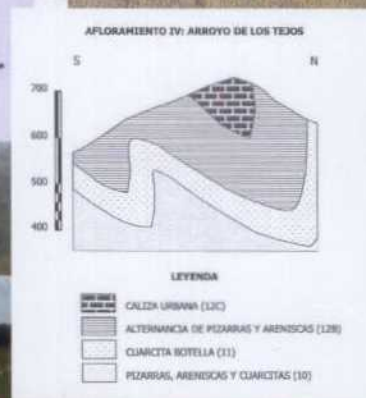
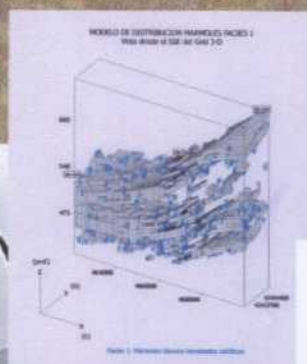




**Instituto Geológico
y Minero de España**



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FORMACIÓN
CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN PARA SU
EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**



**MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA**

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	
1.1. INTRODUCCIÓN	5
1.2. EQUIPO DE TRABAJO	6
2. OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO	9
2.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.2. ÁREA DE ESTUDIO	9
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS REALIZADOS	13
4. LOS MÁRMOLAS COMO ROCA ORNAMENTAL	17
4.1. GENERALIDADES	17
4.1.1. Definición	17
4.1.2. Composición y textura	17
4.2. FACTORES GEOLÓGICOS	18
4.3. LOS MÁRMOLAS EN ESPAÑA	19
4.3.1. El mármol en la arquitectura	19
4.3.2. Afloramientos de mármol en la Península Ibérica	19
4.3.3. El mercado y la industria del mármol en España	22
4.4. LA EXPLOTACIÓN DEL MÁRMOL	26
4.5. APLICACIONES ORNAMENTALES DEL MÁRMOL	26
4.5.1. Característica tecnológicas	26
4.5.2. Aplicaciones ornamentales	27
5. GEOLOGÍA DE LA ZONA INVESTIGADA	31
5.1. INTRODUCCIÓN	31
5.2. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA PARA LA FORMACIÓN CALIZA URBANA	31
5.2.1. Situación geológica	31
5.2.2. La Formación Caliza Urbana en la zona estudiada	38
5.3. CORRELACIÓN ESTRUCTURAL PARA LA FORMACIÓN CALIZA URBANA	45
5.3.1. Introducción	45
5.3.2. Estudio fotogeológico de la fracturación	47
5.3.3. Cartografía geológico-estructural a escala 1:10.000	47
5.3.4. Levantamiento de perfiles litológico-estructurales 1:10.000	48
5.3.5. Análisis estructural del área estudiada	48
5.3.6. Descripción de los afloramientos sondeados de la Formación Caliza Urbana	59
5.4. MODELO GEOLOGICO-ESTRUCTURAL PARA LA ZONA ESTUDIADA	84
6. ENSAYOS TECNOLÓGICOS. FASE 1.	87
6.1. INTRODUCCIÓN	87
6.2. ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE	87
6.3. RESISTENCIA A LAS HELADAS	88
6.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	88
6.5. MICRODUREZA KNOOP	89
6.6. RESISTENCIA A LOS CAMBIOS TÉRMICOS	89
6.7. COORDENADAS CROMÁTICAS	89
6.8. PLAQUETAS PULIDAS	92
6.9. CONCLUSIONES	92
7. SONDEOS	95
7.1. SELECCIÓN DE OBJETIVOS PARA LA CAMPAÑA DE SONDEOS	95
7.2. TESTIFICACION DE LOS SONDEOS	98
7.2.1. Descripción estructural de los afloramientos	98
7.2.2. Tipos litológicos de mármoles	105
7.2.3. Distribución de las Facies de Mármoles en los Sondeos	108
7.2.4. Zonación Litológico-Geomecánica de los Testigos de Sondeo	110
7.2.5. Estadística Descriptiva de Discontinuidades en los Testigos de Sondeo	114

<u>7.2.6. Modelos Geoestadísticos de la distribución de Facies de Mármoles en 2-D y 3-D.</u>	119
8.- ENSAYOS TECNOLÓGICOS. FASE 2.....	125
8.1. INTRODUCCIÓN.....	125
8.2. ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE	126
8.3. RESISTENCIA A LAS HELADAS	127
8.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	127
8.5. RESISTENCIA AL CHOQUE.....	127
8.6. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	128
8.7. COORDENADAS CROMÁTICAS	128
8.8. PLAQUETAS PULIDAS.....	130
8.9. CONCLUSIONES.....	130
9. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RECURSOS.....	133
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	135
11. BIBLIOGRAFÍA	141
12. ANEXOS.....	145
ANEXO 12.1. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA.....	147
ANEXO 12.2. COLUMNAS DE LOS SONDEOS.....	149
ANEXO 12.3. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	151
ANEXO 12.4. DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS.....	153
ANEXO 12.5. LAMINAS DE FOTOGRAFÍAS.....	159
12.2.1 Detalles de los materiales.....	161
12.2.2 Detalles de las facies de mármoles.....	177
12.2.2 Detalles de las microfacies de mármoles.....	182
ANEXO 12.6. PLAQUETAS PULIDAS	195

1. ANTECEDENTES

1.1. INTRODUCCIÓN

En el sector NO del municipio de Santisteban del Puerto existen una serie de indicios de mármoles cristalinos que podrían ser susceptibles de explotación para su empleo como rocas ornamentales. Estos indicios se centran en una formación de edad Ordovícico Superior (Caliza Urbana) cuyos afloramientos aparecen de manera discontinua al Sur de la hoja del MTN nº 863 "Aldeaquemada".

De estos indicios, los situados en el borde más septentrional del municipio, en el paraje denominado Colmenar de la Ballestera, próximo a las antiguas minas de San Agustín y San Antonio, han sido investigados a principios de siglo con una densa malla de sondeos verticales, aunque de dicha investigación se carece de información escrita y tan sólo se conoce la situación de la campaña de sondeos.

La cantera "La Despreciada", situada ya en el municipio de Vilches, en las proximidades de su límite con el de Santa Elena, explotó esta formación tanto para áridos de machaqueo como para roca ornamental. De hecho en Vilches se instaló una planta de corte y pulido de estos mármoles y calizas marmóreas que estuvo funcionando algún tiempo, hasta que el propietario desapareció. Pruebas de la producción de éste período como roca ornamental se pueden encontrar en algunos edificios de Vilches.

Posteriormente ya en tiempos más recientes, la compañía Dupont Ibérica solicitó un permiso de investigación para roca ornamental, que cubre una superficie de 9 cuadrículas mineras, aproximadamente 2,6 Km², de cuyas investigaciones tampoco se tiene referencia escrita. Dicho permiso caducó el 22-03-97 y ha sido solicitado por el Ayuntamiento de Santisteban del Puerto, con objeto de conocer las posibilidades reales de explotación de dicho yacimiento de mármoles.

En el año 1995, el Ayuntamiento encargó al ingeniero técnico de minas D. Juan Villarejo Soto la realización de un somero informe geológico del yacimiento, que en resumen consintió en la toma de 6 testigos de 60 mm de diámetro y 400 mm de longitud de manera geológicamente aleatoria, pero tratando de cubrir todo el afloramiento de caliza urbana. Sobre muestras de dichos testigos se realizaron láminas delgadas de las que en el informe se incluye su descripción petrográfica.

Finalmente en el año 1996, el Ayuntamiento de Santisteban del Puerto se pone en contacto con el entonces Instituto Tecnológico Geominero de España para solicitar la realización de un estudio más amplio del derecho minero, que pudiera poner de manifiesto la posible aptitud de las rocas marmóreas presentes en la zona para su explotación comercial.

Tras las correspondientes visitas de los técnicos del IGME a la zona, se elabora un proyecto de investigación que abarque no sólo la zona del PI, sino todo el conjunto de afloramientos de la Caliza Urbana que se han detectado en la zona norte de Jaén.

Dicho proyecto se incorpora al conjunto de proyectos amparados bajo el **Convenio Marco de Asistencia Técnica** suscrito por el ITGE y la Excma. Diputación Provincial de Jaén de fecha 27 de octubre de 1981 en un **Convenio Específico para el Desarrollo del Programa de Asistencia Técnica del ITGE a la Excma. Diputación Provincial de Jaén (Junio 1998-1999-2000)**. El proyecto tiene una vigencia inicial de 1999 a 2000.

