad.
- La conversión a la economía de mercado de la inmensa minería del desaparecido bloque oriental, con sus enormes problemas medioambientales, de productividad, de inversiones, de transporte, pero también con la importancia de la entrada de sus minerales en el mercado libre.
- La gran incógnita de la República Popular China, cuyo peso en la minería mundial será cada vez más decisivo.
- El papel de los países del Tercer Mundo, principalmente Sudamérica y África.

Los debates prometen ser vivos e interesantes, y es la primera vez que el Congreso de Minería los aborda abiertamente.

LA SELECCION DE TRABAJOS

Con estos antecedentes, se procedió a la convocatoria para la presentación de resúmenes proponiendo trabajos. Nuevamente aquí rompimos moldes, pues la difusión de la Primera Circular no se limitó al cauce tradicional, un tanto exclusivista y restringido, de los Comités Nacionales; en su lugar utilizamos unas listas más amplias, que incluían a todos los profesionales que en el mundo entero podrían estar relacionados con la minería (extraídas de las más diversas fuentes e instituciones: Colegio, Escuela, ITGE, AITEMIN, LOM, Congresos afines, etc. Se repartieron 6.000 ejemplares de la Primera Circular en cuarenta y ocho países; para la Tercera Circular rebasaremos ese número).

A pesar de que hace sólo dos años que tuvo lugar el último Congreso en Pekín, se recibió la tremenda cantidad de 320 propuestas de comunicaciones, procedentes de 39 países (más Naciones Unidas y CEE), lo cual es un récord absoluto en la historia de los XV Congresos Mundiales de Minería. Si se juzga por este hecho singular, la tecnología minera mundial goza de excelente salud. Dos consecuencias inmediatas:

Primera:

El nivel científico-técnico podía garantizarse a través de una rigurosa selección, puesto que el número de trabajos que se pueden presentar a razón de 15 minutos por autor en una semana saturada no pasa de 120, y ello celebrando en simultáneo Sesiones y Mesas Redondas.

Segunda:

La tarea de seleccionar entre esas 320 Propuestas las mejores 140 era algo de envergadura formidable. Había que crear un equipo diligente y competente, realizar la selección y convencer a los representantes de cada país (incluido España) en el Comité Internacional de que más de la mitad de las propuestas recibidas quedaban fuera, lo cual no iba a ser fácil.

Lo primero fue fijar los criterios de selección, de entre los cuales el primero y más decisivo fue la calidad y carácter innovador de los temas presentados, así como la propia calidad de la presentación del tema.

Lo segundo fue constituir un equipo de evaluadores que leyera, valorara y seleccionara un «cupó» de propuestas en cada Sesión y Mesa Redonda. Para ello, como responsable del Área Científico-Técnica, pedí la colaboración de las siguientes personas, cuyo trabajo de gran calidad y dedicación es de justicia reconocer públicamente:

Prof. Fernández Rubio, de la ETSIMM («Impacto ambiental»).

Prof. Carrasco Galán, de la ETSIMM y de AITEMIN («Innovaciones en general»).

Prof. Parrilla, de la ETSIMM («Sulfuros polimetálicos»).

Prof. Araus, de la ETSIMM (Coordinador general).

Sr. D. José Luis Fuentes Cantillana. Ingeniero de AITEMIN («Innovaciones Carbón»).

Sr. D. Joaquín Obis. Ingeniero de AITEMIN («Rocas y mineral industriales»).

Tercera:

A continuación se desarrolló la metodología que el Comité me aprobó y que, someramente descrita, incluyó los siguientes pasos:

Una vez que cada especialista estudió los abstracts de su Sesión y lo discutió conmigo unilateralmente, tuvimos una sesión plenaria en la que se fueron refinando las selecciones y resolviendo innumerables incidencias.

Después se organizaron otras dos sesiones plenarias con los vicepresidentes y secretarios y evaluadores.

Este es el momento de decir que este coordinador del Área Científico-Técnica no encontró más que apoyos incondicionales por parte de las personalidades y profesionales a quienes se solicitó que actuaran de vicepresidentes y secretarios. Estas personas, a las cuales el Congreso puede expresar ya públicamente su reconocimiento, constituyen un cuadro de 22 profesionales que dan lustre al Congreso y que me voy a permitir hacer público por primera vez con la mayor satisfacción.

VICEPRESIDENTES Y SECRETARIOS DE SESIONES

1. **Novedades**

A) Vicepresidente:
Dr. Merino, P. (CARBUNION).

B) Vicepresidente:
Dr. Rosón, J. (CEM).

C) Vicepresidente:
Prof. Sáez, E. (ETSIMO).

Secretario:
Dr. Mayo, J. M. (DGM (MINER)).

Secretario:
Ing. Fuentes, J. L. (AITEMIN).

Secretario:
Dr. Comerma, J. (OCICARBON).

2. **Rocas ornamentales y minerales industriales**

Vicepresidente:
Dr. Moya, J. (Potasas de Llobregat).

Secretario:
Dr. Obis, J. (AITEMIN).

3. **Menas para nuevos materiales**

Vicepresidente:

Secretario:
Dr. Nogueira, E. D. (ERCROS).

4. **Sulfuros polimetálicos**

Vicepresidente:
Ing. Targhetta, J. (Riotinto Minera).

Secretario:
Prof. Dr. Parrilla, F. (ETSIM (UPM)).

5. **Impacto ambiental**

Vicepresidente:
Prof. Dr. Llorente, E. (ETSIM).

Secretario:
Prof. Dr. Rubio, R. F. (ETSIM (UPM)).

MESAS REDONDAS

Continente americano

Vicepresidente:
Dr. del Valle, A. (HVL).

Secretario:
Dr. Mulas, C. (ITGE).

Minería de fondos marinos

Vicepresidente:
Dr. Fontanilla, P. (ENADIMSA).

Secretario:
Dr. Medialdea, J. (ITGE).

Minería de uso civil

Vicepresidente:
Dr. Kindelán, J. M. (ENRESA).

Secretario:
Dr. San Miguel, J. G. (CAVOSA).

Estrategia de desarrollo minero

Vicepresidente:
Dr. Usunariz, U. (CONFEDEM).

Secretario:
Dr. Gea, R. (RENASA).

El resultado de las discusiones anteriores fue llevado al Comité Nacional, que realizó un nuevo filtrado y lo devolvió al equipo de evaluadores para consideración más atenta.

Los evaluadores informaron uno a uno al Coordinador, y emergió ya el perfil técnico del Congreso:

320 Propuestas, de las cuales se seleccionaron:

143 para Sesiones.
38 para Mesas Redondas (181 para publicar).
47 para Sesiones Poster.

228 en total admitidas, 92 rechazadas.

Las felicitaciones del Comité Internacional reunido en mayo de 1991 fueron unánimes cuando se presentaron los criterios de selección y la metodología, que literalmente fueron consideradas ejemplares y modélicas para futuros Congresos. Como era de esperar, las sonrisas se helaron un poco cuando se apreció la enérgica poda que se había producido: cada delegado leyó ávidamente la lista de «rechazados» de su país y, naturalmente, observó cómo compromisos personales o Institucionales habían sido dejados de lado. No obstante, todo el mundo apreció con justicia el rigor con que se había actuado y se aceptó disciplinadamente la propuesta española.

LA PREPARACION ORGANIZATIVA

A partir de aquí, en el mes de junio de 1991 se enviaron las instrucciones a los autores para que presentaran sus comunicaciones para incluirlas en la publicación. (Hay que decir que el Congreso arrastra del pasado la publicación en cinco idiomas: inglés, francés, alemán, ruso y español.) (El futuro verá indudablemente simplificado ese esquema, cuyo coste adicional no está justificado.)

De hecho, la práctica nos mostrará que la versión inglesa

es la más completa y la rusa la más pobre de comunicaciones: absolutamente completa será la española, porque el Comité español ha decidido traducir a nuestro idioma todas las comunicaciones que no lo utilizan en origen, lo cual añade aún más costos. Afortunadamente. Hay que felicitar a toda una serie de entidades que se han comprometido a subvencionar esta publicación, que, por orden alfabético, son: AITEMIN (vía CICYT), CAVOSA, ENCE, ENRESA, Hullera Vasco Leonesa. Que conste el esfuerzo adicional de estas Empresas, que permitirá disponer de una versión completa en español de una publicación tan valiosa.

Un breve comentario sobre las visitas (y no sobre su aspecto turístico, nada desdeñable por cierto, con un país como el nuestro, tan rico en arte, en paisajes, en gastronomía, en folklore, en amor a la vida y en hospitalidad). Nuevamente hay que agradecer en público a la gran cantidad de empresas que han ofrecido su generosa hospitalidad. Aunque resulte pesado, me váis a perdonar que las mencione, porque es una aportación de primera calidad al Congreso.

Aguas de Lanjarón.
Almagrera.
APIRSA.
Asociación Gallega de Pizarristas.
Asturiana de Zinc.
Caliza Marmórea Marquina.
Carbones de Pedraforca.
CIEMAT.
ENCASUR.
ENDESA y Magnesitas de Rubián.
Granitos de Pontevedra.
Hullera Vasco Leonesa.
HUNOSA.
IBERDROLA.
IBERIA.
KALI - CHEMIE.
MACAEL.
Marquesitas de Rubián.
Mármoles de Alicante.
Minas de Gádor.
Minera Santa Marta.
Parque de Cabarceno.
Potasas de Llobregat.
Río Tinto Minera.
SOMINCOR (Portugal).
Termoeléctrica del Ebro.
UEE.

Si habéis seguido la lista —espero no haber olvidado a nadie, tantos son— convendréis conmigo en que la variedad e importancia de minas, canteras y obras de tecnología minera a visitar ofrecen un aliciente técnico que no desmerece en absoluto de la variedad y calidad de la oferta turística de nuestro país.

Para asegurar la buena marca «in situ» de las diversas expediciones contamos con la valiosa colaboración de un coordinador por cada expedición, tal como podéis ver en la Tercera Circular: a todos ellos también, el agradecimiento del Comité.

SESIONES POSTER

Esta es una novedad de este XV Congreso, dado el gran número de propuestas de participación. Los autores seleccionados para esta presentación se ofrecerán para comentar, a petición de cualquier interesado, las ideas expuestas gráficamente en un mural que sintetiza visualmente —mediante gráficos, fotografías, etc.— el mensaje propuesto.

EXPOSICION

El éxito, y la aceptación que ha tenido la Exposición, demuestra de modo fehaciente el interés y la confianza que las Empresas mineras de todo el mundo han puesto en nuestro Congreso. Si se tiene en cuenta la situación económica mundial, ciertamente no demasiado optimista; y más aún, la situación de la minería mundial, que quizá sea aún más comprometida, el hecho de que 134 empresas de 10 países hayan decidido desembolsar del orden de 140 millones de pesetas (contados costos directos del espacio, más los indirectos necesarios para dotarlo), tiene una clara significación muy positiva.

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

La organización de la marcha del Congreso está prevista mediante un completo manual de instrucciones que describe en detalle los métodos operativos y que tienden a garantizar el éxito en las cuestiones de procedimiento de las diversas fases del Congreso.

La parte más extensa y formal de los trabajos del Congreso son las Sesiones de Trabajo, en la cual todos los autores tendrán ocasión de presentar a una gran audiencia un extracto de cinco folios con la parte más significativa de su trabajo, y proceder después a las discusiones que se susciten por los asistentes en general, por sus colegas de Sesión o por la propia Mesa.

En cambio, en las Mesas Redondas, que se desarrollan en paralelo con las Sesiones, lo esencial será el debate de un núcleo de personas muy metidas en el tema, para lo cual la Presidencia, auxiliada por la intervención de destacadas personalidades invitadas, pondrán sobre la Mesa Redonda las cuestiones a debatir.

LA EXCELENTE RESPUESTA ACADEMICA MUNDIAL

Si fuera posible un avance ligero de los temas más atractivos podría intentarse así:

- Sistemas integrales de control con ordenador que unifican explotación, mantenimiento, seguridad e índices económicos en diversos escenarios.
- Lixiviación en la minería de uranio de Bohemia (Checoslovaquia).
- Robotización en minería selectiva con minador continuo en España.
- Métodos biogeoquímicos en la investigación del oro en Japón.

- Minería del espacio exterior (concretamente la Luna), tal como está planificada por los EE. UU.
- Cómo ven la tecnología minera del siglo XXI en EE. UU.
- Recuperación de materias primas minerales mediante perforaciones en Yugoslavia.
- Métodos para unidades pequeñas o muy pequeñas con alta tecnología y elevada productividad.
- Localización de fallas en el Sarre alemán mediante scanner aéreo.
- España presenta la nueva mina de carbón de HVL y la gasificación subterránea de lignito de Teruel.
- Previsiones para la minería del carbón del año 2000 hechas por la India y Ucrania.
- Técnicas mineras no convencionales en Polonia (Sistemas hidromercánicos, vibratorios, corte con discos, etc.).
- Automatización y robotización total de minadores de tambor en el arranque de carbón (USA).

(Nuevas técnicas mineras se desarrollan con celeridad en los sectores de Piedra Natural y Minerales Industriales que, bajo la presión medioambiental, cada vez consideran más la variante de la explotación subterránea y aplican la informática, el análisis de imágenes y la modelización del yacimiento o de los aspectos socioeconómicos.)

[España y Portugal (Faja Pirítica): China, Marruecos, Turquía son los países que intervienen en la Sesión Sulfuros Polimetálicos, que da prácticamente un barrido al estado de la cuestión: exploración, explotación, desarrollos mineralúrgicos y metalúrgicos recientes, siempre con los análisis de rentabilidad como fondo.

Uno de los temas que ha tenido mejor acogida con mayor número de trabajos presentados es el Impacto ambiental, con 14 países participantes y aplicaciones punteras como Sistemas Expertos, Sensores Remotos, etc.]

Personalmente confieso que me siento fascinado por el breve trabajo (seis folios) presentado por STEWART y CHAMBERLAIN, del U.S. Bureau of Mines, titulado «Tecnología minera para el siglo XXI».

Esta aportación resume escuetamente las líneas de investigación que el U.S. Bureau of Mines está siguiendo para que la actividad minera sobreviva en el próximo siglo a los embates de la preocupación medioambiental. El U.S. Bureau of Mines estima que ello sólo será posible si se desarrollan nuevas ideas, conceptos y tecnologías y se utilizan en profundidad la Automática y la Robótica.

En minería de carbón subterránea se avanza hacia la mina sin mineros, controlada desde una sala central en superficie. (No obstante, aún tendrá que bajar alguien de vez en cuando para reemplazar las piezas que el ordenador anuncia que deben ser renovadas.) La aplicación de conceptos de navegación aérea —scanning por lasers, ra-

yos sonar, giróscopos— asegurarán la autonomía de las máquinas. El contacto mineral/hastiales se detectará con radiación gamma, análisis de vibración y vídeos infrarrojos combinados, etc. Otra manera de abordar la cuestión es la utilización de la biotecnología para convertir directamente el carbón subterráneo en gas mediante bacterias.

En cuanto a la minería de otros minerales, los cambios serán aún más revolucionarios. La lixiviación «in situ» o de cámaras de almacén para extraer uranio, manganeso y cobre puede ser viable a principios del próximo siglo.

Otros procedimientos podrán ser la minería de lodos extraíbles de una perforación; los lodos, una vez beneficiados en el exterior, vuelven al hueco creado, eliminándose escombreras y balsas. Para menas duras los chorros de agua de perforación incorporarán abrasivos que drenarán las vetas mediante cabezas guiadas por instrumentación geofísica. Los rayos laser y el ablandamiento con microondas pueden ayudar en la tarea. Muy parecidas serán las tecnologías utilizadas en fondos marinos y casquetes polares, pero las previsiones más llamativas son las asociadas a la minería lunar, que ha de proveer a los habitantes de la base lunar de oxígeno, hidrógeno y agua.