1.2. EQUIPO DE TRABAJO

En la realización del presente trabajo han intervenido las personas e instituciones que se incluyen a continuación. Los autores quieren expresar su agradecimiento por la colaboración leal recibida de todas las instancias intervinientes.

Supervisión y Coordinación (Diputación de Jaén):

D. Francisco Quesada Moya

Director Gerente

Área Técnica de Infraestructuras y Equipamientos Municipales (ATIEM)

Diputación de Jaén

D. Antonio Medina Vernalte

Jefe de Unidad de Control

Área Técnica de Infraestructuras y Equipamientos Municipales (ATIEM)

Diputación de Jaén

D. Juan José Gay Torres

Jefe de Sección de Infraestructuras

Área Técnica de Infraestructuras y Equipamientos Municipales (ATIEM)

Diputación de Jaén

D. Jesús Fernando Jimenez Ruano

Supervisor de Obra

Área Técnica de Infraestructuras y Equipamientos Municipales (ATIEM)

Diputación de Jaén

D. Manuel Romera Martínez

Becario

Universidad de Jaén / ATIEM

Dirección y Supervisión del Proyecto (IGME):

Prof Manuel Regueiro y González-Barros

Servicio de Rocas y Minerales Industriales

Dirección de Recursos Minerales

IGME

Trabajos de campo y redacción de informes:

Prof. Javier Escuder Viruete

Dpto de Petrología y Geoquímica
Facultad de Ciencias Geológicas
UCM

Prof. Manuel Regueiro y González-Barros
Servicio de Rocas y Minerales Industriales
Dirección de Recursos Minerales
IGME

D. Manuel Lombardero Barceló
Servicio de Rocas y Minerales Industriales
Dirección de Recursos Minerales
IGME

D. Miguel Angel de Pablo Hernández
Edición de registros de los sondeos. Logplot
Alumno en Prácticas de la UCM

Edición de mapas y digitalización

D. Jesús Baeza
Servicio de SIG
Secretaría General
IGME

Dña Teresa Orozco
Servicio de SIG
Secretaría General
IGME

Ensayos de Laboratorio:

D. Santiago del Barrio Martín
Jefe de Laboratorio de Ensayos Tecnológicos
Laboratorio del Instituto Geológico y Minero de España

Sondeos:

D. Luis Galán de Frutos
Supervisión IGME
Laboratorio del Instituto Geológico y Minero de España

D. Francisco Jarilla
Sondista
Parque de Maquinaria
Servicio de Sondeos
Ministerio de Medio Ambiente

D. Alfonso Acacia
Parque de Maquinaria

Servicio de Sondeos
Ministerio de Medio Ambiente

D. Francisco Cayola
Parque de Maquinaria
Servicio de Sondeos
Ministerio de Medio Ambiente

D. Carlos Riestra
Parque de Maquinaria
Servicio de Sondeos
Ministerio de Medio Ambiente

2. OBJETIVOS Y ÁREA DE ESTUDIO

2.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La Formación Caliza Urbana aflora en diversos puntos del borde Sur y Sudoeste de la Hoja del MTN nº 863 "Aldeaquemada". En diversas visitas cursadas a la zona para la preparación de éste proyecto, se apreció la existencia de una serie de afloramientos que se extienden más allá de los límites de la zona establecida en el Plan inicial. A continuación se presentan los objetivos de la investigación de toda la Formación Caliza Urbana detectada en la zona de interés.

Para el estudio de la Formación Caliza Urbana, en la provincia de Jaén, se llevaron a cabo los siguientes trabajos:

- Estudio de la situación de los derechos mineros de las zonas donde aflora la Caliza Urbana.
- Investigación preliminar de los afloramientos de mármoles en la zona. Preselección de zonas.
- Solicitud de Permiso de Investigación de la zona o zonas preseleccionadas.
- Cartografía de la Formación Caliza Urbana en las zonas preseleccionadas del sector sur de la Hoja MTN nº 863 "Aldeaquemada". Municipios de Aldeaquemada, Vilches, Navas de San Juan y Santisteban del Puerto.
- Estudio de la disposición geológica del yacimiento de mármoles y su variabilidad en la horizontal y en la vertical.
- Caracterización del nivel marmóreo para evaluar su posible aptitud para su empleo como roca ornamental.

2.2. ÁREA DE ESTUDIO

La zona estudiada pertenece geográficamente a la Hoja nº 863 del MTN a E. 1:50000 de Aldeaquemada. La Hoja de Aldeaquemada se localiza en el sector centro-meridional de la Península Ibérica, justo en plena Sierra Morena oriental, que marca el límite morfológico entre la Meseta Castellano-Manchega y el Valle del Guadalquivir. Desde un punto de vista administrativo, la mitad septentrional de la Hoja pertenece aproximadamente a la provincia de Ciudad Real y la meridional a la de Jaén. La zona estudiada se incluye en los términos municipales de Aldeaquemada, Vilches, Navas de San Juan y Santisteban del Puerto. Se trata de una zona rectangular de coordenadas X/Y para los vértices opuestos 462000/4243000 y 475000/4249350 (cordenadas UTM), respectivamente.



Figura 1. Situación geográfica de la zona investigada.

En la Hoja de Aldequemada, el tipo de relieve presente es montañoso, bastante abrupto en ocasiones, aunque de baja montaña. Las alineaciones montañosas presentan una dirección general O-E y se caracterizan por cumbres que llegan a superar los 1000 m de altura, como es el caso del vértice la de Desperada (1159 m). El relieve aparece profundamente disectado por la red de drenaje de los Ríos Guarrizas y Guadalén, que forman parte de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir. El encajamiento de la red de drenaje produce valles estrechos, de fuertes pendientes y trazado en ocasiones laberíntico, que dificultan el acceso en ciertos sectores.

La zona estudiada se encuentra próxima al Parque Natural de Despeñaperros, gestionado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Este Parque presenta una impresionante orografía y gran belleza paisajística, habiendo constituido el desfiladero del Río Despeñaperros un paso natural de acceso a Andalucía desde la meseta. Dicho desfiladero ha sido aprovechado para ubicar el trazado de la carretera nacional IV y el ferrocarril.

La densidad de población es baja. En el conjunto de la Hoja de Aldequemada, únicamente existen dos núcleos habitados, el pueblo de Aldequemada y la Venta de Cárdenas. La economía de la zona está fundamentalmente basada en la agricultura (olivar y cerealista), la ganadería y cinegética de caza mayor.



Figura 2. Relieve de la zona investigada

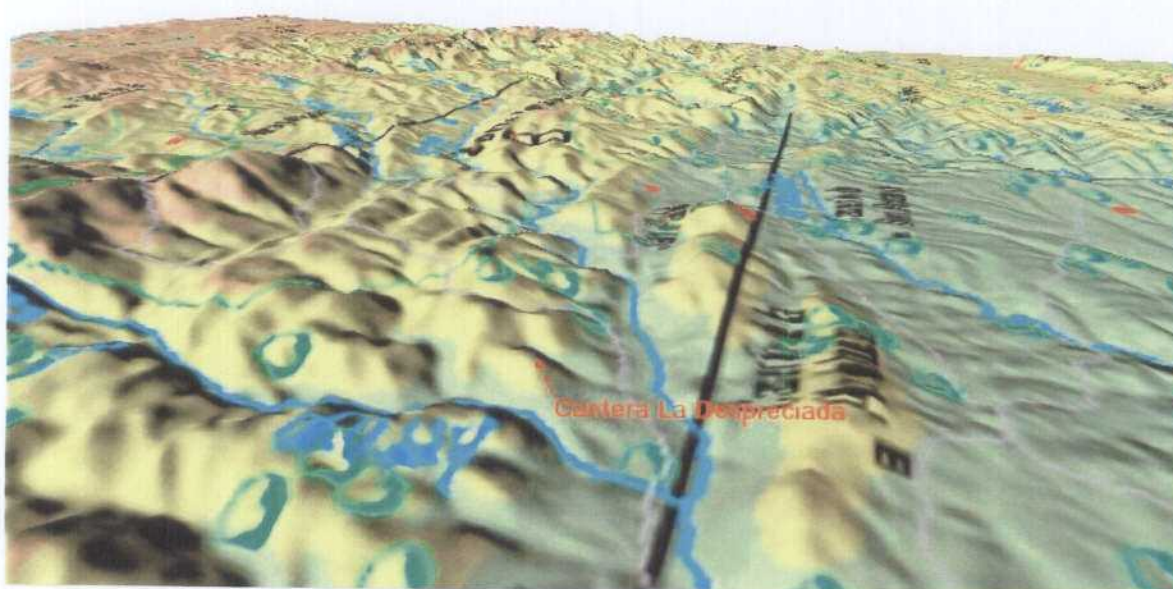


Figura 3. Vista de la zona desde el suroeste

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y TRABAJOS REALIZADOS

Para la realización de los diferentes objetivos perseguidos por este proyecto de investigación, se ha seguido una metodología de trabajo, cuyas diferentes fases se describen a continuación:

FASE 1:

1- RECOPIACIÓN, ORDENACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN GEOLOGICO-MINERA: Se prestó especial interés en la localización de documentos y datos procedentes de organismos oficiales tales como el propio IGME, el Ministerio de Obras Públicas, Servicios de Minas, etc., y de compañías mineras o usuarios de materias primas de esta naturaleza (constructoras, etc.).

2- ESTUDIO DEL DOMINIO MINERO EN LA ZONA DE INTERÉS: se realizó un estudio exhaustivo de los derechos mineros existentes en las zonas donde afloran los materiales objeto de la investigación, con objeto de determinar la disponibilidad de terrenos francos y registrables sobre los que acometer los estudios subsiguientes. Para ello se visitaron las Jefaturas de Minas afectadas y se elaboró un plano del catastro minero de la zona de interés.

3- INVESTIGACIÓN PRELIMINAR DE LOS AFLORAMIENTOS DE MÁRMOL. PRESELECCIÓN DE ZONAS Y SOLICITUD DE PERMISO DE INVESTIGACIÓN: tras la revisión de la situación minera, se llevó a cabo un estudio preliminar de los afloramientos marmóreos con objeto de realizar una preselección preliminar de zonas de interés. Con dichos datos se elaboró una propuesta de terrenos sobre los que se debería solicitar el correspondiente permiso de investigación. La propuesta fue acompañada de una guía básica para la redacción del proyecto de investigación y el procedimiento administrativo a seguir.

4- SEGUIMIENTO FOTOGEOLÓGICO DE LAS FORMACIONES FAVORABLES A ESCALA 1:18.000: las transversales donde se pudieron observar mejor las características de la roca, sirvieron de base para un seguimiento lateral de la capas favorables, sobre fotografía aérea de escala 1:18.000. Esto se hizo con el fin de asegurarse de que existía una corrida suficiente que garantizase un mínimo volumen de recursos.

5- CARTOGRAFÍA GEOLÓGICO-MINERA: esta cartografía se apoyó en las técnicas geológicas auxiliares habituales, tales como estudio petrográfico de láminas delgadas de roca, sedimentología, etc. La cartografía se realizó a escala 1:5.000, analizándose todos los factores siguientes:

- Estratificación, buzamientos.
- Potencia de capa.
- Cambios de potencia y de facies.

- Meteorización.
- Karstificación.
- Recubrimientos.
- Pliegues.
- Grado metamórfico

6- LEVANTAMIENTO DE PERFILES LITOLÓGICO-ESTRUCTURALES: en aquellas transversales que presentaban mejores condiciones de afloramiento, y con el fin de llegar a un conocimiento cabal de las series estratigráficas con potencial geológico-minero, se realizaron perfiles litológico-estructurales escala 1:5.000. Durante la ejecución de dichos perfiles se prestó especial atención a los siguientes factores:

- Composición litológica.
- Color de la roca.
- Textura.
- Tamaño de grano
- Recristalización
- Orientación de los cristales.
- Impurezas.
- Microfracturación
- Replegamiento a mesoescala.

7- ESTUDIO FOTOGEOLÓGICO DE LA FRACTURACIÓN: como es sabido, uno de los principales factores limitantes de la explotabilidad de un yacimiento de rocas ornamentales, es la facturación. Es por ello fundamental, tener en consideración este factor desde las primeras fases de cualquier prospección. Simultáneamente al seguimiento fotogeológico de las formaciones, se realizó un estudio de la facturación a macro y meso escala, que permitió desechar aquellas zonas que a priori, están más fracturadas.

8- MUESTREO SELECTIVO Y ENSAYOS: a la vista de los indicios y yacimientos reconocidos, se hizo un muestreo de aquellos que se consideraron más interesantes por su volumen y recursos. Las muestras se someterían a los pertinentes ensayos tecnológicos de caracterización. En esta fase de los trabajos, los ensayos a realizar fueron los siguientes:

- Serrado y pulido de plaquetas.
- Absorción de agua y peso específico.
- Resistencia al choque.
- Choque térmico.

FASE 2:

1- CAMPAÑA DE SONDEOS: La obtención de datos en profundidad o en zonas recubiertas, se hizo mediante sondeos mecánicos con recuperación de testigo. La selección de los lugares para la ejecución de estas labores, se llevó a cabo de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase anterior. En determinadas zona favorables se propusieron algunos sondeos tácticos de reconocimiento con objeto de establecer las zonas más favorables para la explotación del posible

yacimiento, donde realizar trabajos adicionales. El estudio de los testigos de sondeo incluyó la medida de la facturación de la roca utilizándose al menos los siguientes parámetros:

- RQD (*Rock Quality Index*)
- nº de fracturas por metro
- % de recuperación de testigo.

Se realizaron un total de 5 sondeos en diferentes puntos de la zona cartografiada y con las siguientes características:

- Sondeo 1. Colmenar de la Ballestera. 61,4 m. Inclinado.
- Sondeo 2. Colmenar de la Ballestera. 114,30 m. Inclinado.
- Sondeo 3. El Casar-Rio Guarrizas. 136,55 m. Vertical.
- Sondeo 4. Camino zona La Despreciada. 55 m. Inclinado.
- Sondeo 5. Cantera La Despreciada. 55 m. Inclinado.

2- ENSAYOS TECNOLÓGICOS: Las muestras obtenidas de los sondeos se sometieron a trenes de ensayos normalizados según normas UNE. Los ensayos realizados fueron los que el tipo y tamaño de muestra obtenida permitió que en general fueron los siguientes:

- Absorción y Peso específico aparente. UNE 22 182 85
- Resistencia a las heladas. UNE 22 184 85
- Resistencia a la compresión. UNE 22 185 85
- Resistencia a la flexión. UNE 22 186 85
- Microdureza Knoop. UNE 22 188 85
- Resistencia al choque. UNE 22 189 85
- Resistencia a los cambios térmicos. UNE 22 193 85
- Coordenadas cromáticas tras los ensayos.
- Plaqueta pulida.

Se ha realizado un total de 6 baterías de ensayos tecnológicos sobre muestras de los testigos de los sondeos 2, 3 y 4, con un total de 69 ensayos.

3- MEMORIA Y DOCUMENTOS AUXILIARES: Todas las labores realizadas se incluyen en este documento de síntesis, que cubre todos los aspectos mencionados en cada uno de los apartados anteriores. Esta memoria se acompaña de todos los planos, figuras, fotografías, testificaciones, ensayos, etc. La memoria incluye un apartado breve y conciso, que detalle las principales conclusiones y las recomendaciones para trabajos posteriores.

4. LOS MÁRMOLES COMO ROCA ORNAMENTAL

4.1. GENERALIDADES

4.1.1. Definición

Geológicamente, el mármol se define como una roca granudo-cristalina metamórfica cuya mineralogía principal es de carbonato cálcico, y formada a partir de materiales carbonatados (calizas, dolomías,...) que han sufrido condiciones de elevadas presiones y/o temperaturas. Sin embargo, el término comercial de mármol hace referencia, no sólo a estos materiales, sino que en ocasiones se trata de rocas no carbonatadas como puede ser el caso de las serpentinas. Calizas, dolomías, calizas dolomíticas, travertinos y brechas, que muestren un buen aspecto al ser pulidos son denominados comercialmente como mármoles.

Para establecer unas pautas de trabajo, la norma UNE 22-180/85 establece como mármoles al "conjunto de rocas constituidas fundamentalmente por minerales carbonatados de dureza Mohs del orden 3-4, siempre que puedan obtenerse mediante discos de diamante en probetas enteras de 12 x 5 x 1 cm".

La norma europea 12670 "Terminología de Piedra Natural", establece que mientras científicamente un mármol es una roca metamórfica que contiene más de un 50% de carbonatos (calcita o dolomita) formada por recristalización de rocas carbonatadas, comercialmente mármol es una piedra natural compacta y que admite el pulido, utilizada en decoración y construcción compuesta fundamentalmente por minerales de dureza Mohs entre 3 y 4 (tales como calcita, dolomita o serpentinita), por lo que comercialmente se consideran mármoles, además de los incluidos en la definición científica a las siguientes rocas, siempre que admitan el pulido a espejo: calizas marmóreas, calizas, dolomías, brechas calacáreas, travertinos y serpentinitas.