RESPUESTA ESPAÑOLA

Nuestro país toca ya con los dedos la posibilidad de darle al Congreso un giro hacia la modernidad y la dinámica de futuro que la minería está exigiendo.

Corresponde ahora a la comunidad minera española dar el paso al frente y cerrar filas para acoger a nuestros colegas de 40 países con la calidad y la concurrencia propias de un país desarrollado y lanzado hacia el futuro.

El Ministerio de Industria (la Dirección General de Minas y el Instituto Tecnológico Geominero de España) y el de Educación y Ciencia (Dirección General Política y Tecnológica) han dado la tónica con ayuda institucional y económica decisivas. La CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología) ayuda a través de AITEMIN; y esta Asociación sin ánimo de lucro también prestó su ayuda.

Las empresas españolas contactadas han dado el paso accediendo de forma generosa a patrocinar el Congreso. Todas estas empresas, que aportaron más de 60 millones de pesetas en su conjunto, figurarán en una lista de honor como patrocinadores del Congreso, y también ahora ya el Comité desea hacer manifestación pública de reconocimiento por su apoyo decidido, tanto más valioso cuanto que las circunstancias generales son más adversas. He aquí su relación:

ADARO.	CARBOEX.
Almadén.	Carbones de Berga.
Almagrera.	CAVOSA.
Andaluza de Piritas.	CICYT.
Antracitas de Gaiztarro.	ENCASUR.
Aragón Minero.	ENDESA.
Asturiana de Zinc.	ENUSA.

ENRESA.
ETSIMM.
Hullera Vasco Leonesa.
Hulleras Coto Cortés, F.
Utrillas.
HUNOSA.
Ibérica de Sondeos.
M. S. P.
Minas de Tormaleo.

Obras Subterráneas.
P. M. C.
Potasas de Subiza.
Río Tinto Minera.
SURIA.
TOLSA.
UEE.
UNESA.

RECAPITULACION: RESPUESTA INSTITUCIONAL

Y termino.

El Congreso ha recibido un apoyo institucional generalizado. Su Majestad el Rey, que presidió como Príncipe de Asturias el Congreso de Madrid de 1970, ha aceptado ser nuestro Presidente de Honor. Ya se ha mencionado que fue el ministro de Industria en 1987, el señor Croisier, quien cursó la invitación oficial. Por eso el Ministerio lo ha respaldado decididamente, y el Presidente de Honor del Comité Nacional de Organización es nuestro Director General de Minas.

Del eco internacional hablan no sólo la respuesta de las 320 propuestas, y la calidad de las seleccionadas, sino

INTERVENCION DE DON MARIANO ARAUS QUILEZ SOBRE LA ORGANIZACION DEL XV CONGRESO MUNDIAL DE MINERIA

Después de las exposiciones precedentes, les imagino ya prácticamente convencidos de honrar con su presencia las sesiones de trabajo y los actos sociales del próximo XV Congreso Mundial de Minería. Por mi parte voy a tratar, brevemente, de los aspectos organizativos concretos y de todo lo que el Comité Nacional de Organización pone a disposición de los congresistas y de sus acompañantes, destinatarios únicos, en realidad, de nuestros esfuerzos.

En primer lugar, quiero presentar la tercera y última Circular que se publica antes del Congreso. Hemos traído unos ejemplares en español para ofrecerles a todos ustedes, aunque, en algunos casos, ya la habrán recibido, dado que estamos en plena labor de difusión.

A esta edición seguirán, en los próximos días, las francesa, alemana y rusa, ya en prensa. Ni que decir tiene que estamos a su entera disposición para facilitar más ejemplares a quienes lo deseen, incluyendo las posibles direcciones que, de cualquier país, nos pudieran facilitar.

Ya que no queremos ahorrar esfuerzos en la difusión de esta Circular, nos sería de gran utilidad cualquier apoyo o idea que recibamos y que contribuya a conseguir este objetivo de difusión.

Hemos preparado una edición total de 14.400 ejemplares, de los que 13.000 corresponden a las versiones en español e inglés, y el resto se reparte entre los otros tres idiomas oficiales del Congreso: francés, alemán y ruso.

también la iniciativa de la CEE, el respaldo entusiasta del Comité Internacional y la asistencia de varios ministros responsables de Recursos Minerales y Energéticos de diversos países.

Las Naciones Unidas, la Comunidad Económica Europea, el U. S. Bureau of Mines, y otros grandes centros de todo el mundo, las grandes empresas mineras, las Universidades y escuelas, todos parecen haberse puesto de acuerdo para que este Congreso de Madrid sea un Congreso singular dentro de la ya larga serie de Congresos Mundiales de Minería.

La preparación del Congreso, en definitiva, ha encontrado un eco mundial que podría calificarse de inesperado.

INVITACION

Comprenderéis, por tanto, que el Comité español, ante la satisfacción que tan excelentes perspectivas abren para que el Congreso sea un rotundo éxito, os invite y os anime a que os integréis en él y proporcionéis la respuesta intensa que corresponde a un país minero enfrentado con energía y moral de triunfo a los problemas que el paso de uno a otro milenio ofrece a nuestro tesón y nuestra creatividad.

Nuestras listas de envío contienen ya 4.200 direcciones con destino a 100 países, y están aumentando continuamente, entre otras razones por la publicidad en diferentes medios, así como por las noticias que enviamos a estos mismos medios.

La Circular que tienen en sus manos es el fruto del trabajo de los que estamos en la labor de preparación del Congreso, eficazmente ayudados por las empresas especializadas seleccionadas y ya contratadas, las que, por otra parte, figuran en la Circular que estamos presentando.

Si bien en las Circulares anteriores hemos incluido boletines de preinscripción, es justamente en ésta donde figura el único boletín válido para inscribirse en el Congreso. Animamos a inscribirse, cuanto antes, porque, de esta forma, podremos programar, con más tiempo, la asistencia a cada uno de los actos previstos, y cuidar, como merecen los asistentes, sus reservas de hotel, tanto en Madrid como en las diferentes ciudades que figuran en las visitas técnicas.

Quiero insistir en este punto para evitar posibles equívocos derivados de considerar las preinscripciones anteriores como definitivas.

Hemos recibido ya un total de 417 preinscripciones procedentes de 47 países, lo que podría considerarse un buen indicio para alcanzar una cifra de congresistas superior a 1.500. Otro índice, más utilizado, relaciona el total de circulares difundidas y el número de asistentes, situando éste en el 10-12 por 100 del anterior. Hemos

estudiado, además, la tendencia corregida de los últimos Congresos Mundiales de Minería y el sondeo realizado entre las delegaciones asistentes a la última reunión del Comité Internacional de Organización celebrada en Estonia en octubre pasado y todos los resultados apuntan, también, a la cifra de los 1.500 congresistas, como mínimo.

Hablando de actos, hemos hecho un esfuerzo para ofrecer, dentro del Programa General, lo que creemos que constituye una clara originalidad respecto a Congresos anteriores.

El mismo día de la solemne inauguración, por la noche, llevaremos al propio Palacio de Congresos una actuación de la Antología de la Zarzuela. Me complace anunciar aquí que la Compañía de José Tamayo está preparando una nueva versión de la Antología que constituirá uno de los grandes atractivos de la EXPO-92. No solamente estarán presentes los números y cuadros más clásicos procedentes de nuestro «género grande» y «género chico», ya conocidos, sino, también, composiciones, preparadas especialmente, de músicos españoles representativos de la reacción sinfónica nacionalista española de finales del siglo XIX y principios del XX, como Turina y Falla.

Esperamos que sea, en definitiva, un excelente espectáculo. Permítanme reproducir el comentario publicado de un ilustre académico y crítico teatral: «Una tromba de música, luz y color, un halago para los sentidos.»

El miércoles, día 27, cuando ya hayan transcurrido dos días y medio de trabajos, se celebrará, con todos los ingredientes clásicos, una típica verbena madrileña en el Parque de Atracciones de la Casa de Campo, que incluye el uso y disfrute de las propias atracciones. Esperamos que sea una simpática cena variada al aire libre (hemos previsto zona cubierta, por si acaso), con puestos y servicio de diferentes comidas típicas, así como las bebidas correspondientes. La animación musical estará a cargo de dos orquestas, un grupo rociero, organillo madrileño y tuna.

Para los acompañantes, aparte de los actos citados, hemos programado una completa visita panorámica a Madrid y, con carácter opcional, visitas a Toledo, El Escorial y Segovia. También para congresistas y acompañantes unas visitas y cenas nocturnas en Madrid los días 26 y 28.

Todos estos actos están ya organizados en firme y todo refuerzo económico que pudiéramos conseguir, más adelante, se dedicaría a otras atenciones para los asistentes.

Aunque ya ha hablado Ramón Mañana de las visitas técnicas, quiero resaltar, en ellas, el estudio que hemos hecho de los recorridos para conseguir su atractivo turís-

tico, tanto desde el punto de vista artístico y monumental como paisajístico, con programas especiales para acompañantes.

Quiero pedirles su apoyo a estas visitas, tanto inscribiéndose en ellas como ayudándonos en su promoción, en la seguridad de que los asistentes guardarán un grato recuerdo de su paso por España.

Mención especial merecen las dos visitas a la EXPO-92 a Sevilla ofertadas a los congresistas, una antes del Congreso, el día 23 de mayo de un día de duración, y otra después del Congreso, los días 30 y 31 de mayo. En ambos casos son visitas especiales donde se trata de eliminar las esperas y conseguir una mayor comodidad. Los precios pueden parecer elevados, pero, realmente, dentro de los niveles conocidos, creemos que pueden ser ofertas atractivas.

Aún no hemos hablado de la Exposición Internacional de Minería que, para mayor comodidad de los asistentes, se celebrará en el mismo Palacio de Congresos, ocupando los cinco niveles previstos y preparados para exponer. Si están interesados aún quedan unos cuantos stands disponibles, más bien escasos, y aún, en este momento, no sé si me estoy excediendo en esta oferta, porque la dinámica de contratación es muy viva y podrían estar ya todos contratados. De todos modos, está con nosotros, hoy, el Director de la Exposición, Fernando Bodega, que tiene todos los datos y al que se pueden dirigir para cualquier consulta que estimen oportuna.

He dejado para el final la presentación del Catálogo del Congreso que pensamos editar, ofreciendo a las empresas españolas y extranjeras, ligadas a la minería en su sentido más amplio, la posibilidad de figurar, con una hoja (dos páginas), a todo color con gran libertad de redacción y selección de fotografías en un volumen y que se repartirá a todos los asistentes, asegurando, de esta forma, una auténtica difusión mundial. Las empresas nacionales tendrán, así, una magnífica oportunidad de difundir su imagen a un precio realmente interesante. Estamos realizando la primera fase de la promoción, dando a conocer la idea a 424 empresas españolas y 87 extranjeras, pero, convencidos de la bondad de la idea, pedimos también apoyo para continuar la difusión. Tengo conmigo la carta que enviamos junto con el modelo de una hoja real ya desarrollada con una empresa española.

Estamos todo el equipo a su disposición, para toda información, noticia o cualquier asunto que sean de su interés, en relación con el XV Congreso Mundial de Minería y la Exposición Internacional de Minería, en la calle Alenza, 1, de Madrid, en el teléfono y el fax que aparecen en la Tercera Circular.

Muchas gracias por su atención.

INTERVENCION DE DON RAMON PEREZ SIMARRO CLAUSURANDO EL ACTO

El Director General de la Energía y Recursos Minerales, Ramón Pérez Simarro, cerró el turno de intervenciones dando las gracias por la oportunidad que el Club le otor-

gaba para clausurar el acto y felicitó calurosamente a los organizadores del Congreso por su eficacia y finalizar felizmente los trabajos preparatorios del mismo.

El señor Pérez Simarro señaló que su trabajo ya había acabado y que ahora empieza la labor de los participantes. Quiero referirme —dijo— a la oportunidad del simposio en 1992, ya que en un año de tanto significado se van a celebrar dos Congresos importantísimos en el ámbito energético y minero: «Los dos Congresos más importantes en el ámbito mundial, hemos logrado que se celebren en España», añadió el Secretario General de la Energía y Recursos Minerales.

En un año como este —continuó el señor Pérez Simarro— se celebra un Congreso sobre una ciencia, la minería, que tiene mucho de descubrimiento. Tratamos, dijo, de mejorar la calidad ambiental en el ámbito comunitario, a base de reducir las emisiones de anhídrido carbónico a la atmósfera.

Asimismo, en la reunión de Río de Janeiro a la que asistirán muchos Jefes de Estado, se tomarán decisiones importantes que afectarán a los ámbitos energético y minero.

Respecto a nuestro país, en 1991 se aprobó (aunque no se ha concluido) el nuevo Plan Energético Nacional, que próximamente será aprobado en el Congreso de los Diputados. También hemos asistido a la reestructuración del sector eléctrico, con la aparición de un nuevo mapa de empresas generadoras y distribuidoras.

Actualmente —continuó el señor Pérez Simarro— estamos trabajando en la Ley del Sector Eléctrico, que será aprobada por el Gobierno después del PEN.

Respecto al petróleo, estamos asistiendo a una nueva configuración empresarial y al desembarco de las multinacionales. En un próximo Real Decreto, se verá la eliminación del monopolio de petróleos, que redundará en beneficio de la industria y los consumidores.

En cuanto al sector del carbón se refiere, el Secretario General de la Energía y Recursos Minerales señaló que se va a proceder a su reestructuración, así como a la del resto de la minería energética y no energética.

Lo mismo sucederá con el gas, ahora ya se ha creado una empresa de gran tamaño que permitirá competir con sus homólogas europeas.

Volviendo a la minería, continuó el señor Pérez Simarro, el futuro está en la no energética. Esperamos que la presidencia comunitaria de Portugal, reconduzca la política minera de la CE, de manera que sea beneficiosa para nuestro país. Asimismo, estamos trabajando en la nueva Ley de Bases de Régimen Minero, que regulará la minería española.

DESPEDIDA

Finalmente, y dado lo tardío de la hora, no hubo el tradicional coloquio, y el señor Rosón despidió el acto agradeciendo la nutrida asistencia al mismo.

Los materiales cerámicos. Del ayer al mañana.

Por M. A. DELGADO MENDEZ

LA CERAMICA Y SU ARTE EN EL CLUB ESPAÑOL DE LA MINERIA

El pasado otoño se celebró, en el Salón Albéniz del Hotel Castellana, la primera conferencia-coloquio del Curso 1991-1992 del Club Español de la Minería.

En esta ocasión intervino don Miguel Angel Delgado Méndez, Presidente de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, que disertó sobre «Los materiales cerámicos. Del ayer al mañana», en una conferencia larga y documentada que, sin embargo, resultó amena, sobre todo cuando mostró una primicia: un cuchillo de cerámica que, aun sin la flexibilidad de los tradicionales, demostró tener una capacidad de corte similar a la de una navaja de afeitar que nunca ha de afilarse, aunque hoy por hoy se trata de una rareza, ya que pagar 6.000 pesetas por un cuchillo mientras sus homólogos de acero valen 400 ó 500 es, sin duda, una exageración.

A los postres del almuerzo, y antes de ceder el uso de la palabra a don Miguel Angel Delgado Méndez, el señor Rosón Trespalacios pronunció una breve disertación en memoria de don Juan Ignacio Artieda Bosquets, recientemente desaparecido, junto con su esposa, en un trágico accidente de automóvil.

Finalmente, el señor Rosón Trespalacios presentó al invitado de hoy, señor Delgado Méndez, resaltando sus muchos méritos y actividades, aunque, tal y como dijo: «Hoy está aquí como Presidente de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio».

LOS MATERIALES CERAMICOS. DEL AYER AL MAÑANA

Por producto cerámico entendemos el obtenido por la cocción de arcillas más o menos puras, con adición o no de otras sustancias complementarias. La palabra cerámica proviene de la palabra griega KERAMOS, de raíz sánscrita, que significa fuego.

Es por ello que el hombre antiguo requiere de una serie de condicionamientos para fabricar el primer producto cerámico.

Estos condicionamientos se dan en el Mesolítico, con la desaparición de la última glaciación, que trae como consecuencia otro tipo de vida, clima y más amplio espacio para su asentamiento. En este periodo del Mesolítico (entre los 5.000 y 2.000 A.C.), se tienen ya los primeros vestigios de cerámica de barro cocido, empleada fundamentalmente para vasijas y contenedores. En Europa los primeros vestigios de cerámica se tienen en Checoslovaquia, Rumanía, Ucrania y Galicia, entre los 4.000 y 3.000 años A.C.

En Asia Menor, Turquía, Líbano, Siria y en Egipto aparece aproximadamente en el mismo milenio. Es de destacar que en la Polinesia, Australia, Tierra de Fuego y en el territorio esquimal no se han encontrado restos cerámicos antiguos, quizá por la falta de materias primas y por el tipo de vida, cazadora y pescadora. Hoy día es un principio aceptado que la cerámica nace con la cultura agrícola.

Durante el periodo Neolítico, y fundamentalmente en la Edad del Bronce, se domina ya la técnica de cocción, existiendo en Europa dos tendencias claras que son las vasijas de arcillas rojas cocidas, fundamentalmente en el sur de Francia, cornisa cantábrica y valle del Po, y las de cerámica negra de la zona del Danubio, lo cual requiere una técnica de cocción en atmósfera reductora, de tal forma que el monóxido de carbono se transforma en CO₂ y carbono, que, en forma de grafito, se fija en la superficie de la pieza, dando una coloración negro-azulada brillante.

Una nueva técnica se incorpora a finales de la Edad del Bronce: el modelaje a torno, y, posteriormente, en el primer milenio A. de C., ya se conocen los esmaltes.

Egipto, Grecia y Roma desarrollan profundamente el arte cerámico, con profusión de decoraciones, pero no es sino hasta el siglo XIV, durante la Dinastía Ming en China, cuando se produce la verdadera porcelana, debido al descubrimiento en las montañas de Siao-Ling, en el sudeste de China, del caolín, dando un producto porcelánico cocido a altas temperaturas.

En China, la aparición de la cerámica parece ser que se remonta al año 2000 A. de C., pero experimentará un profundo desarrollo con el paso del tiempo.

Es durante los años 960-1280 D.C., durante la dinastía Sung, cuando la industria cerámica china tiene un fuerte desarrollo. La textura, color y sensación al tacto no han podido ser reproducidas, produciendo una semiporcelana traslúcida de gran belleza y calidad.

Lo dificultoso de la producción cerámica, así como la perseverancia del ceramista chino, se ponen en evidencia en las montañas de cerámica rota, fundida, distorsionada y decolorada que rodean el centro de producción de la ciudad de Ching Te Chen, donde cerca de un millón de habitantes se dedicaban a esta industria.

Pero es durante la Dinastía Ming (1368-1644) cuando se empieza a fabricar la verdadera porcelana dura, con la incorporación del caolín y de varios fundentes a la pasta cerámica.

En la cerámica antigua la temperatura de cocción no superaba los 700° C.

Durante la Dinastía Sung se disponía de hornos sin tiraje que alcanzaban los 1.000° C.

En la Dinastía Ming se emplea ya el horno con tiraje y aire secundario, con lo cual se alcanzan temperaturas muy próximas a los 1.300° C, necesarios para la obtención de porcelana.

La porcelana de este periodo Ming se caracteriza fundamentalmente por la decoración en azul cobalto (importado de Persia) sobre el fondo blanco de la porcelana de primera cocción y una segunda cocción de esmalte transparente.

Piezas de porcelana china alcanzan Europa en los siglos XV y XVI, y se tratan como piedras semipreciosas, montándolas en oro y plata.

En el siglo XVII se intensifican las relaciones comerciales y ya en Delf (Holanda) se empieza a fabricar una semiporcelana (soft-porcelane), parecida a la china (hard-porcelane), en tonos azules y blancos, pero no es sino hasta el siglo XVIII cuando Europa se incorpora al mundo de la porcelana, con los descubrimientos de caolín en Limoges y Cornualles, en 1767.

Nombres como Delf, Sevres, Limoges, Dresden, Derby, Minton, Wedgwood, Venecia, Florencia, Capodimonte y Buen Retiro dan buena cuenta de ello.

Capodimonte y Buen Retiro tienen la particularidad que son la misma empresa, cuya marca de fábrica es una flor de lis, por lo que es difícil conocer si la pieza está fabricada en Italia o España.

Veamos, a continuación, la realidad actual del mundo cerámico.

Las materias primas minerales que se utilizan en esta industria podemos dividirlos en:

- Materias primas inertes.
- Materias primas plásticas.
- Materias primas fundentes.
- Materias primas para barnices y colores.

Respecto a las primeras, la base fundamental es la sílice, y forma el esqueleto o estructura del cuerpo cerámico, confiriendo al producto final resistencia, dureza y resistencia a la expansión y choque térmico.

Otra materia prima inerte utilizada es la ceniza de huesos, que da un producto cerámico de muy poco espesor de pared y traslúcido, conocido con el nombre de porcelana de huesos o Bone China.

Las materias primas plásticas son las arcillas, que dan a la pasta cerámica el grado de porosidad y trabajabilidad requerido para su conformación. Cuando se trata de una cerámica blanca se utiliza una mezcla de caolín y de ballclay, que es una arcilla plástica que cuece blanco.

Los materiales fundentes controlan la vitrificación, es decir, que a la temperatura de cocción elegida el producto llega a tener el grado de vitrificación requerido mediante la formación de la fase líquida. Los principales materiales fundentes son el feldespato (sódico, potásico o cálcico), la nefelina sienítica y la espodumena y petalita, que son silico-aluminatos de litio.

Las materias primas para colores y esmaltes son de una gran variedad, fundamentalmente silicatos, carbonatos y óxidos metálicos, a los cuales nos referiremos posteriormente, al hablar de los esmaltes.

En principio, vamos a dividir la cerámica en dos grandes grupos, que denominaremos como cerámica tradicional y cerámica avanzada.

Respecto a la primera, clasificaremos los productos cerámicos en cinco grupos, teniendo que destacar que un producto cerámico puede ser de pasta blanca o de color, vidriado o no vidriado, y de pasta porosa o de pasta vitrificada. Con todas estas alternativas tendremos los diferentes empleos y las diferentes prestaciones que cada uno de estos productos tiene en la actualidad.

Entre los de pasta porosa tendremos los productos cerámicos de arcilla, la loza y los pavimentos y revestimientos cerámicos porosos, y entre los vitrificados la porcelana y el gres.

Los productos de arcilla centran su aplicación en la producción de ladrillos y tejas para construcción, así como productos y objetos de alfarería. Están constituidos por arcillas normalmente rojas, y sus temperaturas de cocción se sitúan entre los 900 y 1.000° C.

La loza, tanto de mesa como sanitaria, es de pasta blanca, con revestimiento vítreo transparente (cristalina). Si en su composición entran las calizas se produce la loza calcárea, y con adición de feldespato la loza feldespática, siendo sus temperaturas de cocción de 1.000 a 1.200° C.

La porcelana con revestimiento o sin él es compacta y dura, excelente material refractario, y presenta óptima resistencia al ataque químico y elevada rigidez dieléctrica.

Sus utilidades más generales son la fabricación de porcelana de mesa, porcelana sanitaria, aisladores y porcelana artística. La temperatura de cocción de la porcelana supera los 1.300° C.

El gres es un producto cerámico muy compacto, duro, denso y resistente a los agentes abrasivos, con una temperatura de cocción que va de 1.200 a 1.300° C.

Su utilización se encuentra en la fabricación de aisladores, gres sanitario, recipientes antiácidos, vajillas y objetos artísticos, así como pavimentos y revestimientos cerámicos gresificados.

Debido a la limitación de tiempo de que dispongo, voy a referirme más concretamente a los sectores de pavimentos y revestimientos cerámicos, así como al de esmaltes, debido a la gran importancia de estos sectores en España.

Los azulejos y pavimentos cerámicos son habituales y familiares para todos nosotros. Nos acompañan en nuestra vida diaria. Los vemos en nuestras propias casas, en baños y cocinas, en terrazas y en instalaciones exteriores.

Y, de tanto ver estos materiales tradicionales, hemos quedado ciegos para descubrir una metamorfosis espectacular, que ha revolucionado el mundo de su fabricación.

Hoy, la azulejería española está sólidamente asentada. Sus técnicas aseguran una permanente optimización de los procesos de fabricación, y ésta permite obtener unos elevados niveles de calidad en los productos.

Las propiedades de los materiales deben ajustarse de modo muy específico a los requerimientos de cada uso.

Esto supone que hay que conocer profundamente los materiales, y cómo lograr que tengan propiedades específicas.

La Península Ibérica, con su incorporación al Islam, se convirtió, durante la Edad Media, en un lugar de encuentro de culturas tremendamente diversas. Esto dio como resultado un panorama artístico que consiguió en el campo estético un grado sorprendente de coherencia.

Las primeras muestras de cerámica esmaltada aplicadas a la arquitectura no van más allá de fines del siglo XI o principios del XII, con ejemplos almohades de decoraciones murales en Sevilla.

En Andalucía, en el siglo XIII, se utilizaban pavimentos llamados a-zala, iyi (azulejos), que tenían gran variedad de tonos. En estas piezas se puede apreciar la propia evolución del diseño hispanomusulmán, centrado en las formas depuradísimas de la geometría.

Los grandes centros productores de Granada, Sevilla, Toledo, Manises-Paterna, Teruel y otros muchos, coinciden con los enclaves más importantes del mudéjarismo, y también, de una forma aproximada, con los futuros centros neurálgicos de la producción cerámica de la época moderna y contemporánea.

LA INDUSTRIA ESPAÑOLA ACTUAL

En la actualidad España, con sus cerca de 260 millones de metros cuadrados por año de pavimentos y revestimientos cerámicos, es el segundo productor del mundo, sólo superado por Italia y seguido muy de cerca por Brasil. Entre estos tres países producen el 70 por 100 de la producción mundial. El total de fábricas es de 212, de las cuales 157 están en Castellón. El número de empleados supera los 13.000.

Para tener datos comparativos fiables nos referiremos a cifras de 1989. España produjo 240 millones de metros cuadrados por año, siendo prácticamente la mitad de revestimientos cerámicos y el otro 50 por 100 de pavimentos de gres; en dicho año Italia tuvo una producción de 390 millones de metros cuadrados y Brasil de 220 millones de metros cuadrados.

Sin embargo, respecto al consumo interior, es Brasil, seguido de Italia, quien más autoconsumo tiene, con 200 millones de metros cuadrados por año y 190 millones de metros cuadrados por año, respectivamente, estando España la tercera, con 160 millones de metros cuadrados, bajando luego a países como Estados Unidos, Alemania Federal y Francia, sobre los 100 millones de metros cuadrado. Esto significa que la distribución y el consumo de los distintos países en metros cuadrados por año y habitante es muy heterogénea; así, Italia y España superan los 3 metros cuadrados por año y habitante, siendo la media europea de 1,5 metros cuadrados por año y habitante; Brasil, 1 metro cuadrado, y Estados Unidos, 0,25 metros cuadrados por año y habitante.

Estados Unidos, siendo un gran consumidor potencial, tiene una baja cifra de consumo, por lo que es un mercado con muy altas posibilidades de ampliación.

Respecto a la aplicación de los revestimientos y pavimentos cerámicos, el 85 por 100 del consumo se emplea en uso doméstico, y de éste, el 45 por 100 se emplea en renovaciones, dato muy interesante, ya que, creada la necesidad de uso y la moda, es un mercado posterior continuo muy a tener en cuenta.

Respecto a la exportación, el mayor exportador es Italia, con aproximadamente 200 millones de metros cuadrados (más de! 50 por 100 de su producción, fundamentalmente a la CEE (50 por 100) y EE. UU. (11 por 100).

España es el segundo exportador, con unos 80 millones de metros cuadrados por año (en 1990 fueron 100 millones de metros cuadrados), también el 50 por 100 a la CEE y el 12 por 100 a EE. UU., por un valor del orden de 50.000 millones de pesetas.

Las principales diferencias que existían hasta los últimos dos o tres años eran una calidad y diseño italianos muy superiores, pero España ha sabido hacer frente a este reto de calidad y podemos decir que, en este momento, tanto el diseño como la calidad de sus materiales está a la altura de la fabricación italiana.

PAVIMENTOS Y REVESTIMIENTOS CERAMICOS

Los pavimentos y revestimientos cerámicos, denominados también baldosas cerámicas, son piezas que están constituidas normalmente por un soporte cerámico, de naturaleza arcillosa, con o sin un recubrimiento esencialmente vítreo: el esmalte cerámico.

Los revestimientos cerámicos son, normalmente, porosos, lo que favorece la adherencia a la pared. En cambio, los pavimentos cerámicos presentan una baja porosidad, con lo que se consiguen mejores características técnicas.

La elección de un pavimento o revestimiento cerámico para una aplicación determinada debe responder a una serie de condicionamientos estéticos, técnicos y económicos.

La relación de las características que deben reunir los pavimentos y revestimientos cerámicos deriva directamente de las exigencias de su uso. Por esto, para cada caso, son diferentes las características exigidas, su importancia y su prioridad.

CARACTERISTICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS

— Resistencia mecánica

Las prestaciones mecánicas exigibles a este tipo de productos abarcan esencialmente la resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y al impacto, dureza de la cara vista o resistencia al rayado y resistencia a la abrasión superficial.

La resistencia a la flexión es una característica importante a tener en cuenta en los pavimentos cerámicos según el nivel de prestaciones exigibles.

La resistencia a la compresión de los recubrimientos ce-

rámicos es elevada y superior a la de otros materiales alternativos. En cambio, los recubrimientos cerámicos son relativamente frágiles, aunque los pavimentos gresificados de baja porosidad alcanzan resistencias comparables a otros materiales inorgánicos. En todos los casos este parámetro está relacionado de forma muy directa con la puesta en obra del producto.

La dureza o resistencia al rayado superficial, junto con la resistencia al desgaste por abrasión, son características relacionadas entre sí que nos indican la durabilidad o resistencia a la pérdida de aspecto superficial.

Por otra parte, la pérdida de aspecto superficial viene condicionada por una serie de factores externos al pavimento:

- Tipo de desgaste por rozamiento: fricción (limpieza, tráfico peatonal, tráfico rodado, etc.), dirección del rozamiento (unidireccional, rotacional), y su magnitud por impacto, etc.
- Tipo de agente mecánico: referido a las características físicas y material de ese agente (cuero y goma en zapatos, neumáticos, elementos metálicos estáticos o dinámicos, etc.).
- Tipo de material como agente intermedio entre el pavimento y el agente dinámico: agua, arena, sustancias orgánicas, etc.
- Intensidad del tráfico: según el ambiente de destino del pavimento (diferentes áreas dentro de una vivienda, locales públicos, intensidad regular o irregular, áreas industriales, etc.).

Estos factores son determinantes para la correcta selección de un pavimento cerámico. La dureza y resistencia al desgaste por abrasión exigibles a un pavimento determinado serán acordes con la tipología de utilización definida por aquéllos.

El desgaste de las superficies debido a los rozamientos se detecta en breve plazo, y constituye un elemento importante en la valoración de un producto para su colocación o no en las edificaciones. La gran variedad de pavimentos cerámicos, esmaltados o no, algunos de ellos con altísima resistencia a la abrasión, hace necesario un estudio previo y una definición clara del producto y sus características para determinar su adecuación a las condiciones de uso.

Entre los factores que van a determinar la resistencia a la abrasión de un pavimento cerámico esmaltado, los que más directamente afectan al resultado final son: la composición del esmalte, su aplicación y la temperatura de cocción.