4.1.2. Composición y textura

Debido a la variedad de términos petrológicos que se agrupan bajo el nombre comercial de mármoles, las composiciones (aunque principalmente carbonatadas) y las texturas son igualmente variadas. Por este motivo, la norma UNE realiza una división en cuatro categorías dependiendo de las características de cada uno de los mármoles:

- Mármoles: roca calcárea, muy recristalizada con grandes cristales de carbonato (calcita o dolomita), y que ha sufrido procesos de metamorfismo, por lo que no presenta resto fosilífero alguno, y la estratificación, de existir, está muy difuminada, dado un aspecto masivo al conjunto.
- Calizas y dolomías marmóreas: rocas calcáreas con recristalización media o ligera que puede llegar a contener algún resto paleontológico, y con una

estratificación visible. Es frecuente que éstos materiales se encuentren atravesados por venas de composición variada.

- Calizas ornamentales: rocas, mayoritariamente calcáreas, no recrystalizadas metamórficamente, por lo que pueden contener fósiles, oolitos, pisolitos,... y con cristales de calcita o dolomita de pequeño tamaño.
- Otras: rocas de composición y textura variadas, y diferentes a las anteriores.

Dentro de cada uno de éstos grupos pueden hacerse infinidad de subdivisiones en función de otros parámetros como puede ser el color.

4.2. FACTORES GEOLÓGICOS

Las características geológicas tienen una gran importancia en la explotabilidad de una roca para su uso como material ornamental. Estos factores geológicos pueden depender de las características de las propias rocas (factores litológicos), o de las características de los diferentes procesos geológicos que hayan sufrido (factores de afloramiento). Estos factores geológicos son:

Factores litológicos:

- Composición mineralógica
- Tamaño de grano
- Textura
- Color
- Recrystalización
- Orientación de los cristales minerales
- Impurezas
- Vetas y concreciones
- Estratificación
- Microfacturación
- Replegamiento
- Homogeneidad litológica a escala de afloramiento
- Resistencia mecánica

Factores de afloramiento:

- Buzamiento
- Variaciones de potencia
- Variaciones de facies
- Fracturación (fallas, diaclasas)
- Meteorización y carstificación
- Plegamientos y cabalgamientos
- Metamorfismo (esquistosidad, recrystalización,...)

La vistosidad, es una factor resultante de ambos factores, y en especial del color, la textura, el tamaño del grano,... , por lo que resulta muy subjetivo, y puede cambiar con las modas.

En los mármoles, la orientación de los cristales minerales no tiene una gran importancia, sin embargo, factores como la composición, la fracturación y la compactación son los más importantes a la hora de descartar una roca como ornamental. Otro factor de gran importancia son las venas, concreciones y rellenos de fracturas, que dan mayor vistosidad. Existen factores que influyen de manera muy diferente en la roca, dependiendo de las características que aporten al mármol: impurezas, replegamiento, estratificación, buzamiento, variaciones de potencia y de facies.

4.3. LOS MÁRMOLES EN ESPAÑA

4.3.1. El mármol en la arquitectura

España es un país muy ligado a esta roca ornamental, especialmente desde la Edad Media, cuando comenzó a emplearse con profusión esta roca para la construcción, tanto de obras civiles como religiosas, o monumentos. Sin embargo, el mármol ya fue empleado por los romanos para la construcción de las columnas del anfiteatro de Mérida, e incluso por las civilizaciones visigóticas. El arte musulmán tuvo una importante repercusión en las rocas ornamentales marmóreas, ya que emplearon en múltiples ocasiones estos materiales con las consiguientes aperturas de canteras. De hecho, la cantera de Macael, que aún hoy es un gran centro productor de mármoles s.s. comenzó a explotarse durante esta época.

Posteriormente, la península ha quedado sembrada de numerosas edificaciones en las que el mármol y las calizas marmóreas constituía uno de los principales materiales ornamentales, como son los casos del Palacio de los Duques de Feria en Zafra (Extremadura), o los palacios de la Alhambra y de Medina Azahara en Granada (Andalucía).

Actualmente los mármoles son un material muy común empleado, no sólo en los interiores de edificaciones, sino también en exteriores, no restringiéndose a edificios públicos, sino también a edificios privados, tanto de oficinas como de viviendas.

4.3.2. Afloramientos de mármol en la Península Ibérica

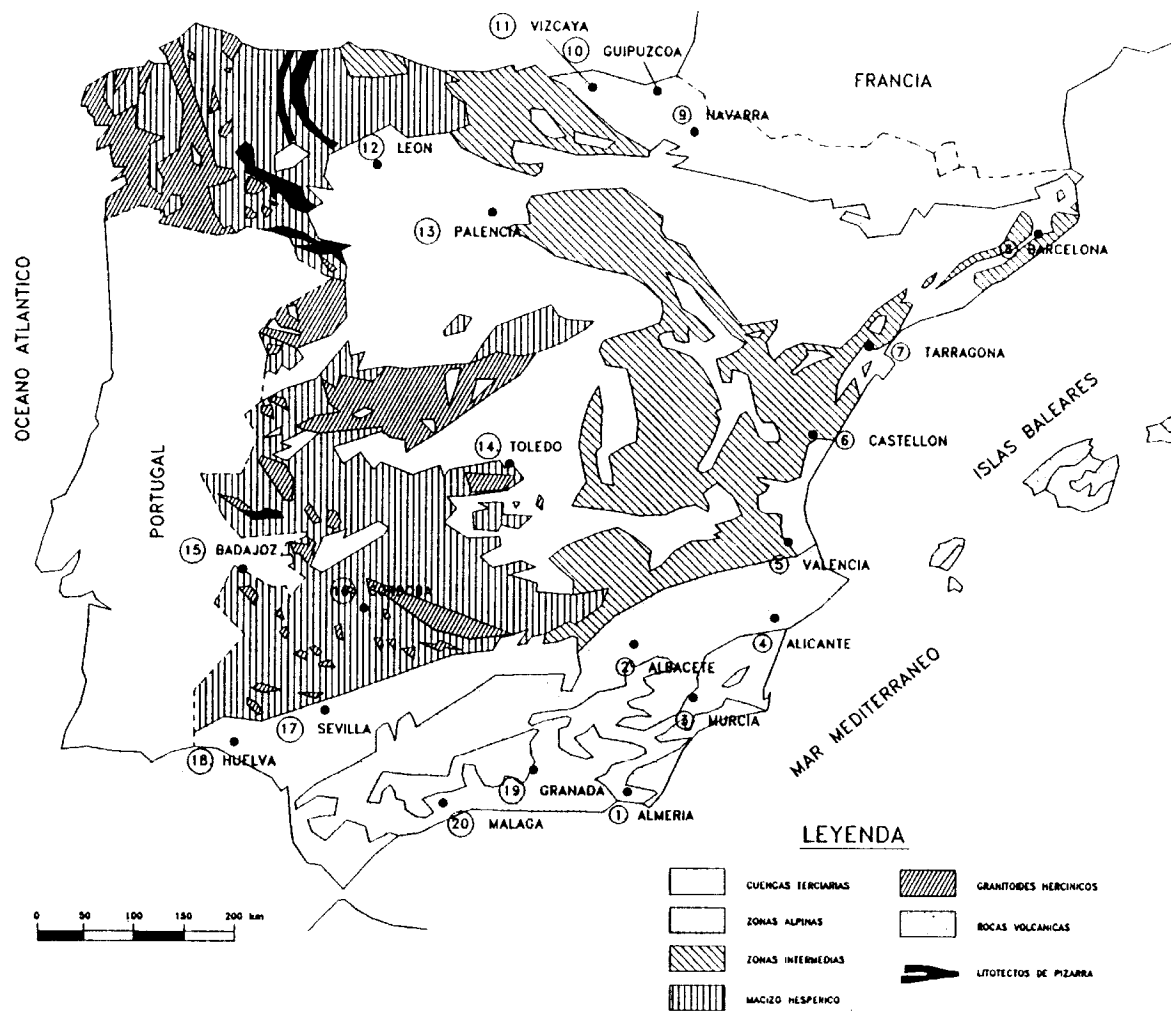
En la Península Ibérica existe una amplia distribución de materiales marmóreos, dada la gran abundancia de rocas carbonatadas. Las zonas de mayor acumulación de mármoles y calizas marmóreas, tanto en explotación, como en forma de reservas, se encuentran distribuidas por el norte peninsular, abarcando los Pirineos y la Cordillera Cantábrica (especialmente en el País Vasco), y por la región mediterránea, abarcando casi toda Andalucía, y Murcia, la Comunidad Valenciana y Cataluña. Sin embargo, las rocas marmóreas están distribuida ampliamente por toda la Península.