En los locales o zonas de tránsito intenso (locales públicos), en los que la abrasión normal se puede acrecentar por la presencia de suciedad, arena, etc., las características exigidas a los pavimentos deben ser más rigurosas.

— Resistencia al agua y a la humedad

Es la principal propiedad que se exige a cualquier tipo de recubrimiento en las construcciones, bien sea para uso

individual o colectivo. Por razones higiénicas de limpieza o de conservación de las edificaciones, no es deseable que las superficies absorban o retengan agua. Con mayor motivo esta propiedad es imprescindible en locales donde el uso de agua es continuado (baños, cocinas, establecimientos industriales, laboratorios, piscinas, fachadas, etc.).

En locales con frecuente humedad, una impermeabilización deficiente facilita el desarrollo de gérmenes y hongos.

— Resistencia a los agentes químicos

En locales donde el uso de estos agentes es frecuente, las superficies deben recubrirse de materiales resistentes a los mismos: detergentes, ácidos inorgánicos, lejías, ácidos orgánicos (zumos de frutas, vinagre, leche, etc.), que pueden derramarse o utilizarse para la limpieza y conservación de las superficies.

— Resistencia a los agentes biológicos

La resistencia a los agentes biológicos es requisito imprescindible exigido a los recubrimientos de lugares donde, por diversas razones, se puedan desarrollar hongos o colonias de gérmenes.

— Resistencia a los cambios bruscos de temperatura

Puede considerarse como una propiedad inherente a los pavimentos y revestimientos cerámicos. En el intervalo de temperaturas comprendido entre 0 y 150° C, la mayoría de estos productos soportan bien las oscilaciones de temperatura, debido a sus características microestructurales.

— Resistencia de los colores cerámicos a la luz

Es bien conocido que algunas sustancias colorantes sufren alteraciones con la exposición prolongada a la luz solar. Los vidriados coloreados y los pigmentos cerámicos empleados en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos son inalterables a la luz solar para cualquier período de exposición. La resistencia química y a los cambios de temperatura, junto a esta propiedad, hacen que los revestimientos cerámicos no sujetos a un desgaste mecánico permanezcan inalterables durante siglos.

Otras características que se pueden considerar, son:

- Aislamiento térmico.
- Aislamiento acústico.
- Absorción de ruidos ambientales.
- Aspecto superficial.
- Carencia de olor propio o adquirido.
- Incombustibilidad y ausencia de peligrosidad en caso de incendio.
- Seguridad eléctrica.
- Asepsia.
- Estabilidad estática.

Todas estas características las reúnen los revestimientos y pavimentos cerámicos debido al proceso tecnológico al

que han sido sometidos, y también a las materias primas que los integran. Los pavimentos gresificados son especialmente interesantes, como materiales que aportan este tipo de características de seguridad, y son superiores a los productos alternativos.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) clasifica los pavimentos y revestimientos cerámicos en doce grupos, según el tipo de moldeado empleado, para conformarlos (extrusión, prensado y colado), y, según su porosidad abierta, medida como absorción de agua, pero antes de enumerarlos voy a aclarar algunos términos que se utilizan.

ESMALTE: Es una cubierta vítrea y prácticamente impermeable.

ENGOBE: Es una cubierta a base de arcilla con un acabado mate, que puede ser permeable o impermeable.

BALDOSAS DE MONOCOCCION: Son baldosas esmaltadas sobre soporte crudo, fabricadas en una sola cocción.

BALDOSAS DE DOBLE COCCION: Son baldosas esmaltadas después de la primera cocción del soporte y luego se cuecen por segunda vez.

BALDOSAS DE TERCER FUEGO: Son baldosas de doble cocción que se vuelven a decorar con esmaltes de alta temperatura y se vuelven a cocer.

COCCION RAPIDA Y TRADICIONAL: La cocción se puede realizar con ciclos rápidos que oscilan alrededor de 45 minutos en hornos especialmente preparados para ello, o con ciclos lentos que van de doce horas en adelante en hornos tradicionales.

GRESIFICADA Y POROSA: La diferencia viene dada por la absorción de agua del producto acabado. Cuando las absorciones son inferiores al 6 por 100 se habla de baldosas de gres, y cuando son superiores al 10 por 100 se habla de baldosas porosas.

BALDOSAS EXTRUIDAS: Son baldosas cuya masa se moldea en estado plástico mediante una galletera, y la cinta obtenida se corta en piezas de longitud predeterminada; pueden ser esmaltadas o no.

BALDOSAS PRENSADAS EN SECO: Son baldosas formadas de una masa reducida a polvo o pequeños granos y moldeadas en matrices a alta presión. Pueden ser esmaltadas o no esmaltadas.

BALDOSAS COLADAS: Son baldosas formadas de una masa en estado de lechada (barbotina) que se vierte en un molde o en una placa refractaria porosa, que absorbe el agua. Pueden ser esmaltadas o no esmaltadas.

La producción de baldosas coladas es muy baja, y se reduce a la obtención de piezas con grandes relieves o piezas de geometrías complicadas para cenefas decorativas.

BALDOSAS DE PASTA BLANCA O ROJA: Se refiere al color que toma el bizcocho o soporte, dependiendo de las materias primas utilizadas.

ESMALTES

Dentro de la cerámica tradicional, y por su importancia en el sector, debemos hablar de las fritas, esmaltes y pigmentos o colores cerámicos.

En términos generales un esmalte cerámico es un producto que es aplicado en estado vítreo al sustrato o cuerpo cerámico.

Cuando el esmalte es cocido sobre la superficie del cuerpo cerámico, lo hace impermeable, aumenta la resistencia y solidez del producto terminado y lo provee de una suave superficie decorativa. Sin embargo, antes de ser aplicado sobre la base debe ser cuidadosamente preparado para que sus propiedades sean compatibles con el cuerpo que cubre. Una de las más importantes consideraciones es la característica de expansión térmica de los esmaltes y del cuerpo durante la cocción y enfriamiento posterior.

El principal mercado de aplicación es el pavimento y revestimiento cerámico, por lo que su desarrollo en España en los últimos años ha alcanzado unos volúmenes verdaderamente notables que nos han situado en el segundo lugar del mundo respecto a su cantidad y a la altura de los fabricantes italianos, y en algunos casos superándolos, respecto a su calidad.

Es un sector que, con un total de 22 empresas en España, tiene unas ventas anuales que superan los 35.000 millones de pesetas, de los cuales unos 10.000 millones de pesetas son de la exportación a prácticamente todos los países del mundo, aunque fundamentalmente es el mercado italiano el de mayor consumo (aproximadamente, el 30 por 100).

La producción actual es de unas 230.000 toneladas al año, exportando unas 70.000 toneladas por año, siendo el 70 por 100 fritas y el 30 por 100 esmaltes.

Dada la diversidad de tipos que existen y que sirven a los diferentes sectores de la industria cerámica, los clasificaremos en:

- A) Fritas
- B) Esmaltes
- C) Colorantes

Pasemos a definir brevemente y de modo genérico qué son en realidad estos tres tipos enunciados.

A) Fritas

Las fritas nacen por la necesidad de utilizar en cerámica materias primas naturales o sintéticas cuya solubilidad en agua las hace inaplicables en forma directa, tales como carbonatos alcalinos, nitratos, boratos, etc.; en efecto, para la formación de los esmaltes, productos que describiremos a continuación, se necesitan ciertos elementos químicos que se encuentran en forma de materias primas solubles en agua y, al ser los esmaltes barbotinas, es decir, suspensiones de sólidos en agua, pueden reaccionar inapropiadamente con otros óxidos.

Ahora bien, si estas materias primas solubles, junto al resto de materias primas no solubles, se funden a temperaturas que oscilan entre 1.300 y 1.550° para formar un vidrio, pasarán a formar parte de un silicato complejo, el cual ya es insoluble en agua, lo que permite utilizarlo como componente de los esmaltes cerámicos.

TABLA 1
Tipos de baldosas cerámicas

Superficie de la cara vista	Color del soporte (reverso)	Absorción de agua (%)	Denominaciones	Peso por m ² (Kg.)	Espesor (mm.)	Clasificación CEN	Uso preferente
No vidriada	Rojo	10-20	Baldosín rojo mate. Baldosín catalán	8-10	6-8	AIII, BIII	Cubiertas y ambientes rústicos.
	Del ocre al rojizo	3-15	Toba rústica	20-35	20-35	AIII, BIIa, BIIb	Pavimentos interiores y exteriores de ambientes rústicos. Restauraciones.
	Marrón rojizo-Marrón oscuro	4-10	Baldosa gresificada	18-20	8-10	BIIa, BIIb, AIIb	Pavimentos interiores y exteriores de ambientes rústicos. Restauraciones.
	Ocre, marrón rojizo y marrón oscuro	1-4	Pavimento gresificado, gres rústico	18-20	8-10	BI, BIIa	Pavimentos de interiores y exteriores.
Vidriada	Diversos colores y tonalidades	0-7	Klinker	20-25	25-30	AI, AIIa, AIIb, BI	Pavimentos industriales y rústicos, revestimientos exteriores.
	Amplia gama de coloraciones, incluido aspecto granítico	0-1	Gres porcelánico	18-22	8-10	BI	Pulido o sin pulir, como pavimento de interiores o exteriores de elevadas prestaciones.
	Ocre amarillento-rojizo	10-20	Azulejo de mayólica	10-20	5-10	BIII	Revestimiento de interiores.
	Ocre amarillento-rojizo	4-15	Pavimento de bicocción	14-16	9-11	BIIa, BIIb, BIII, AIIa, AIIb	Revestimiento de interiores.
	Blanco-Blanco grisáceo	15-22	Azulejo de pasta blanca	10-20	5-10	BIII	Revestimiento de interiores.
	Diversos colores, desde el blanco grisáceo al marrón oscuro	1-6	Pavimento de gres	18-23	8-10	BI, BIIa	Pavimentos de interiores y exteriores.
Vidriada	Diversos colores y tonalidades	0-7	Klinker vidriado	20-25	25-30	AI, AIIa, AIIb, BI	Revestimientos de interiores.
	Rojo	10-20	Baldosín vidriado	8-10	6-8	AIII	Revestimientos de interiores.
	Ocre, marrón oscuro	1-4	Baldosas de gres	18-20	7-10	AI, AIIa	Revestimientos y pavimentos exteriores e industriales.

Una vez fundidas y convertidas en vidrio, se enfrían y molturan para ser empleadas como productos insolubles.

El número de fritas en función de su composición es inmenso. Cada fabricante tiene sus propias fórmulas y, en muy pocos casos, se puede hablar de una determinada frita común a todos los fabricantes. Todos los fabricantes producen fritas que son capaces de sustituir a las fritas de otros fabricantes, para obtener productos similares, aunque no sean composiciones iguales.

B) Esmaltes

Los esmaltes son mezclas de una o varias fritas, una o varias materias primas y uno o varios colorantes. El más sencillo es aquel formado por una determinada frita y caolín, que actuaría como agente de suspensión.

Los esmaltes se preparan a partir de productos finamente divididos. Hoy en día existen dos tipos de esmaltes:

— Esmaltes en forma de barbotina o lechada, denominados esmaltes por vía húmeda.

— Esmaltes en forma de partículas más o menos gruesas, denominadas esmaltes por vía seca o granillas.

Los esmaltes por vía húmeda se preparan mediante una molturación en molinos de bolas con agua, provocando la obtención de una barbotina, la cual se utiliza directamente para la aplicación sobre el soporte cerámico.

Los esmaltes por vía seca se producen por la molturación en seco de fritas y materias primas.

Esta línea de nuevos esmaltes, empezada a utilizar en cantidades considerables desde 1982, está aportando a la cerámica nuevas, interesantes y espectaculares posibilidades. Con toda seguridad, será el campo con más amplias perspectivas de desarrollo en la industria.

Actualmente, el 70 por 100 de la oferta de pavimentos cerámicos se realiza con productos de aplicación en seco.

Podríamos mencionar como aspectos salientes:

- 1) Muy alta resistencia a la abrasión, debido, fundamentalmente, a la uniformidad en la distribución de los distintos colores de granos a través de toda la sección de la capa de esmalte y a espesores de esmalte importantes que hacen muy difícil acceder al soporte por abrasión.
- 2) Márgenes muy amplios para el desarrollo creativo, la innovación estética y diseños no convencionales. Las granillas, laminadas o granuladas, es posible combinarlas con distintas técnicas de decoración, tradicionales o no.

Todas estas consideraciones apuntadas, a las que, por razones de espacio, se le podrían agregar muchas otras, hacen que los pavimentos esmaltados en seco se hayan convertido hoy en los de mayor producción y venta en países líderes como Italia y España.

Es evidente que la cantidad de esmaltes que actualmente se utilizan en cerámica es enorme, podríamos hablar de miles de esmaltes.

C) Colorantes

Son pigmentos inorgánicos producidos por calcinación de cationes metálicos cromáticos y otras materias primas que permiten obtener sales con estructuras de espínela fundamentalmente, de alta estabilidad química.

Nacen, como es lógico, de la necesidad de obtener esmaltes coloreados.

Hay varios métodos para colorear un cuerpo cerámico:

— Por adición a la pasta cerámica de un color en el momento del amasado. En este caso el esmalte será transparente.

— Por adición al esmalte de un color específico.

— Mediante la decoración del cuerpo cerámico sin cocer, aplicando posteriormente el esmalte transparente. Estamos en este caso en la decoración bajo barniz.

— Mediante la decoración de la pieza esmaltada, es decir, sobre barniz o cubierta.

Actualmente, en este último caso, se utilizan colores de gran fuego o colores «in», cuyo punto de reblandecimiento es similar al del esmalte, haciéndose compatible y estable y evitando así el problema de deterioro con el uso.

Los colorantes son los productos de este sector que menos materias primas minerales utilizan, y son, asimismo, los de menor volumen de producción, puesto que entran en pequeños porcentajes en la composición de los esmaltes cerámicos.

Es necesario señalar que todos los colorantes son insolubles en agua y se suministran en forma de polvo finamente dividido.

Pasemos a estudiar cada caso en concreto, en relación con las materias primas y, en particular, con las materias primas minerales.

Las materias primas utilizadas en este sector podemos clasificarlas en:

- Oxidos ácidos,
- Oxidos neutros, y
- Oxidos básicos.

Oxidos ácidos

El más importante de todos es la sílice, que entra en la constitución de casi todos los esmaltes. Su función es aumentar la viscosidad, resistencia química, dureza y durabilidad.

El otro principal producto es el ácido bórico. El óxido bórico es un poderoso fundente que imparte viscosidad al esmalte, aumenta su resistencia al choque térmico y aumenta el brillo y satinado de los esmaltes.

Oxidos neutros

El más importante es la alúmina; su utilización imparte alta viscosidad y aumenta la resistencia mecánica y química. Los minerales más comunes portadores de alúmina son el feldespato, la nefelina-sienítica y el caolín.

Oxidos básicos

La función de los óxidos básicos en los esmaltes es ajustar ciertas propiedades en la estructura vítrea e influir en propiedades tales como brillo, dureza y suavidad. Por esta razón son también conocidos como agentes modificadores, de los cuales los más comunes son el óxido de plomo y los óxidos alcalinos y alcalinotérreos. El óxido de plomo se utiliza siempre en forma de frita para esmaltes por debajo de 1.150° C, y es particularmente responsable del alto brillo y lustre, teniendo excelentes propiedades al fuego y baja temperatura de fusión.

Los óxidos alcalinos de sodio y potasio tienen asociadamente las mismas propiedades, como son fuerte acción fundente y baja viscosidad; sin embargo, el potasio tiene un palier de fusión más amplio, así como más alto índice de refracción. El feldespato y la nefelina-sienítica son las mayores fundentes para el aporte de álcalis.

Otras fuentes de sodio y potasio son los carbonatos, los boratos y los nitratos, todos aplicados en forma de frita.