Estos afloramientos se corresponden con unidades geológicas de muy diferentes edades, desde el Precámbrico hasta el Cuaternario, pero asociados

a las regiones situadas entre las cuencas de sedimentación. Al Terciario y Cuaternario pertenecen, principalmente, los materiales de tipo travertinos y tobas englobados dentro del término de mármoles.

Existen una veintena de áreas (Fig. 4.1.) de grandes producciones de mármoles, de donde se obtienen más de 110 variedades ornamentales de éstas rocas.

Fig. 4.1. (página siguiente). Principales áreas de producción de mármol.



ZONAS	VARIEDADES	
1. ALMERIA	AGUA MARINA AMARILLO MACAEL AMARILLO ORO AMARILLO RIO AMARILLO LUBRIN ANASOL BLANCO COBDAR BLANCO CHERCOS BLANCO CHIVE BLANCO UJAR BLANCO MACAEL BLANCO RIO BLANCO FRANCO	DORADO AUSTRIAL GRIS CARACANTO/LOS AZULES GRIS MACAEL/CARAIILLA MACAEL VETEADO MARMOL AMARILLO TRIANA MARMOL BLANCO TRIANA MARMOL CREMA TRIANA NEGRO MACAEL FANTASIA ROSA ALMERIA SALTADOR TRAVERTINO ORO TRAVERTINO ROJO ALHAMBRA VERDE MACAEL VETEADO RIO
2. ALBACETE	AMARILLO DUNA AMARILLO FOSIL BLANCO MAGNO	LAGO ROSA NEGRO FANTASIA
3. MURCIA	AGATA QUIBAS BEISERPENTE CALIZA ALBA CALIZA LORCA CEHEGIN MEDIUM CREMA LEVANTE CREMA PERLA CREMA SIERRA PUERTA GRIS CEHEGIN IMPER MARRON CAVA	MARRON IMPERIAL PERACLAARO PERAROS PIEDRA NOGAL ROJO CARAYACA ROJO CEHEGIN ROJO CORALITO ROSA MAGDALA ROSA ZARCI VERDOVAL
4. ALICANTE	CREMA MARFIL COTO CREMA MARFIL PERA ZAFRA	CREMA MORATA ROJO ALICANTE
5. VALENCIA	BASSONVILLE CREMA BUXCARRO CREMA VALENCIA	EMPERADOR CLARO ROSA BUXCARRO ROSA VALENCIA
6. CASTELLON	CREMA JASPE FANTASIA	FOSIL
7. TARRAGONA	BROCATEL CREMA CENIA CREMA HONEY CREMA ULLEDECONA	IMPERIAL RENACIMIENTO SHERRY GOLD ULLEDECONA
8. BARCELONA	CALIZA SAN VICENTE	
9. NAVARRA	GRIS DUQUESA ROJO BIDASOA	ROSA DUQUESA
10. GUIPUZCOA	ALBROS ALBROSA BRECHA ESTRELLA GRIS DEBA GRIS MOTRICO	GRIS PALOMA NEGRO JURRA ROJO SANGRE DE TORO ROSA ROSA ESTRELLA
11. VIZCAYA	MARQUINA FLORIDO NEGRO MARQUINA	ROJO BILBAO ROJO BILBAO FINO
12. LEON	GRIS BIERZO	MARMOL BIERZO
13. PALENCIA	GRIS VILLALIANO	
14. TOLEDO	NEGRO TOLEDO NEGRO URDA	PIEDRA SAN VICENTE
15. BADAJOZ	BLANCO ALCONERA NEGRO PINTA	SERRANCOLIN
16. CORDOBA	CREMA CAPRI	ROJO CARCABUER
17. SEVILLA	CALIZA SEVILLA CREMA GILENA	IMPERIAL
18. HUELVA	BLANCO AROCHE GRIS AROCHE	SALMON AROCHE
19. GRANADA	BLANCO IBERICO BRONCEADO SIERRA EL VIRA CREMA LOJA	FALSA AGATA ROJO VAQUERO
20. MALAGA	NACARADO RONDA	

4.3.3. El mercado y la industria del mármol en España

4.3.3.1. Producción

En España existen unas 400 canteras activas de explotación de mármoles, y calizas, concentrándose en las provincias de Alicante (Pinoso, Monforte del Cid y Novelda), Almería (Macael) y Murcia (Caravaca, Cehegín, Jumilla, Yecla, Zarcilla de Ramos). También hay explotaciones en Cataluña (Tarragona y Barcelona), Castilla y León, País Vasco y otros puntos de Andalucía.

El mármol *sensu strictu* (en sentido geológico, es decir roca metamórfica) sólo se explota para roca ornamental (en bloque comercial) en Macael (Almería) y Aroche (Huelva).

Las empresas explotadoras, que actualmente son del orden de 256, son en general pequeñas y medianas y proporcionan empleo directo a 2659 personas. (2000).

La producción española de mármol comercial en cantera se cifró en el año 2000 en 1 745 231 m³, equivalentes a unas 4 300 000 t.

De esta producción, el 39,2% procede de Almería, el 25,2% de Alicante, el 12,6% de Murcia, el 9,5% de Cataluña y el 6,6% del resto de Andalucía, según el cuadro incluido a continuación.

PRODUCCIÓN EN CANTERA DE MÁRMOL Y CALIZAS MARMÓREAS EN ESPAÑA (2000)		
Zona	m³	t
Almería	685 000	1 849 500
Alicante	440 000	1 188 000
Murcia	220 000	594 000
Cataluña	165 731	447 473
Andalucía	115 000	310 500
País Vasco	70 000	189 000
Castilla y León	40 000	108 000
Aragón	9 500	25 650
TOTAL	1 745 231	4 712 123

Respecto al sector transformador, existen en España 1845 fábricas dedicadas a la elaboración de piedra natural, cuya producción de mármoles y calizas marmóreas es de aproximadamente 47,9 Mm².

De dicha producción, el 42% se elabora en Alicante, el 29% en Almería, el 14,6% en Resto de Andalucía, el 11% en Murcia, el 2,54% en Castilla y León, el 1% en el País Vasco y el 0,2% en Aragón, tal y como se detalla en el cuadro adjunto.

PRODUCCIÓN DE MÁRMOL Y CALIZAS MARMÓREAS ELABORADAS EN ESPAÑA (2000)	
Zona	m²
Almería	14 000 000
Alicante	20 000 000
Murcia	5 300 000
Andalucía	7 000 000
País Vasco	440 000
Castilla y León	1 220 000
Aragón	10 000
TOTAL	47 970 000

Las fábricas de aplacados de mármol generan un total de 15 000 empleos, sin contar el sector de marmolistas de arte funerario que podría incluir otras 9 000 empleos más.

La facturación de este sector de Piedra Natural se cifra en alrededor de 300 000 Mpta anuales, es decir alrededor del 50% del total del sector en su conjunto.

4.3.3.2. EXPORTACIONES

La industria del mármol es un importante exportador a los mercados de todo el mundo. De hecho el mármol es la variedad de piedra natural más exportada del país. El total de mármol exportado en el 2000 fue de 702 286 t. De éstas en mármol en bloque se exportaron un total de 477 958 t valoradas en 31 874 Mpta, lo que representó un incremento del 23,6% en peso y un 30,6% en valor con respecto al año anterior. Se exportaron también 224 328 t de mármol elaborado, valoradas en 25 833 Mpta, con un incremento más moderado del 2,8% en peso y un 12% en valor respecto al año anterior.

El crecimiento medio de las exportaciones de mármol fue, por tanto, de un 16,6% en volumen y de un 21,6% en valor.

Sustancia	Cantidad		Variación %	Valor		Variación %
	1999	2000		1999	2000	
Mármol en bruto	386 592	477 958	23,6	24 402	31 874	30,6
Mármol elaborado	218 179	224 328	2,8	23 067	25 833	12
TOTAL	604 771	702 286	16,6	47 469	57 707	21,6

Por Comunidades, la mayor capacidad exportadora de mármol la tuvo la Comunidad Valenciana que exportó en el año 2000 un total de 578 783 t, (el 82,4% del total) equivalentes a 45 322 Mpta.

Murcia y el País Vasco son las otras Comunidades que mayor exportación de mármoles realizaron en el año 2000.