El óxido de litio es también utilizado algunas veces para incrementar el efecto de brillantez y color en los esmaltes. Los minerales empleados son la espodumena, la petalita y la lepidolita.

Los óxidos de cal y magnesia actúan como fundentes de alta temperatura, incrementando la dureza de los esmaltes. Se utilizan carbonato cálcico, la colemanita y la wollastonita y el carbonato magnésico, talco o serpentina, y la dolomita.

Otros óxidos básicos que se utilizan en algunas formulaciones son los de bario, estroncio y zinc, a través de sus carbonatos.

Los esmaltes, en realidad, pueden ser transparentes o decorativos por sí mismos, u opacos por la necesidad de cubrir el cuerpo cerámico por tener inferior color.

El óxido de estaño es el opacificador más utilizado para todas las temperaturas de cocción, debido a su baja solubilidad, alto poder cubriente y color blanco; sin embargo, su alto precio ha restringido su uso a aplicaciones muy nobles, siendo reemplazado por el silicato de zirconio.

CERAMICA AVANZADA

Por cerámica avanzada se denomina a los materiales inorgánicos policristalinos, generalmente obtenidos con materias primas de gran pureza, partículas submicrónicas y conformados mediante altas presiones y altas temperaturas de sinterización, dando lugar a cuerpos totalmente densificados que le confieren altas prestaciones técnicas.

Las características, pues, de la cerámica avanzada son alta pureza de las materias primas y alta tecnología de fabricación, confiriendo al producto final altas propiedades cerámicas, tales como termoresistencia, dureza, tenacidad, alta densidad muy próxima a la teórica, altas resistencias a la abrasión, corrosión y choque térmico, alta estabilidad dimensional y características eléctricas específicas.

Seguiremos utilizando la denominación de cerámica avanzada para este tipo de cerámica de altas prestaciones técnicas, aunque su concepto básico es el mismo que cualquier otro tipo de cerámica tradicional en definitiva, es sólo el proceso de fabricación, la microestructura y la pureza de las materias primas lo que las diferencia.

La densidad de este tipo de cerámicas llega a valores del orden del 99 al 100 por 100 de la densidad teórica del material.

Químicamente hablando, todos los materiales cerámicos tradicionales se incluyen en la química de los silicatos y se han valorado secularmente por su capacidad para resistir las altas temperaturas y el ataque químico. Estas características positivas se deben a los fuertes enlaces que mantienen a los átomos de las estructuras cerámicas, firmemente asentados en sus posiciones de equilibrio. Sin embargo, la naturaleza de estos enlaces tan rígidos, añade a estos productos un gravísimo inconveniente: su fragilidad.

Cualquier imperfección en la microestructura de un objeto cerámico sirve de punto iniciador de grietas, que pueden fracturarlo súbitamente ante un impacto, incluso ocasionado por fuerzas moderadas. Por este motivo se han dedicado desde siempre muchos esfuerzos de la investigación cerámica a desarrollar nuevos procesos, que disminuyan o anulen estos defectos microscópicos.

Quizá el principal cambio tecnológico es el que vino de la mano de un gran adelanto en otra industria cerámica: la del refractario, cuando se consiguieron fabricar fibras cerámicas y refractarios de mullita ($3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$).

Los materiales cerámicos, tal como se dijo, están formados por fuertes enlaces híbridos iónico-covalentes, que limitan el movimiento electrónico e impiden, al mismo tiempo, el desplazamiento de planos atómicos entre sí. Por ello, los defectos microscópicos que quedan ocluidos entre varios microcristales y que pueden estar originados por huecos, aglomerados o impurezas químicas, crean tensiones interiores. Dado que el material cerámico no puede deformarse para aliviar las tensiones concentradas, el límite de fractura se sobrepasa fácilmente en las posiciones de esos defectos, pese a que la mayoría del material permanezca por debajo de los valores límites. Cuando la tensión supera ese umbral en la posición de un defecto, se origina una microgrieta, la cual, ante una pequeña sobretensión, puede propagarse rápidamente a través de la pieza, provocando súbitamente su rotura.

Puesto que la causa principal de la fragilidad cerámica son los defectos microscópicos que pueden originarse entre los diversos agregados cristalinos, la mayoría de las investigaciones actuales en cerámicas tenaces se han dirigido hacia la eliminación de tales defectos, para lo que uno de los caminos ha sido el usar polvos finísimos, con tamaño de partícula inferior al micrómetro, y de alta pureza química, y unirlos muy íntimamente antes de sintetizarlos. El material cerámico que resulta tiene una densidad muy próxima a la teórica, con lo que no se dejan huecos entre los granos cristalinos, consiguiéndose materiales muy resistentes y tenaces.

Otro procedimiento aplicado para conseguir cerámicas te-

naces se basa en una técnica parecida a la empleada en metalurgia para endurecer los aceros mediante el temple. Me refiero a la transformación martensítica que sufren determinados cristales cuando al aplicarles energía cambian de estructura cristalina, de forma que la nueva estructura tenga un volumen mayor que la primera. Cuando en una matriz cerámica se dispersan cristales de circonita (ZrO_2), éstos cristalizan en el sistema tetragonal. Sin embargo, cuando una microgrieta, al propagarse, se aproxima a uno de estos cristales embebidos en la matriz, la tensión originada por la grieta hace cambiar la estructura de la circonita de tetragonal a monoclinica, la cual tiene un volumen ligeramente superior a la primera, con lo que comprime la grieta e impiden su propagación.

En el año 1973 se demostró, a través de la utilización de fibras de carbono, que era posible incorporar fibras a matrices de tipo vítreo para obtener composites con resistencia y tenacidad elevadas.

Los composites consisten, pues, en una red de fibras, que forman el entramado, dentro de una matriz, por lo que las características, tanto de la fibra como de la matriz, se complementan aumentando las prestaciones del producto final.

Así se forman los composites de cerámica-cerámica, cerámica polímero y cerámica-metal, pudiendo ser el producto cerámico tanto la fibra como la matriz.

En lo que se refiere a matrices cerámicas se ha demostrado que la incorporación de fibras discontinuas o de fibras cortas monocristalinas («whiskers») produce un aumento de la tenacidad.

En la actualidad existe un considerable interés en los materiales cerámicos reforzados con fibras cortas para usos estructurales de elevadas prestaciones, tal es el caso de los materiales de alúmina reforzada con fibras cortas monocristalinas de SiC, que han mostrado un elevado rendimiento como herramienta de corte de alta velocidad. El reciente desarrollo de estos materiales ha sido posible por la disponibilidad de grandes cantidades de «whiskers», principalmente de SiC o de Si_3N_4 .

Aunque las fibras parecen determinar las características finales de los materiales, son las matrices y su amplio rango de composiciones y propiedades físicas las que proporcionan el control necesario en la fabricación del material.

PROCESAMIENTO

Los procesamientos que se pueden seguir para la obtención de materiales reforzados con fibras son:

- La técnica de infiltración en barbotina. Es efectiva en vidrios y vitrocerámicos que, generalmente, se prensan en caliente a temperaturas cercanas o superiores al punto de reblandecimiento del vidrio.
- Cuando se desean materiales con propiedades más isotrópicas se usa el mezclado de fibras cortas o «whiskers» dentro de la pasta cerámica, seguido de

un secado y conformado que, en general, tiene lugar mediante un prensado en caliente. Los problemas asociados con la pérdida del comportamiento isotrópico como consecuencia de la orientación preferente de las fibras durante el prensado en caliente, se han resuelto con la aplicación de ultrasonidos.

- Para estructuras complejas se puede utilizar la técnica de infiltración por presión. En principio, con este método se pueden obtener matrices totalmente densas en una sola etapa.
- Por último, el moldeo por inyección permite la obtención a gran escala de estructuras complejas con forma cercana a la final.

Así pues, mediante éstos y otros procedimientos, científicamente controlados, se pueden diseñar materiales cerámicos con densidades próximas a las teóricas y alta tenacidad, los cuales pueden superar a muchas aleaciones metálicas para herramientas de corte y troqueles para extrusión de metales.

El ejemplo más ilustrativo de la evolución investigadora que ha tenido lugar en el desarrollo de las Cerámicas Tenaces lo tenemos con el nitruro de silicio (N_3Si_4), y toda la cerámica del nitrógeno que de él ha derivado.

El nitruro de silicio es un compuesto ideal para fabricar cerámicas estructurales, ya que une a sus propiedades de alta dureza una elevadísima resistencia a la abrasión, a la corrosión, al choque térmico, y tiene una temperatura de descomposición de $1.900^\circ C$.

Otros compuestos de gran interés técnico son los Sialones, compuestos derivados del nitruro de silicio por sustitución parcial de algunos átomos de Si y de N, por otros de Al y de O dentro del tetraedro básico. La ventaja de los sialones está en que los huecos electrónicos permiten sintetizar perfectamente las formas moldeadas con polvos de sialones, cuando se tratan a $1.600^\circ C$ en atmósfera inerte. Esto permite moldear previamente las formas deseadas, mediante técnicas cerámicas tradicionales, como el colado, prensado o extrusión, y luego hornearlas adecuadamente, para conseguir piezas de máxima densidad.

CERAMICAS DE INGENIERIA

Una de las grandes aplicaciones de estas cerámicas tenaces está en su uso como componentes de motores de combustión interna y en turbinas de gas, ya que, a sus buenas propiedades mecánicas, unen las características comunes a toda cerámica: alta resistencia térmica, y a la corrosión, lo que permitirá motores adiabáticos, sin necesidad de refrigeración y con elevadísimos ahorros de combustible.

En el caso de las turbinas de gas, el uso del nitruro de silicio y de sialones permitirá temperaturas de trabajo de $1.370^\circ C$, frente a los $1.050^\circ C$ que permiten las aleaciones de níquel-cromo que hoy se usan. Esto supondrá una notable mejora en la eficacia de las turbinas, una mejor relación potencia/peso, ahorrar combustible y disminuir la contaminación atmosférica.

Hace ya años que compañías como la japonesa Kyocera y las norteamericanas Ford-Garret y GM-Allison, tienen prototipos de motores diesel con todos sus componentes cerámicos.

Quizá la última y más revolucionaria aplicación de las nuevas cerámicas de ingeniería apareció en el año 1987, con el descubrimiento de los superconductores cerámicos.

El fenómeno de la superconductividad, o paso de electricidad a través de un conductor, sin ofrecer resistencia alguna, fue descubierto en 1911 por H. K. Onnes, quien comprobó que el mercurio podría conducir la electricidad, sin disipar energía, cuando se enfriaba por debajo de los $4,2^\circ K$. Lo mismo se consiguió con otros metales, pero siempre a temperaturas muy próximas al cero absoluto. Posteriormente, a partir de 1957, se encontró que otro tipo de compuestos, fundamentalmente aleaciones o compuestos intermetálicos de niobio o vanadio, alcanzaban la fase superconductora a temperaturas más altas, del orden de $20^\circ K$.

Sin embargo, en noviembre de 1986, los investigadores K. A. Müller y J. G. Bednorz, de IBM, publicaron su descubrimiento de que ciertos compuestos cerámicos, basados en óxido de cobre, lantano y bario presentan superconductividad a temperaturas próximas a los $40^\circ K$. Sobre estos resultados se siguió trabajando y, en febrero del año 1987, se descubrió que, con estos compuestos cerámicos, sometidos a procesos de alta presión y temperatura, se conseguían materiales en los que la fase superconductora se mantiene hasta los $93^\circ K$ de temperatura, lo que permite enfriarlos con nitrógeno líquido, en vez de con helio, con el consiguiente ahorro del coste del refrigerante, además de permitir un mantenimiento y un aislamiento térmico, mucho más baratos.

Estos compuestos cerámicos superconductores pueden soportar campos magnéticos de hasta 50 teslas (500 KGauss), y son capaces de transportar densidades de corriente de hasta 100.000 amperios por centímetro cuadrado, sin perder la fase superconductora.

Con este descubrimiento se abren las puertas a la revolución de las industrias de la microelectrónica, de la fusión nuclear y de los motores generadores de electricidad. Con bobinas superconductoras se puede trabajar con mayores campos magnéticos, la disipación de energía es casi nula y se reduce su tamaño muy notablemente. Usando generadores superconductores las centrales hidroeléctricas y térmicas aumentarán su rendimiento.

Es decir, toda esta variedad de cerámicas avanzadas pueden cumplir una serie de funciones eléctricas, magnéticas, ópticas, químicas, térmicas, mecánicas, biológicas o nucleares.

Las materias primas fundamentales para estas aplicaciones son la alúmina, sílice, mullita, espinela, óxidos de magnesio, berilo, zirconio, torio, cerio, titanio y molibdeno, así como nitruros de silicio, alúmina y boro y boruros de zirconio y titanio.

Todas estas materias primas de altísima pureza (99,99 por 100) suelen ser fabricadas mediante procesos de síntesis a partir de materias primas neutrales.

Así, la sílice pura, utilizada principalmente para la obtención de carburo y nitruro de silicio y sialones, se obtiene mediante precipitación molecular de disoluciones acuosas.

La alúmina, mediante tratamiento de las bauxitas por el proceso Bayer, o mediante el «cracking» térmico del sulfato de amonio y aluminio. Se utiliza para la producción de cerámicas electrónicas dieléctricas y para cerámicas tenaces.

La zirconia pura se obtiene a partir del óxido de zircon natural o sintético mediante tratamiento térmico a presión, consiguiendo zirconia parcialmente estabilizada mediante la adición de pequeñas cantidades de óxido de calcio, itrio y magnesio. La zirconia estabilizada se utiliza para la fabricación de cerámicas electrónicas y la parcialmente estabilizada para cerámicas tenaces y termorresistentes. Sintetización reactiva: circón + alúmina + (TiO_2 , MgO, CaO) = mullita + circonita + óxidos mixtos a $1.500^\circ C$.

Las materias primas para la obtención del nitruro de silicio son el silicio en polvo y el tetracloruro de silicio o el silano, sometidos a una nitruración a alta temperatura en atmósfera de amoníaco o nitrógeno.

Las cerámicas avanzadas basadas en nitruro de silicio tienen un futuro muy prometedor. Destacan entre sus aplicaciones las cerámicas termorresistentes utilizadas en ciertas partes de los motores de explosión o de reacción.

El carburo de silicio se produce comercialmente mediante la reacción electroquímica a alta temperatura de la sílice y el carbón, obteniéndose un polvo sinterizable de alta pureza.

Sus aplicaciones principales son las cerámicas termorresistentes y aislantes de radiación.

Los sialones son combinaciones de óxidos (alúmina, sílice) con nitruros (nitruro de silicio y aluminio).

Estos materiales se obtienen por reacción a alta temperatura de los óxidos y nitruros citados, a veces con el concurso adicional de una atmósfera nitrante (N_2 , NH_3), o bien por el empleo de un reductor (carbón) para eliminar el exceso de oxígeno.

Al igual que en los dos casos anteriores, su principal aplicación son las cerámicas industriales avanzadas.

Así pues, tanto genio creador hay en quien modele y decore un jarrón, como en quien produzca una cerámica que proteja una nave espacial. Ambos dependen de unos materiales que mezclan, moldean, secan y dejan que el fuego dé su última palabra.

Sí, así sucedió, de la unión de la tierra, el agua y el fuego, así nació el noble arte de la alfarería, que, como dice un verso anónimo, es:

«Arte noble y bizarro
entre todos el primero,
pues Dios fue el primer alfar
y el hombre el primer cacharro.»

Noticias

CURSOS ABIERTOS DE FORMACION DE PERSONAL DEL ITGE

Como continuación de los cursos reseñados en el anterior Boletín, correspondientes al Programa de Actividades de Formación de Personal del ITGE, incluimos los próximos a celebrar.

II CURSO SOBRE TECNICAS DE LABORATORIO EN LA CARACTERIZACION DE RECURSOS MINEROS

A celebrar en Madrid, del 1 al 5 de junio de 1992.