EXPORTACIÓN DE MÁRMOL Y CALIZAS MARMÓREAS EN ESPAÑA (2000) POR COMUNIDADES				
Comunidad	Mármol Bruto		Mármol Elaborado	
	t	Mpta	t	Mpta
Andalucía	7 433	516	18 356	3 325
Aragón	1 920	128	256	17
Baleares	263	20	208	18
C.Valenciana	364 888	26 933	173 895	18 389
Canarias	11	0	32	10
Cantabria	3	1	34	3
Castilla-León	1 618	53	217	128
Cataluña	9 512	529	4 427	732
Castilla-La Mancha	1 406	126	269	88
Extremadura	79	3	61	7
Galicia	16 862	118	2 561	248
La Rioja	0	0	4	2
Madrid	8 639	285	1 442	164
Murcia	35 980	2 132	11 870	16
Navarra	1 998	368	1 525	842
País Vasco	24 659	379	8 198	927
Total	477 958	31 874	224 328	25 833

Por destino de las exportaciones de mármol, el principal cliente del año 2000 en cuanto a mármol en bruto fue China con 91 291 t, seguida de Italia con 58 816 t y estados Unidos con 54 213t. El resto de los principales países receptores de exportaciones españolas fueron Hong Kong, Taiwan y Portugal.

Por valor de las exportaciones de mármol en bruto, a Estados Unidos se le facturó en el año 2000 un total de 7 228 Mpta, lo que supuso el 23% del valor de todo el mármol exportado en ese año.

En cuanto al mármol elaborado el mayor comprador fue Estados Unidos con 56 552 t, seguido de Francia, Italia y Portugal.

EXPORTACIÓN DE MÁRMOL Y CALIZAS MARMÓREAS EN ESPAÑA (2000) POR DESTINOS				
País	Mármol Bruto		Mármol Elaborado	
	t	Mpta	t	Mpta
Alemania	670	40	3 633	579
Arabia Saudí	7 127	623	9 714	946
Bélgica	3 421	261	6 409	982
Brasil	17 628	1 260	1 468	131
China	91 291	4 620	6 788	576
Corea del Sur	12 153	1 093	3 367	417
Emiratos Árabes	7 262	672	5 347	655
Estados Unidos	54 213	7 228	56 552	8 592
Francia	12 159	1 053	25 482	2 235
Hong Kong	40 357	2 756	5 919	530
Israel	4 787	425	6 776	645
Italia	58 816	1 506	17 202	1 201
Japón	11 437	1 197	4 468	549
Países Bajos	413	30	6 112	971
Portugal	18 070	244	12 783	1 528
Reino Unido	694	44	6 216	912
Singapur	9 754	1 061	2 990	415
Taiwan	37 861	2 565	281	186
Resto de países	89 845	5 196	41 021	3 783
Total	477 958	31 874	224 328	25 833

4.3.3.3. IMPORTACIONES

En el año 2000 se importaron 275 292 t, valoradas en 7 420 Mpta (un incremento del 9,5% en peso y un 40,7% en valor respecto al año anterior) y 126 540 t de mármol elaborado, valoradas en 7 858 Mpta (un disminución de 7,3% en peso y un aumento de 6,2% en valor).

Sustancia	Cantidad		Variación	Valor		Variación
	1999	2000	99/00	1999	2000	99/00
Mármol en bruto	251 502	275 292	9,5	5 274	7 420	40,7
Mármol elaborado	136 476	126 540	-7,3	7 402	7 858	6,2
TOTAL	387 978	401 832	2,2	12 676	15 278	46,9

4.3.3.4. BALANCE

Las exportaciones de piedra natural generaron en el año 2000 un superavit de 104 594 Mpta, lo que indica una excelente salud del sector.

4.4. LA EXPLOTACIÓN DEL MARMOL

La explotación de mármol se realiza a cielo abierto, aunque en la actualidad, en países como Italia se está introduciendo la explotación subterránea en lugares donde la cobertura de estériles es muy importante. Además, la explotación subterránea se está imponiendo debido a que muestra menor impacto ambiental que las explotaciones a cielo abierto.

La metodología de explotación consiste, en primer lugar en la eliminación de la montera de estériles para la posterior apertura del banco (aprovechando material alterado, o por medio de una rozadora). Posteriormente comienza la separación de los bloques en función de la disposición de la cantera.

Las técnicas de explotación más comunes son las perforadoras el corte con hilo diamantado o con rozadora de cadenas. El hilo diamantado ha adquirido una especial relevancia en los últimos tiempos debido a su versatilidad, facilidad de uso y rapidez ya que en mármoles cristalinos alcanza una velocidad de corte de entre 8 y 15 m²/h y entre 5 y 12 m²/h en calizas y calizas marmóreas.

4.5. APLICACIONES ORNAMENTALES DEL MARMOL

4.5.1. Característica tecnológicas

El mármol tiene una gran variedad de aplicaciones como roca ornamental, debido a esta diversificación en sus aplicaciones, es conveniente que cumplan un mínimo de características técnicas:

- Durabilidad
- Resistencia al desgaste
- Capacidad de aislamiento térmico y acústico
- Capacidad de absorción de ruidos
- Resistencia a la intemperie
- Aptitud para pulir a espejo
- Posibilidad de diferentes acabados

Con el fin de seleccionar el material más adecuado, éste ha de ser sometido a una serie de ensayos que en función del uso final son:

- Pavimentos exteriores: Resistencia a la flexión, absorción, masa específica aparente, resistencia al hielo, resistencia a la abrasión y resistencia al deslizamiento.
- Pavimentos interiores: Resistencia a la flexión, resistencia a la abrasión y resistencia al deslizamiento.
- Elementos de mampostería: Resistencia a la compresión simple, absorción, masa específica aparente, resistencia al hielo y resistencia a la flexión.

- La batería de ensayos a realizar y el material necesario quedan reflejados en el cuadro incluido a continuación (Fig. 4.2):

NORMA USI					22-167		22-172	22-174	22-175	22-173	22-176	22-196	DILATAC. LINEAL TERMICA
BLOQUE MUESTRA	CORTE	PETROGRA.	ANALISIS QUIMICO	SAYOS X	FULIDO	ALTERABILIDAD CHOQUE TERMINO	ATMOSF. CONTAMI.	ABSORC. Y PESO ESPECIFICO	HELADI- CIDAD	COMPRES.	DESGASTE POR ROZAMEN	FLEXION	IMPACTO
	15x8x1,5												
	7x7x7												
	7x7x7												
30x30x30													
	12x3x1												
	20x20x3												
	7x7x7												
	22x4x3,5												
	22x2x2,5												
N° de piezas	3	1	1	3	1	1	3	3	6	2	6	4+4	1

15x8x1,5 cm → 3
7x7x7 cm → 11
12x5x1 cm → 4

20x20x3 cm → 4
22x4x2,5 cm → 7
30x30x2,5 cm → 1

Como se ha comentado, los mármoles y calizas marmóreas tienen diferentes aplicaciones en construcción, siendo las más importantes en volumen el solado y revestimiento (Fig. 4.3). En cada una de las diferentes aplicaciones, éstos materiales estarán sometidos a muy diferentes condiciones, siendo necesario poner especial atención en las diferentes características técnicas de los materiales (Tabla 2).

Tabla 2: Ensayos importantes para cada empleo ornamental										
Empleo	Características técnicas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Revestimientos exteriores	**	**	**	**	***	**	**	*		*
Revestimientos interiores	**	*	*	*		*				
Pavimentos exteriores	**	**	**	**	***	**	**	***	***	***
Pavimentos interiores	**	*	*	*		**		***	***	***
Escaleras en vano	**	*	*	**		***		***	***	***
Techados	**	***	***	**		**		*	**	*
Leyenda:										
1- Peso específico aparente 2- Absorción de agua 3- Porosidad aparente 4- Resistencia a la compresión 5- Resistencia a la compresión después de la heladicidad 6- Resistencia a la flexión 7- Coeficiente de dilatación térmica					8- Resistencia al desgaste 9- Resistencia al choque 10- Microdureza Knoop Grado de interés: * poco importante ** importante *** muy importante					

Las aplicaciones ornamentales de los mármoles pueden ser:

- Revestimientos interiores: es el uso más común del mármol, y es el que menores exigencias requiere, lo que hace del mármol una roca muy adecuada para este tipo de usos.
- Revestimientos exteriores: es una aplicación cada vez más frecuente, y requiere que la roca ornamental sea de una gran calidad, ya que va a sufrir agresiones climáticas (variaciones climáticas, humedad, viento,...), químicas (lluvia, contaminación,...) y física (viento, impactos,...).
- Pavimentos interiores: es un uso muy extendido dada la gran versatilidad. Esta aplicación del mármol requiere tener en cuenta algunos de los parámetros como son la resistencia al impacto y al desgaste.
- Pavimentos exteriores: al igual que ocurre con los revestimientos exteriores, esta aplicación requiere una gran exigencia a las características geotécnicas del mármol, ya que estará sometido a múltiples agentes agresivos.
- Artesanía y decoración: es un empleo del mármol muy utilizado desde la antigüedad, ya que este material es relativamente blando, lo que permite su tallado con facilidad. Esta característica ha hecho que el mármol se emplee también como arte funerario, para el acabado decorativo de construcciones (balaustradas y otros complementos de la construcción), y para la decoración de exteriores (fuentes, estatuas,...)