Organizado por el ITGE a través del Area de Laboratorios y Técnicas de apoyo.

Contenido

El curso tendrá una duración aproximada de 40 horas y se estructura en las siguientes áreas:

- Ensayos Químicos.
- Ensayos Mineralógicos.
- Ensayos Geotécnicos.
- Ensayos Mineralúrgicos.
- Organización, Gestión y Control de calidad en los Laboratorios de Ensayos.

El desarrollo del Curso consistirá en clases teóricas, prácticas y mesas redondas. Para el seguimiento del Curso se entregará la pertinente documentación.

II CURSO SOBRE EVALUACION Y CONTROL DE LA EROSION Y DESERTIFICACION

A celebrar en Madrid, del 3 al 5 de junio de 1992.

Organizado por el ITGE a través del Area de Geología Geoambiental.

Contenido

— Factores que controlan los procesos de erosión-sedimentación.

- Erosión y evolución del suelo.
- Métodos de cálculo de la erosión.
- Cartografías de erosión.
- Control de la erosión en obras de ingeniería civil, minera y agronómica.
- Control de la erosión en cuencas naturales.
- Cambios climáticos globales.
- Desertificación.

III CURSO MASTER EN INGENIERIA GEOLOGICA Y AMBIENTAL (1992-94)

— Curso de Especialización en Ingeniería Geológica y de Riesgos Naturales (1992-93).

— Curso de Especialización en Ingeniería Ambiental (1994).

A celebrar en Madrid, del 21 de octubre de 1992 al 20 de junio de 1994.

Organización

Este Curso está organizado por la Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Departamento de Explotación de Minas y por el Instituto Tecnológico Geomínero de España, Area de Ingeniería Geoambiental.

Se cuenta con la colaboración del Centre de Geologie de l'Ingenieur de l'Ecole des Mines de Paris, Fundación Gómez-Pardo, Programa Comett de la CCE y UNESCO y el patrocinio de ITGE, ENDESA, ENRESA, EVE y QUINTO CENTENARIO.

Consejo Rector

Ilmo. Sr. Director de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

Ilmo. Sr. Director General del Instituto Tecnológico Geomínero de España.

Sr. Subdirector de Doctorado, Investigación y Desarrollo, de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

DIRECTOR DEL MASTER:

D. Pedro Ramírez Oyanguren
Dr. Ingeniero de Minas.
Catedrático de Universidad de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la UPM.

SECRETARIO:

D. Ricardo Laín Huerta
Dr. Ingeniero de Minas.
Profesor Titular de Universidad de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la UPM.

Programa

CURSO:

CIENCIAS Y TECNICAS BASICAS EN INGENIERIA GEOLOGICA Y AMBIENTAL
(15,5 créditos). Octubre-Diciembre 1992

Director del Curso:

Dr. Alfonso Maldonado Zamora
Dr. Ing. de Minas, Catedrático de Universidad de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la UPM.

Asignaturas, créditos y profesores

- Geología (Curso de Campo y Gabinete). 3,5 créditos. Dr. Angel García Cortés.
- Elementos de Física Aplicada. 2 créditos. Dr. Ricardo Laín Huerta.
- Fundamentos de Oceanografía, Hidrología y Meteorología. 2 créditos. D. Daniel Baretino Fraile, Dres. Millán Millán y José Medialdea.
- Hidrogeología. 1 crédito. Dr. Adolfo Eraso Romero.
- Proyectos de Ingeniería. 1 crédito. Dr. Carlos López Jimeno.
- Geofísica Aplicada a la Geotecnia y Medio Ambiente. 2 créditos. Dr. Alfonso Maldonado Zamora.
- Teledetección Aplicada a la Geotecnia. Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. 2 créditos. Dr. Angel Valverde Gonzalo.
- Informática Básica. 2 créditos. Dr. Antonio Ruiz Perea.

CURSO:

ESPECIALISTA EN INGENIERIA GEOLOGICA Y DE RIESGOS NATURALES
(23,5 créditos). Noviembre 1992 - Marzo 1993

Director del Curso:

Dr. Pedro Ramírez Oyanguren
Dr. Ingeniero de Minas, Catedrático de Universidad de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la UPM.

Asignaturas, créditos y profesor:

- Riesgos Geológicos y Naturales (1). 4 créditos. Dr. Francisco Javier Ayala Carcedo.
- Mecánica del Suelo Aplicada a la Ingeniería. 4 créditos. Dr. Manuel Romana Ruiz.

- Mecánica de Rocas Aplicada a la Ingeniería. 4 créditos. Dr. Pedro Ramírez Oyanguren.
- Diseño y Construcción de Escombreras de Estériles y Balsas de Residuos. 1,5 créditos. Dr. Carlos López Jimeno.
- Geología Aplicada a la Ingeniería y la Edificación (Engineering Geology) (1). 3 créditos. Dres. Fco. Javier Ayala Carcedo, Cecilio Olivier, J. M.ª Rodríguez Ortiz y Clemente Saenz Ridruejo.
- Ingeniería de Túneles y Espacio Subterráneo. 3 créditos. Dr. Manuel Romana Ruiz y Dr. Ricardo Laín Huerta.
- Informática Geotécnica. 2 créditos. Dr. Luis Gavete Corvinos.
- Fundamentos de Ingeniería Sísmica. 2 créditos. Dr. Joaquín Martí Rodríguez.

CURSO:

ESPECIALISTA EN INGENIERIA AMBIENTAL
(26,5 créditos). Marzo-Junio 1994

Director del Curso:

Dr. Fco. Ayala Carcedo
Dr. Ingeniero de Minas, Director del Area de Ingeniería Geoambiental del Instituto Tecnológico Geomínero de España (ITGE). Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Asignaturas, créditos y profesores:

- AREA 1. CIENCIAS AMBIENTALES Y TERRITORIALES APLICADAS (10 créditos).
- Ecología Aplicada. 2 créditos. Dra. Concepción Val Caballero.
 - Geología Ambiental y Territorial. 2 créditos. Dña. Macarena Herrera Rueda.
 - Ciencia e Ingeniería del Medio Ambiente Geológico (1). 3 créditos. Dr. Fco. Javier Ayala Carcedo.
 - Métodos Estadísticos en Medio Ambiente. 1,5 créditos. Dres. Enrique Chacón Oreja y Juan Llamas Borrajo.
 - Legislación ambiental y Territorial. 1,5 créditos. Dña. Helena de Lizaur G.-Margallo.

AREA 2. INGENIERIA AMBIENTAL Y TERRITORIAL (16,5 créditos).

- Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales (1). 3 créditos. Dr. Fco. Javier Ayala Carcedo.
- Gestión de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio. 2 créditos. Dr. Domingo Gómez Orea.
- Control y Tratamiento de la Contaminación Industrial del Aire. 2 créditos. Dr. Antonio Durán, Jesús Abadía y Emilio Menéndez Pérez.
- Ingeniería de Efluentes Líquidos (2). 2 créditos. Dres. Angel Cámara Rascón, Aurelio F. Hernández Muñoz y Julio Tijera Miguel.
- Ingeniería de Residuos Sólidos. Industriales y Urbanos (1). 2 créditos. D. José Muruais, Dr. Marcel Szanto y D. Daniel Baretino.
- Técnicas y Métodos Analíticos en Medio Ambiente. 1 crédito. Dr. Juan Llamas Borrajo.
- Evaluación y Control de la Erosión y de la Desertificación (1). 1 crédito. Dr. Angel García Cortés.

- Ingeniería de Restauración Ambiental en Minería (2). 1,5 créditos. Dr. Carlos López Jimeno.
- Introducción a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en Ingeniería Ambiental y Territorial. 1 crédito. Dr. Luis Laín Huerta.
- Sector Energético, Energías Renovables y Medio Ambiente. 1 crédito. D. Alberto Carbaño Josa y D. Francisco López Santiago.

CURSO:

PRACTICAS DE CAMPO: 4 créditos. Se realizarán visitas técnicas a Vertederos Controlados de Residuos Sólidos Urbanos, Residuos Tóxicos Peligrosos, Parque Regional de

la Cuenca Alta del Manzanares, etc. Además habrá otros viajes por la mañana en jornadas lectivas.

Proyecto de Master**NOTAS:**

- * 1 crédito: 10 horas lectivas.
- ** Asignaturas de mañana y tarde.
- (1) Programa de Ingeniería Geoambiental del ITGE.
- (2) Curso de la Fundación Gómez Pardo.

Si por causas imprevistas por la Organización fuera necesario variar alguna fecha, se comunicará oportunamente a los interesados.

V CONGRESO NACIONAL DE TOPOGRAFIA Y CARTOGRAFIA

A celebrar en Madrid, del 28 de septiembre al 2 de octubre de 1992.

El Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía organiza para el año 1992 cuatro importantes acontecimientos de especial significado para los profesionales de la Topografía y la Cartografía.

Estos acontecimientos son: el V Congreso Nacional de Topografía y Cartografía «TOP-CART 92», la Exposición Comercial y Científica que tradicionalmente se celebra en los «TOP-CART», la 59 Reunión del Comité Permanente de la FIG (Confederación Internacional de Geómetras) y cuatro Simposios internacionales.

El «TOP-CART 92» fundamenta su celebración en la iniciativa del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía que, consciente de la necesidad de estar al día en los conocimientos y adelantos científicos imprescindibles para la confección de mapas y planos, adoptó el acuerdo de organizar periódicamente un Congreso Nacional en el que, además de un ciclo de conferencias impartidas por relevantes profesionales en el campo de las técnicas Cartográficas y Topográficas, acoja simultáneamente una Exposición Comercial y Científica.

A la 59.ª Reunión del Comité Permanente de la FIG asistirán representantes de los países miembros de esta Asociación, que, en la mayoría de los casos, participarán en estos Simposios, presentando comunicaciones en algunos de ellos.

En esta celebración del «TOP-CART» se hacen coincidir

los cuatro Simposios con el ciclo de conferencias, con traducción simultánea español e inglés.

El contenido temático de estos cuatro Simposios es el siguiente:

1. El libre intercambio de los topógrafos en los países miembros de la FIG y dentro de la CE.
2. Los cambios en la profesión causados por los cambios en la tecnología. Influencia en la educación universitaria.
3. Catastro para uso jurídico: Necesidades cartográficas, aspectos fiscales y de propiedad. Experiencias dentro de los países de la FIG.
4. Ordenación del territorio: Necesidades cartográficas. Estudios medioambientales, sociológicos y económicos.

El ciclo de conferencias del «TOP-CART 92» se complementa con dos temas monográficos de especial importancia para los profesionales españoles:

5. Técnicas de la cartografía digital: Enseñanzas, desarrollos, aplicaciones.
6. Aplicaciones de la Topografía en el campo de la ingeniería: Proyectos y ejecución, repercusiones en el espacio del entorno.

Para una mayor información dirigirse al Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Paseo de la Castellana, 210, 11.º, pta. 9. 28046 MADRID.

Notas bibliográficas**GEOLOGIA GENERAL**

910310. **ITGE: Caminando para entrar en el futuro.** LLORENTE, E.

Ind. mín. (1990), núm. 297, 23-26, esp., bibl. ITGE.

* ITGE, Planificación, Perspectiva, Tecnología, Investigación científica.

910311. **El coleccionismo de minerales y rocas.** MIR, J.

Ind. mín. (1990), núm. 300, 55-60, 14 ref., esp., bibl. ITGE.

* Colección, Histórico, Mineral, Roca.

910312. **Las tecnologías de la información geomínica.** ITGE.

Ind. mín. (1990), núm. 300, 51-54, esp., bibl. ITGE.

* ITGE, Documentación, Planificación, Tratamiento dato.

910324. **Memoria 1989.** ITGE.

Inst. Tecnol. Geomín. Esp. (1990), 147 pp., esp., bibl. ITGE.

* Informe actividad, Informe anual, ITGE, España.

910332. **Mapa del Pirineo: Montañas de bolsillo.** RODRIGUEZ ROSELLO, N.

Rev. Minist. Obras Públ. Urban. (1990), núm. 381, 82-85, esp., bibl. ITGE.

* Geología divulgación, Cartografía, Pirineos, MOPU, DATAR, España, Francia.

910350. **Triang: Soporte informático para la representación de diagramas triangulares.** MARTIN DE JESUS, S.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 365-378, 8 ref., esp., bibl. ITGE.

* Diagramas triangulares, Representación gráfica, Tratamiento dato, Programa ordenador.

GEOMORFOLOGIA

910328. **Glaciares del Pirineo: los hielos perpetuos.** BAZAN, A.

Rev. Minist. Obras Públ. Urban. (1990), núm. 380, 6-12, esp., bibl. ITGE.

* Geología glacial, Morfología glacial, Glaciar, Riesgo natural, Pirineos españoles, Provincia Huesca.

910354. **A dune/beach interaction model and dune management.** PSUTY, N. P.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 11-15, 5 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Duna costera, Playa, Morfodinámica, Línea costa, Modelo.

910355. **Man's impact on coastal dunes in Central Chile (32°-34° S).** CASTRO, A. C., y VICUÑA, V. P.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 17-21, 6 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Morfología eólica, Duna costera, Acción hombre, Chile.

910356. **Significance of barchans in beach-dune system interactions in Central Chile.** ARAYA, J. F.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 23-27, 12 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Morfología eólica, Erosión eólica, Duna costera, Cordón litoral, Playa, Chile.

910357. **The evolution of Corrubedo beach-lagoon complex and evidence of human occupation (1045-695 BP), Galicia, NW Spain.** VILAS, F.; NOMBELA, M. A.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 29-35, 6 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Albufera, Playa, Estrecho mareal, Canal de marea, Marisma salada, Manglar, Duna, Actual, Provincia La Coruña.

910362. **Erosion rates and causes, Northern Gulf of St. Lawrence, Quebec, Canadá.** DUBOIS, J. M., y LESSARD, G. L.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 63-70, 9 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Delta, Acantilado, Proporción material erosionado, Variación nivel, Eustatismo, Tempestad, Quebec, Canadá.

910363. **Litoral processes on the Maresme coast: man's impact or natural effects?** GARAU, C.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 71-78, 19 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Proporción material erosionado, Transgresión, Variación nivel, Sedimento, Playa, Holoceno, Provincia Barcelona.

910364. **Man's impact on the geomorphological evolution of the Gulf of Benin Coastal plain (West Africa).** KOLA WOLE, A.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 79-84, 11 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Erosión litoral, Línea costa, Llanura costera, Variación nivel, Acción hombre, Conservación, Holoceno, Benín.

910365. **Artificial structures and the Adriatic coast of northern Italy: a preliminary report.** FABBRI, P., y WALKER, H. J.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 85-89, 8 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Estudio impacto medio, Puerto, Espigón, Rompeolas, Morfología costa, Línea costa, Protección medio ambiente, Mar Adriático, Italia.

910366. **Post development related erosion at Escravos, Bendel state, Nigeria.** IBE, A. C.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 91-96, 20 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Erosión litoral, Playa, Línea costa, Variación nivel, Acción hombre, Actual, Nigeria.

910369. **Coastal geomorphology and exploitation of lithic resources (Latomies and limekilns) in the territory of Siracusa in ancient times.** LENA, G., y BASILE, B.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 117-122, 14 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Eustatismo, Variación nivel, Acción hombre, Neolítico, Sicilia.

910370. **Fluvia and Muga delta plain geomorphological features and evolution Alt Emporda - Gulf of Roses.** MARQUES, M. A.; JULIA, R.; SARGATAL, J., y SANMARTI, E.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 123-134, 13 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Excursión, Itinerario, Morfología costa, Laguna, Lago litoral, Duna, Playa, Provincia Gerona.

910371. **Main geomorphological features of the Illes Medes and Costa Brava (Sa Riera - Palamos).** MARQUES, M. A.; JULIA, R.; ROS, J. D., y ZABALA, M.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 135-142, 4 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Excursión, Itinerario, Morfología costa, Acantilado, Playa, Línea costa, Urbanización, Provincia Gerona.