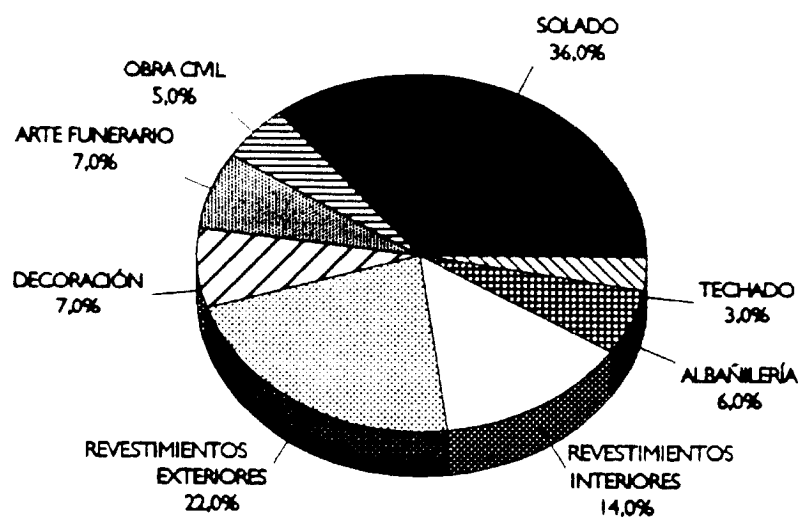


Fig. 4.3. Aplicaciones ornamentales del mármol.

5. GEOLOGÍA DE LA ZONA INVESTIGADA

5.1. INTRODUCCIÓN

En la serie estratigráfica paleozoica aflorante en Sierra Morena oriental aparecen un conjunto de indicios de mármoles cristalinos que podrían ser susceptibles de explotación para su empleo como rocas ornamentales. Estos indicios se centran en una formación de edad Ordovícico Superior, denominada *Formación Caliza Urbana*, cuyos afloramientos aparecen de manera discontinua siguiendo la macroestructura geológica general.

5.2. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA PARA LA FORMACIÓN CALIZA URBANA

5.2.1. Situación geológica

La Hoja de Aldeaquemada encuadra la terminación oriental del gran anticlinorio de Alcudia, que pertenece geológicamente al sector meridional de la Zona Centro-Ibérica del Macizo Ibérico (Julivert et al., 1979). Forma parte también del denominado Dominio de los Pliegues Verticales de la Zona Centro-Ibérica (Fig. 5.1.), definido por Díez Balda et al. (1990). Desde un punto de vista litológico, dicho Dominio se caracteriza por la gran extensión de los afloramientos de rocas preordovícicas, la ausencia de Cámbrico medio y superior y el carácter transgresivo de la *Formación Cuarcita Armoricana* del Ordovícico Inferior.

En los materiales que afloran en el sector meridional de la Zona Centro-Ibérica es posible distinguir tres conjuntos: los materiales preordovícicos, la sucesión paleozoica y la serie discordante superior del Culm de la Cuenca de Los Pedroches (Fig. 5.2).

Los materiales preordovícicos afloran de forma extensa en el núcleo de amplios anticlinales de dirección NO-SE a ONO-ESE, como por ejemplo el Anticlinal de Alcudia. En ellos es posible distinguir dos grandes conjuntos separados por una discordancia (Bouyx, 1970; Tamain, 1970; Ortega y González Lodeiro, 1983; Amor y Ortega, 1987; García Sansegundo et al., 1987; Lorenzo Alvarez y Solé, 1988; Nozal et al, 1988a y 1989b; San José et al., 1992; Palero, 1993).

El conjunto inferior es equiparable a los Esquistos de Alcudia (Bouyx, 1970) o al Alcudiense inferior (Tamain, 1970) y está constituido por varios miles de metros de una asociación litológica de carácter turbidítico. El conjunto superior es equiparable al Alcudiense superior (Tamain, 1970) y lo forma una secuencia de sedimentos detrítico-carbonatados de plataforma cuya potencia alcanza los 800 m. El techo del conjunto superior sería ya de edad Cámbrico inferior.

La sucesión paleozoica presente en Sierra Morena oriental comprende materiales de edad Ordovícico inferior a Carbonífero superior en facies *Culm* (Viseense-Namuriense). La sucesión ordovícico-silúrica comprende un conjunto de sedimentos de plataforma marina somera, que muestran la acción de corrientes de marea y acción superpuesta del oleaje, frecuentemente durante tempestades, que alternan con sedimentos de plataforma más abierta o externa. La participación volcanogénica en los sedimentos puede ser importante, encontrándose intercalaciones volcánicas y depósitos volcanosedimentarios en la sucesión con cierta frecuencia.

Los sedimentos ordovícicos se disponen siempre en discordancia angular sobre los materiales del sustrato, que puede ser tanto el Alcudiense inferior como el superior. La serie se inicia con la *Formación de Base*, constituida por areniscas, cuarcitas, conglomerados y pizarras, que puede comenzar con el denominado *Conglomerado de Base* de Tamain (1970, 1975). Este conjunto ha sido también definido como *Serie Roja Basal* por Gutiérrez Marco et al. (1990). Se interpreta como sedimentos marinos de plataforma dominada por la acción del oleaje y corrientes mareales (Lillo et al., 1997). Los conglomerados basales gruesos se corresponderían con facies canalizadas de desarrollo local. La edad de la formación es Tremadoc?-Arenig (San José et al., 1992).