910372. **Littoral processes and defense structures on the Costa Daurada.** MARQUES, M. A., y JULIA, R.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 143-150, 5 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Excursión, Itinerario, Morfología costa, Conservación, Protección medio ambiente, Puerto, Dique, Provincia Barcelona.

910374. **Evolution and man's impact on the Pais Valencia coast Peniscola-Sagunt-Albufera de Valencia.** SANJAUME, E., y ROSSELLO, V. M.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 163-173, 15 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Itinerario excursión, Morfología costa, Laguna, Lago litoral, Playa, Duna costera, Acción hombre, Estudio impacto medio, Región Valencia.

910376. **Dinámica litoral y evolución histórica de la ensenada de Bayona (Pontevedra).** ALEJO, I., y VILAS, F.

Thalassas (1987), vol. 5, núm. 1, 21-32, 10 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Morfodinámica, Golfo, Oleaje, Corriente litoral, Marea, Salinidad, Temperatura, Acción hombre, Provincia Pontevedra.

910377. **Esquema evolutivo de la sedimentación reciente en la Bahía de San Sebastián. Tierra del Fuego, Argentina.** VILAS, F.; ARCHE, M.; FERRERO, M.; BUJALESKY, I.; ISLA, F. I., y GONZALEZ BONORINO, G.

Thalassas (1987), vol. 5, núm. 1, 33-36, 10 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Golfo, Sedimentación litoral, Oleaje, Marea, Llanura costera, Tierra del Fuego, Patagonia, Argentina.

GEOLOGIA DEL INGENIERO

910305. **ANA: 20 años en la defensa del medio ambiente asturiano.** MARTINEZ FERNANDEZ, I.

Entiba (1989), núm. 5, 22-23, esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Institución, Asturias.

910306. **La minería a cielo abierto y el medio ambiente.** HERRANZ, F.

Entiba (1990), núm. 11, 14-15, esp., bibl. ITGE.

* Estudio impacto medio, Cielo abierto, Estéril, Protección medio ambiente, Reacondicionamiento, Vegetación.

910307. **El efecto invernadero: El estado de la cuestión.** AYALA, F. J.

Estratos (1990), núm. 17, 6-11, esp., bibl. ITGE.

* Efecto invernadero, Investigación en curso, Gas carbónico, Acción climática, Temperatura, Océano, Variación nivel.

910308. **Proyecto de clausura de la fábrica de Andújar.** ENRESA.

Estratos (1990), núm. 17, 30-31, esp., bibl. ITGE.

* Residuo radiactivo, Acción preventiva, Proyecto, Estéril, Uranio sustancia, Estudio impacto medio, Estabilización, Compactación, Provincia Jaén.

910309. **La gestión de residuos radiactivos en los países occidentales.** CHENEVIER, F., y LOPEZ GARCIA, A.

Estratos (1990), núm. 18, 10-18, esp., bibl. ITGE.

* Gestión, Residuo radiactivo, Vertedero, Almacén subterráneo, Elección lugar, País industrializado, Mundo Oeste.

910313. **Nuevas tecnologías de Ingeniería Geoambiental.** AYALA, F. J.

Ind. min. (1990), núm. 301, 59-62, esp., bibl. ITGE.

* Geología medioambiental, Riesgo natural, Teledetección, Cartografía automática, Simulación.

910314. **La inyección de residuos líquidos mediante sondeos profundos.** RAMOS, G., y LOPEZ GETA, J. A.

Ind. min. (1990), núm. 302, 51-54, esp., bibl. ITGE.

* Vertedero, Residuo líquido, Almacén subterráneo, Inyección, Sondeo profundo, España.

910317. **Efecto invernadero.** FERNANDEZ OLANO, J.

Ind. min. (1990), núm. 303, 64-67, esp., bibl. ITGE.

* Efecto invernadero, Gas carbónico, Radiación, Temperatura, Atmósfera, Acción hombre.

910318. **Resistencia y deformabilidad de un macizo rocoso gneísico.** BERNAL, A.; PORTILLO, E.; BARRERA, T.; MARTIN BURGON, P., y QUERO, L.

Ing. Civ. (1990), núm. 76, 39-46, 10 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Mecánica roca, Macizo rocoso, Discontinuidad, Resistencia ruptura, Deformación bajo tensión, Ensayo carga, Módulo elasticidad, Provincia Córdoba.

910319. **Estabilidad de riolitas utilizadas en el núcleo de diques de protección de puertos.** DAPENA, E.; ROMANA, M., y HERNANDEZ, E.

Ing. Civ. (1990), núm. 76, 59-66, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Mecánica roca, Riolita, Propiedad física, Dique de contención, Rompeolas, Estabilidad, Alteración meteórica, Agua mar, Ataque químico, Irán.

910320. **Criterios para la determinación del grado de depuración de un agua residual. Plan Nacional de Interés Comunitario (PNIC) de Asturias.** CAJIGAS, A., y GALLARDO, A.

Ing. Civ. (1990), núm. 76, 69-76, esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Planificación, Política Estado, Descontaminación, Agua residual, Efluente, Depuración, Asturias.

910323. **Playas, sonrisas y lágrimas.** DIAZ, A.

Mar (1990), núm. 278, 48-51, esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Reacondicionamiento, Playa, España.

910326. **Inundaciones en Australia.** LIDDY, B.

Prot. Civ. (1990), núm. 7, 11-13, esp., bibl. ITGE.

* Crecida río, Catástrofe natural, Acción preventiva, Nueva Gales del Sur.

910327. **Crecente conciencia internacional ante las catástrofes naturales.** WAGNER, W.

Prot. Civ. (1990), núm. 7, 14-17, esp., bibl. ITGE.

* Catástrofe natural, Cooperación internacional, Naciones Unidas.

910329. **Pérdida de arena en las costas: las playas no son sólo para el verano.** HOLGADO, M.

Rev. Minist. Obras Públ. Urban. (1990), núm. 380, 26-30, esp., bibl. ITGE.

* Playa, Reacondicionamiento, Conservación, Acción hombre, Efecto invernadero, Protección medio ambiente, España.

910330. **Fin de los vertidos en Portman: Un alud de treinta años.** COLMENAR, E.

Rev. Minist. Obras Públ. Urban. (1990), núm. 381, 34-38, esp., bibl. ITGE.

* Reacondicionamiento, Utilización terreno, Urbanización, Contaminación, Residuo industrial, Provincia Murcia.

910331. **Educación ambiental: Cuando la Naturaleza sienta cátedra.** DEL ALAMO, M.

Rev. Minist. Obras Públ. Urban. (1990), núm. 381, 42-46, esp., bibl. ITGE.

* Geología del medio ambiente, Enseñanza, España.

910333. **El Mediterráneo en peligro: Aguas de pálido azul.** SAN MIGUEL, M.

Rev. Minist. Obras Públ. Urban. (1990), núm. 382, 16-21, esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Desertificación, Urbanización, Contaminación, Vertedero, Mar Mediterráneo.

910334. **Experiencia en Estudios de Impacto Ambiental en el Area Industrial.** CORTES, V.; SALVADOR, L., y GONZALEZ, J.

Rev. Tec. Medio Ambiente (1990), núm. 18, 33-40, esp., bibl. ITGE.

* Estudio impacto medio, Legislación, Institución, Andalucía.

910351. **Sondeos de inyección profunda. Espacio subterráneo: el recurso más seguro para la eliminación de residuos líquidos.** RAMOS, G.; LOPEZ GETA, J. A.; SANCHEZ GUZMAN, J., y GARCIA BENGOCHEA, J. I.

Tecnoambiente (1990), núm. 1, 49-63, 14 ref., esp., bibl. ITGE.

* Vertedero, Residuo líquido, Almacén subterráneo, Inyección, Sondeo profundo, España.

910352. **Restauración de la escombrera de la Mina de Puentes.** GIL, A.; VAL, C.; MACIAS, F., y MONTERROSO, C.

Tecnoambiente (1990), núm. 1, 65-74, 5 ref., esp., bibl. ITGE.

* Reacondicionamiento, Estéril, Vertido controlado, Cielo abierto, Vegetación, Provincia La Coruña.

910353. **El reciclado en el campo de los residuos sólidos urbanos.** PABLO, F., y MURUAIS, J.

Tecnoambiente (1990), núm. 1, 75-81, esp., bibl. ITGE.

* Residuo sólido, Residuo urbano, Vertido controlado, Reciclado, Planta piloto, España.

910358. **Some proposal for a coastal management.** PENEDA, M. C. y DIAZ, J. M. A.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 37-42, 10 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Planificación, Protección medio ambiente, Albufera, Medio albufera, Ecosistema, Extremadura, Portugal.

910359. **Man made disturbances of Portuguese Salt-marshes.** MOREIRA, M. E. S. A.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 43-47, 17 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Estudio medio, Conservación, Medio litoral, Marisma salada, Reacondicionamiento, Utilización terreno, Acción hombre, Portugal.

910360. **Venice and New Orleans: two sinking cities.** DAVIS, D. W.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 49-56, 29 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Morfología costa, Subsistencia, Variación nivel, Acción preventiva, Edificio, Cimentación, Venecia, New Orleans.

910361. **Coral reef environment: Damage through man action, efforts for better management.** GUILCHER, A.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 57-61, 23 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Arrecife, Medio arrecifal, Conservación, Acción hombre, Acción preventiva, Queensland.

910367. **Management of sand and gravel extraction in Nova Scotia, Canada.** RICKETTS, P., y ANDRIES, D.

Thalassas (1986), vol. 1, núm. 1, 97-107, 9 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Gestión, Legislación, Protección medio ambiente, Playa, Arena sustancia, Grava sustancia, Explotación, Nueva Escocia, Canadá.

910368. **Coastal geology and heritage coast management in South and West Wales.** WILLIAMS, A. T.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 109-115, 22 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Planificación regional, Gestión, Playa, Acanilado, Utilización terreno, Suelo recreativo, País de Gales.

910379. **Impacto de la contaminación orgánica en la Ensenada de Lourizan (Proyecto Escorp). III. Aspectos cuantitativos de la dinámica poblacional del macrobentos.** PLANAS, M., y MORA, J.

Thalassas (1988), vol. 6, 15-22, 32 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Estudio impacto medio, Contaminación, Residuo industrial, Medio bentónico, Biomasa, Variación temporal, Provincia Pontevedra.

910381. **Costas del patrimonio: Las costas no desarrolladas de Inglaterra y Gales.** WILLIAMS, A. T.

Thalassas (1988), vol. 6, 53-59, 12 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Política Estado, Planificación regional, Utilización terreno, Línea costa, Inglaterra, País de Gales.

910382. **Metales pesados en los sedimentos de cinco sistemas de ría (Ferrol, Burgo, Arousa, Pontevedra y Vigo).** BARREIRO, R.; CARBALLEIRA, A., y LEAL, C.

Thalassas (1988), vol. 6, 61-70, 16 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Contaminación, Metal pesado, Plomo, Cadmio, Cromo, Zinc, Cobre, Sedimento, Estuario, Análisis químico, Análisis grupo, Provincias La Coruña, Pontevedra.

910393. **CEDEX, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.**

MOPU (1990), 7 cuadernos, 190 pp., esp., bibl. ITGE.

* Institución, Ingeniería civil, España.

PALEONTOLOGIA: GENERALIDADES

910321. **El impacto de un cuerpo extraterrestre: Causa de la extinción en masa.** ALVAREZ, W., y ASARO, F.

Invest. cienc. (1990), núm. 171, 46-53, 6 ref., esp., bibl. ITGE.

* Extinción en masa, Teoría, Catastrofismo, Efecto choque, Asteroide, Iridio, Polvo, Efecto invernadero, Cretácico Sup.

910322. **Una erupción volcánica: Causa de la extinción en masa.** COURTILOT, V. E.

Invest. cienc. (1990), núm. 171, 54-62, 3 ref., esp., bibl. ITGE.

* Extinción en masa, Teoría, Catastrofismo, Manifestación volcánica, Punto caliente, Pluma, Paleomagnetismo, Cretácico Sup.

PALEONTOLOGIA: INVERTEBRADOS

910347. **Estudio sistemático de los gasterópodos del Plioceno de Huelva (SO de España). IV: Neogastropoda (Muriaceae, Buccinacea).** GONZALEZ DELGADO, J. A.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 269-315, 56 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Neogastropoda, Biostratigrafía, Plioceno Inf., Cuenca Guadalquivir, Provincia Huelva.

910348. **Estudio sistemático de los bivalvos Palaeotaxodonta y Pteriomorpha (Arcoida, Mytiloidea) del Plioceno de Bonares (Huelva, España).** ANDRES, I.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 317-353, 67 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Ctenodontida, Palaeotaxodonta, Pteriomorpha, Arcina, Biostratigrafía, Plioceno Inf., Cuenca Guadalquivir, Provincia Huelva.

910386. **El género Merelina (Mesogastropoda: Rissoidae) en el Cretácico Cubano.** SARASUA, H.

Thalassas (1989), vol. 7, 29-30, esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Mesogastropoda, Taxón nuevo, Cretácico, Cuba.

PALEONTOLOGIA: VERTEBRADOS

910349. **Un pelomedusido (Chelonia) con malformaciones patológicas del Eoceno de Zamora.** MARTIN DE JESUS, S.; JIMENEZ FUENTES, E., y MULAS, E.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 355-364, 10 ref., esp., bibl. ITGE.

* Pelomedusido, Chelonia, Patología, Eoceno Medio, Provincia Zamora.

PALEOBOTANICA

910380. **Paleoecología de diatomeas del estuario del río Quequen (Prov. de Buenos Aires, Argentina).** ESPINOSA, M. A.

Thalassas (1988), vol. 6, 33-44, 19 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Paleoecología, Diatomeas, Salinidad, pH, Paleoambiente, Análisis multivariable, Análisis grupo, Análisis componente principal, Estuario, Provincia Buenos Aires, Argentina.

HIDROLOGIA. HIDROGEOLOGIA

910395. **Los ríos.** ARENILLAS, M., y SAENZ RIDRUEJO, C. *Guía Física de España*, núm. 3, 386 pp., esp., bibl. ITGE.

* Geología-divulgación, Monografía, Río, Red hidrográfica, Morfología fluvial, España.

MINERALOGIA: SILICATOS

910336. **Presencia y génesis de los minerales fibrosos de la arcilla en las proximidades de Villamuriel de Cerrato. Provincia de Palencia.** DIAZ, J. A.; AÑORBE, M.; SUAREZ, M.; NAVARRETE, J., y MARTIN, J. M.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 7-25, 18 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Arcilla mineral, Grupo arcilla mineral, Sepiolita, Paligorskita, Illita, Análisis químico, Análisis RX, Asociación mineralógica, Diagénesis precoz, Neógeno, Cuenca Duero, Provincia Palencia.

PETROLOGIA ROCAS SEDIMENTARIAS

910373. **Sedimentary environments and evolution of the Ebro Delta.** MALDONADO, A.

Thalassas (1986), vol. 4, núm. 1, 151-161, 22 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Itinerario excursión, Medio fluvial, Medio lacustre, Medio marino, Medio deltaico, Sedimentación deltaica, Delta, Modelo, Río Ebro, Provincia Tarragona.

910375. **Estudio sedimentológico del litoral gallego: III. Resultados previos sobre los sedimentos de los fondos de la Ría de Vigo.** NOMBELA, M. A.; VILAS, F.; RODRIGUEZ, M. D., y ARES, J. C.

Thalassas (1987), vol. 5, núm. 1, 7-19, 37 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Sedimentación estuario, Medio estuario, Sedimento, Arena, Fango, Limolita, Materia orgánica, Carbonato, Granulometría, Provincia Pontevedra.

910378. **Sensibilidad ambiental y temporal de estadísticos granulométricos en playas de Buenos Aires, Argentina.** ISLA, F. I.

Thalassas (1987), vol. 5, núm. 1, 37-44, 40 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Sedimentación litoral, Medio litoral, Playa, Sedimento, Dimensión grano, Repartición grano, Variación temporal, Análisis multivariable, Coeficiente correlación, Buenos Aires, Argentina.

910383. **Hidrodinámica, procesos deposicionales y erosivos en canales intermareales de la Bahía de San Sebastián, Tierra del Fuego, Argentina.** FERRERO, M., y VILAS, F.

Thalassas (1988), vol. 6, 89-94, 7 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Canal de marea, Llanura costera, Dique de contención, Corriente marea, Erosión litoral, Sedimentación litoral, Tierra del Fuego, Patagonia, Argentina.

910384. **Cartografía de los sedimentos superficiales de la Ría de Foz (Lugo).** JUNOY, J., y VIEITEZ, J. M.

Thalassas (1989), vol. 7, 9-19, 21 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Sedimentación detrítica, Sedimentación estuario, Medio estuario, Granulometría, Arena, Fango, Materia orgánica, Distribución espacial, Provincia Lugo.

910385. **Estudio sedimentológico de la plataforma y talud continentales de la Zona Central de Asturias (N de España).** OCHARAN, F. J.; ALVAREZ CLAUDIO, C.; ANADON, N.; ARRONTES, J.; QUIRCE, J. A.; ANADON, A., y FUENTES, D. M.

Thalassas (1989), vol. 7, 21-28, 14 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Sedimentación detrítica, Medio margen continental, Medio talud marino, Granulometría, Arena, Limolita, Materia orgánica, Distribución espacial, Asturias.

910397. **Análisis de facies sedimentarias y petrología de los depósitos lacustres de edad Neógeno Superior. Zona Prebética. Albacete. España.** ELIZAGA, E.

Univ. Complutense, Madrid (1990), 268 pp., 144 ref., esp., bibl. ITGE.

* Tesis doctoral, Cuenca sedimentaria, Sedimentación lagunar, Medio lagunar, Corte geológico, Litofacies, Roca carbonatada, Roca detrítica, Evaporita, Diatomita, Tectónica encajante, Graben, Manifestación volcánica, Neógeno, Zona Prebética, Zona Bética, Provincias Albacete, Murcia.

PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

910338. **Caracterización mineralógica y geoquímica del granito sano y alterado del macizo de «El Berrocal» (Sierra**

de Gredos, provincia de Toledo). PEREZ DEL VILLAR, L., y DE LA CRUZ, B.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 47-80, 44 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Granito alcalino, Composición mineralógica, Análisis mayores, Análisis elemento traza, Uranio sustancia, Alteración hidrotermal, Fracturación, Sierra de Gredos, Hercínico Centro, Provincia Toledo.

910345. **Técnicas geomatemáticas para la separación de diferentes series de rocas ígneas a partir de elementos mayores.** ENCINAS, L. H., y BEA, F.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 215-247, 45 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Roca ígnea, Clasificación, Normalización, Petrología numérica, Serie magmática, Diferenciación magmática, Análisis componente principal, Análisis discriminante, Geostatística.

910346. **Evolución petrológica y geoquímica de las granodioritas subautóctonas del Complejo Anatóctico de la Peña Negra (Sector Batolito de Avila).** PEREIRA, M. D.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 249-268, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Granodiorita, Génesis, Metamorfismo fuerte, Migmatita, Migmatización, Anatexia, Fusión parcial, Cristalización fraccionada, Ecuación matemática, Hercínico Centro, Provincia Avila.

910396. **Los volcanes.** ROMERO, C.; QUIRANTES, F., y MARTINEZ DE PISON, E.

Guía Física de España, núm. 1, 256 pp., esp., bibl. ITGE.

* Geología-divulgación, Monografía, Volcán, Morfología volcán, Canarias, España.

YACIMENTOLOGIA: GENERALIDADES

910394. **LEIM: Línea Especial para Investigación Minera, 1986-1989.**

Banco de Crédito Industrial (1989), 23 pp., esp., bibl. ITGE.

* Financiación, Proyecto, Prospección minera, Mina, Política Estado, España.

YACIMENTOLOGIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

910337. **El yacimiento de paligorskita de Bercimuel (Segovia): Génesis y propiedades tecnológicas.** SUAREZ, M.; ARMENTEROS, I.; MARTIN, J. M., y NAVARRETE, J.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 27-46, 22 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Paligorskita, Utilización sustancia, Propiedad física, Adsorción, Percolación, Génesis yacimiento, Corteza calcárea, Mioceno Sup., Cuenca Duero, Provincia Segovia.

YACIMENTOLOGIA DE METALES

910315. **Investigación y desarrollo en la exploración minera.** ITGE.

Ind. min. (1990), núm. 303, 41-44, esp., bibl. ITGE.

* Proyecto, Cooperación internacional, Prospección minera, Modelo 3 dimensiones, Metalotecto, Provincia Badajoz.

910316. **Estudio sobre la minería antigua en los términos municipales de Garlitos, Capilla, Peñalsordo y Zarcapilla (Badajoz).** PUCHE, O., y GARCIA BLANCO, J.

Ind. min. (1990), núm. 303, 55-63, esp., bibl. ITGE.

* Histórico, Mina, Metalurgia, Provincia Badajoz.

910339. **Características geológicas y mineralógicas de los indicios uraníferos del Complejo Esquistos-Grauváquico en el área Acehuche-Ceclavín (provincia de Cáceres): El yacimiento de La Espigareda.** PEREZ DEL VILLAR, L., y MORO BENITO, C.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 81-108, 20 ref., esp., bibl. ITGE.

* Uranio sustancia, Mineralización, Yacimiento epitermal, Control tectónico, Roca encajante, Roca metamórfica, Paragénesis, Hercínico Centro, Provincia Cáceres.

910340. **Estudio geoquímico comparativo entre las rocas encajantes y las mineralizaciones de uranio del Complejo Esquistos-Grauváquico en el área Acehuche-Ceclavín (provincia de Cáceres).** PEREZ DEL VILLAR, L., y MORO BENITO, C.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 109-134, 30 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Prospección geoquímica, Uranio sustancia, Análisis elementos mayores, Análisis elementos traza, Índice mineral, Coeficiente correlación, Regresión estadística, Roca encajante, Metamorfismo de contacto, Pizarra, Lixiviación, Hercínico Centro, Provincia Cáceres.

910341. **Los yacimientos peribatolíticos de uranio encajados en metasedimentos: Comparación con los del área de Acehuche-Ceclavín (provincia de Cáceres).** PEREZ DEL VILLAR, L., y MORO BENITO, C.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 135-161, 47 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Uranio sustancia, Génesis yacimiento, Roca encajante, Roca metasedimentaria, Granito, Intrusión, Control tectónico, Control litológico, Terciario, España, Europa, América del Norte.

910342. **Las mineralizaciones de uranio en el Complejo Esquistos-Grauváquico del área Acehuche-Ceclavín (provincia de Cáceres): Una hipótesis genética.** PEREZ DEL VILLAR, L.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 163-177, 28 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Uranio sustancia, Mineralización, Yacimiento epitermal, Génesis yacimiento, Pizarra, Lixiviación, Fluido mineralizador, Control tectónico, Orogenia Pirenaica, Hercínico Centro, Provincia Cáceres.

910343. **Relaciones genéticas entre las mineralizaciones de Sn, W y P del C. E. G. y las del Complejo de Villaseco-Pereruela (Zamora).** GIL AGERO, M.; HERNANDEZ SANCHEZ, M. E., y MORA BENITO, C.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 179-194, 24 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Estaño sustancia, Tungsteno sustancia, Fósforo sustancia, Génesis yacimiento, Roca metamórfica, Metamorfismo regional, Granito, Anatexia, Fusión parcial, Cizallamiento, Orogenia hercínica, Hercínico Centro, Provincia Zamora.

CARBON

910387. **Simposio sobre caracterización geométrica y geomecánica de paneles de explotación de carbón en la minería subterránea, Oviedo, 3 y 4 de Julio de 1989.** ITGE.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1989), 132 pp., 5 ref., esp., bibl. ITGE.

* Reunión, Geología minera, Mina, Capa carbón.

910391. **Aplicación del radar a la caracterización geométrica de paneles de carbón.** GARCIA GARCIA, M.; SANCHEZ FERNANDEZ, B., y ROQUEÑI, N.

Simposio sobre caracterización geométrica y geomecánica de paneles de explotación de carbón en la minería subterránea, Oviedo (1989), 53-70, esp., bibl. ITGE.

* Método radar, Teoría, Instrumentación, Interpretación, Capa de carbón, Prospección.

910392. **Geoestadística. Desarrollo y aplicaciones en la Cuenca Central Asturiana.** FUENTE MARTIN, P.

Simposio sobre caracterización geométrica y geomecánica de paneles de explotación de carbón en la minería subterránea, Oviedo (1985), 75-101, esp., bibl. ITGE.

* Cuenca hullera, Reserva, Geoestadística, Variograma, Krigage, Estudio caso, Asturias.

ENERGIA

910325. **El Sector Público del área de hidrocarburos invertirá 800 mil millones de pesetas hasta 1993.**

Oilgas (1990), núm. 275, 33-43, esp., bibl. ITGE.

* Hidrocarburo, Investigación, Sociedad Estado, Prospección, Producción, Mercado, Dato económico, España.

GEOQUIMICA

910344. **Contenido y distribución de U y Th en el granito de Albalá (Cáceres, España).** REGUILON, R. M., y ARRIBAS, A.

Stud. geol. Salmant. (1989), vol. 26, 195-214, 20 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Granito alcalino, Composición hiperaluminosa, Composición mineralógica, Análisis mayores, Análisis elementos traza, Uranio, Torio, Coeficiente correlación, Westfaliense, Hercínico Centro, Provincia Cáceres.

GEOFISICA

910388. **Antecedentes de la aplicación de la técnica de sísmica en capa en España.** SAVIRON, L.

Simposio sobre caracterización geométrica y geomecánica de paneles de explotación de carbón en la minería subterránea, Oviedo (1989), 21-28, esp., bibl. ITGE.

* Capa de carbón, Discontinuidad, Sísmica reflexión, Sísmica refracción, Sísmica en capa, Sismograma, Coste.

910389. **The in-seam seismic method: technique and experiences.** SCHOTT, W.

Simposio sobre caracterización geométrica y geomecánica de paneles de explotación de carbón en la minería subterránea, Oviedo (1989), 29-46, esp., bibl. ITGE.

* Capa de carbón, Mina, Método sísmico, Sísmica en capa, Sismograma, Dispersión onda.

910390. **Sísmica en capa. Aplicaciones en las capas españolas de carbón.** THOMAS, M. F.

Simposio sobre caracterización geométrica y geomecánica de paneles de explotación de carbón en la minería subterránea, Oviedo (1989), 47-50, esp., bibl. ITGE.

* Capa de carbón, Discontinuidad, Mina, Método sísmico, Sísmica en capa, Onda sísmica, España.

ECONOMIA MINERA

910335. **Desarrollo de la investigación y exploraciones mineras.** GARCIA ALVAREZ, E.

Rocas miner. (1990), núm. 226, 56-60, esp., bibl. ITGE.

* Política Estado, Energía, Economía minera, Prospección, Planificación, España.

NORMAS DE PUBLICACION PARA LOS AUTORES

Los trabajos inéditos que se reciban para su publicación en el BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO serán revisados por un Comité editorial que decidirá si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

Texto.

Se entregará paginado y mecanografiado a doble espacio por una sola cara y con amplios márgenes. Este texto se considerará definitivo, deberá venir leído por el autor y perfectamente puntuado y con las correcciones de las erratas de mecanografía que fuesen precisas. En él serán marcadas las fechas de recepción y aceptación.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, tablas y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse, si es posible. En los originales de las mismas se reseñará el título del trabajo, así como el nombre de los autores.

Todos los trabajos en lengua española irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español. Al final de los mismos, y en párrafo aparte, se incluirán las palabras clave, reservándose el último lugar para la localización geográfica, si la hubiere.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original y figuras.

Idiomas.

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España y sean de autores extranjeros.

Referencias.

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

Parte gráfica.

La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras, tablas y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

Las figuras serán originales y nunca copiativos, delineadas con tinta china sobre papel vegetal. Las tablas, bien presentadas para su reproducción fotográfica. Las fotografías serán positivos en blanco y negro sobre papel brillo y excepcionalmente en color (positivo en brillo o transparencia).

Pruebas.

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de diez días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

Tiradas aparte.

Se asignan 30 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

TARJETA DE SUSCRIPCION AL BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

Boletín Geológico y Minero

Revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas

DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Instituto Tecnológico Geominero de España

Ríos Rosas, 23 - 28003-Madrid. España

ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Centro de Publicaciones del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo

Doctor Fleming, 7, 2.º - 28036-Madrid. España
Teléfono: 250 02 03

Suscrip. anual (6 núms.). Año 1992: 5.280 ptas.

Nombre, Organismo o Empresa
Profesión
Dirección Teléfono
Ciudad (provincia) D. P.
País FIRMA
Fecha

BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

ACUSE DE RECIBO

HEMOS RECIBIDO
WE HAVE RECEIVED
NOUS AVONS RECU

NOS FALTA
WE ARE IN WANT OF
IL NOUS MANQUE

FECHA
DATE

FIRMA
SIGNATURE

NOMBRE
NAME
NOM

DIRECCION
ADDRESS
ADRESSE

ROGAMOS DEVUELVAN ESTE ACUSE DE RECIBO, NECESARIO PARA NUESTRO CONTROL, Y DIRIGIDO EXCLUSIVAMENTE A AQUELLOS CENTROS QUE RECIBEN ESTA PUBLICACION CON CARACTER GRATUITO EN REGIMEN DE INTERCAMBIO.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara
Instituto Tecnológico Geominero de España
Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

Finalidad:

Investigación, Desarrollo Tecnológico y Asistencia técnica en Geología, Minería y Disciplinas conexas

GEOLOGIA Y GEOFISICA



MAPA GEOLOGICO NACIONAL (MAGNA)
ESTUDIOS GEOLOGICOS Y CARTOGRAFIA TEMATICA
GEOFISICA Y GEOLOGIA DEL SUBSUELO
GEOLOGIA MARINA (FONDOS MARINOS)
TELEDETECCION APLICADA

RECURSOS MINERALES



METALOGENIA Y CARTOGRAFIA METALOGENETICA
GEOQUIMICA BASICA Y APLICADA
YACIMIENTOS MINERALES
EVALUACION DE RESERVAS E INVENTARIO DE RECURSOS

AGUAS SUBTERRANEAS



CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA
PROTECCION DE RECURSOS HIDROGEOLOGICOS
EVALUACION Y CONTROL DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS
RECURSOS GEOTERMICOS

LABORATORIOS Y ENSAYOS



ANALISIS QUIMICOS Y MINERALOGICOS
ENSAYOS MINERALURGICOS Y GEOTECNICOS
CARACTERIZACION DE ROCAS MINERALES INDUSTRIALES
SONDEOS DE INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA Y MINERA
ENSAYOS DE BOMBEO

INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS



FONDOS DOCUMENTALES Y BASES DE DATOS
SISTEMAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES
CATASTRO MINERO
PUBLICACIONES

INGENIERIA GEOAMBIENTAL



RIESGOS GEOLOGICOS
RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE MINERO
GEOTECNIA Y GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA
MEDIO AMBIENTE Y ORDENACION DEL TERRITORIO

DESARROLLO MINERO



PROCESOS Y TECNOLOGIAS
SEGURIDAD MINERA
NORMATIVA
ESTUDIOS DE ECONOMIA MINERA

MUSEO GEOMINERO

Sede Central:

c/ Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID
Tel.: 441 65 00 – Fax: 442 62 16

Centro de Laboratorios:

c/ La Calera, 1 28760 TRES CANTOS (MADRID)
Tel.: 803 22 00



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO
SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