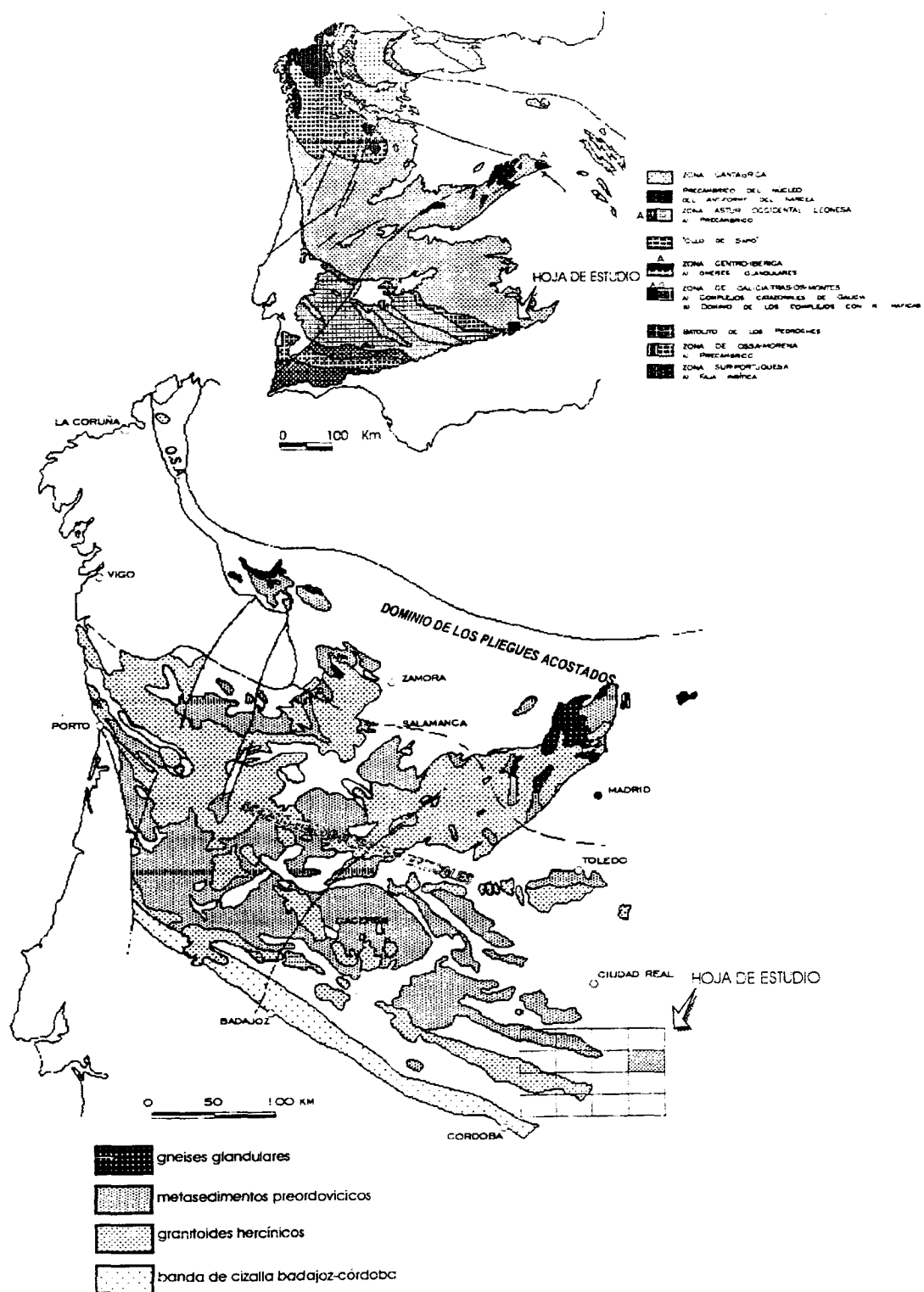


Fig. 5.1. Dominios estructurales en la Zona Centro-Ibérica según Díez Balda et al. (1990) y localización de la Hoja de Aldequemada.

Por encima aparece un paquete característico de ortocuarcitas de edad Arenig, denominado *Cuarcita Armoricana* (Tamain, 1975), Cuarcitas de las Altas Sierras (Mallada, 1884), o Cuarcita de Despeñaperros (Richter, 1967). El tramo presenta unos 500 m de potencia y es interpretado como depósitos marinos de plataforma somera, sometida a la acción de corrientes de marea y oleaje (Lillo et al., 1997).

El Ordovícico inferior está también representado por los *Estratos de Pochico*, constituidos por una alternancia de cuarcitas, areniscas y pizarras, de edad Arenig (Emig y Gutiérrez Marco, 1997). El conjunto posee una potencia de 150-180 m y ha sido interpretado como depositado en una plataforma marina somera afectada por el oleaje de tormentas.

La serie continúa con una potente sucesión de pizarras negras-grises azuladas, de un color verde-gris cuando están meteorizadas, denominada *Pizarras del Río* (Richter, 1967), o también en la bibliografía regional como *Pizarras con Neseoretus*. Estos materiales han sido interpretados como sedimentados en una plataforma externa-talud, bajo el nivel de base del oleaje de tormentas (Portero y Dabrio, 1988). La formación posee abundantes fósiles que le asignan una edad Arenig superior-Llandeilo (Dobrotiviense).

El Llandeilo aparece también constituido por una alternancia de pizarras, areniscas y cuarcitas, en la que es posible distinguir de base a techo unas alternancias de areniscas y pizarras, *Areniscas de los Rasos* (Rábano, 1989), unas pizarras con intercalaciones de areniscas, *Pizarras Guindo*, y unas alternancias de areniscas, cuarcitas y pizarras. En esta unidad se incluyen las *Cuarcitas inferiores* y *Esquistos Botella* de Tamain (1970). Las alternancias inferiores presentan una potencia variable de 50-200 m y son interpretadas como el resultado de la progradación de los ambientes de plataforma interna dominada por la acción del oleaje, sobre los de plataforma externa-talud (Lillo et al., 1997). Las pizarras superiores poseen unos 50-75 m de potencia y constituyen sedimentos de mar abierto, depositados por debajo del nivel del oleaje de tormentas.

El Ordovícico medio culmina con un nivel cuarcítico característico, Cuarcitas Botella (Tamain, 1970), que puede dar resaltes topográficos, aunque no tan acentuados como otros tramos cuarcíticos de la sucesión ordovícico-silúrica. La formación es de naturaleza arenoso-cuarcítica, presenta una potencia variable entre 50 y 150 m, y ha sido interpretada como barras arenosas de plataforma abierta con influencia de tormentas. Las asociaciones de fósiles que contiene le asignan una edad Llandeilo (Dobrotiviense; Rábano, 1989; Gutiérrez Marco, 1996).

El Ordovícico superior (Caradoc-Ashgill) está representado por un conjunto de areniscas, cuarcitas y pizarras, equivalente a los *Esquistos con Orthis* de Richter (1967). En él es posible distinguir un tramo basal pizarroso o finamente microbandeado, o *Pizarras Cantera* (Tamain, 1970), y un tramo superior formado por limonitas, areniscas y cuarcitas, o *Bancos Mixtos*. Sobre los materiales mixtos alternantes rítmicamente aparecen, de forma muy

discontinua, los bancos de la *Caliza Urbana* de Henke (1926; in Tamain (1970)). A techo de los bancos mixtos aparece también un tramo de 5-30 m de potencia de niveles lumaquéllicos amarillentos muy característicos y de un gran valor cronoestratigráfico (Gutiérrez Marco y Rábano, 1989). Lillo (1992) ha interpretado el conjunto como el resultado de la progradación y acumulación de depósitos de ambientes de plataforma interna afectados por la acción de tormentas y muy próximos al nivel de base del oleaje.

Asociados a los niveles carbonatados ha sido regionalmente descrito un vulcanismo contemporáneo (Tamain, 1970; Pineda, 1987; Palero, 1993), representado por tobas, tufitas, cineritas y productos de proyección subaérea, de composición intermedia y ácida. La potencia de la *Caliza Urbana* es muy variable debido a la existencia de una discordancia erosiva a techo, desapareciendo lateralmente sin aparentes cambios de facies. En el sector estudiado, la potencia observada oscila entre 0 y 20 m.

Los materiales ordovícicos terminan comienzan con una formación homogénea de pizarras negras grisáceas, denominada *Esquistos Chavera* (Tamain, 1970) y *Pizarras Castellar* (Richter, 1967), de edad Ashgill-Llandovery. Su potencia oscila entre 100 y 150 m y se atribuyen a ambientes marinos de plataforma abierta relativamente alejados de la costa (Portero y Dabrio, 1988).

El Silúrico comienza con un nivel ortocuarcítico denominado *Cuarcitas del Criadero*, *Cuarcitas Castellar* (Henke, 1926; in Tamain, 1970), o *Cuarcitas Superiores* (Tamain, 1970), de edad Llandovery inferior y medio. Su potencia no supera los 70 m y ha sido interpretada por Lillo (1992) como el registro de la progradación y acumulación de barras arenosas en ambientes distales de plataforma más interna, y ambientes más proximales dominados por el oleaje.

Sobre las Cuarcitas de Criadero se sitúa un tramo de pizarras negras ampelíticas de edad Llandovery-Wenlock, equivalente a los *Esquistos con Monograptidos* de Tamain (1970), o las *Pizarras con Graptolites* de los autores alemanes. Su potencia se estima en 100-150 m y se interpreta, el tramo basal, como depósitos de mar abierto muy por debajo del nivel de base del oleaje, en condiciones reductoras, y, el tramo superior más arenoso, como una secuencia de progradación de ambientes de plataforma interna sobre los de externa-talud (Lillo et al., 1997).

Por encima aparece un tramo de pizarras negras y areniscas, cuya edad va desde el Ludlow? hasta el Gedinense (Devónico Inferior), en base a datos regionales (Gutiérrez Marco et al., 1990). El espesor del tramo se estima en unos 100 m y, en conjunto, constituye una megasecuencia negativa resultado de la progradación de ambientes de plataforma interna sobre los de plataforma externa-talud.

Los materiales devónicos suprayacentes constituyen una nueva intercalación de cuarcitas y areniscas, denominada *Cuarcita de Base* en la región de Almadén por Almela et al. (1962; en Gutiérrez Marco et al., 1990). La edad Gedinense-Siegeniense es confirmada en el estudio de San José et al.

(1992). La potencia es superior a los 150 m y se interpreta como una acumulación arenosa en sectores internos de una plataforma dominada por la acción del oleaje.

Por encima la sucesión devónica continúa con una alternancia de unos 100 m de Pizarras y Areniscas, de edad Segienense-Emsiense (Gutiérrez Marco et al., 1990), y termina con una unidad de Areniscas y Cuarcitas de 300-400 m de potencia, de edad Frasnense (Tamain, 1970).

Regionalmente, los materiales *Culm* de la cuenca de Los Pedroches se sitúan discordantes sobre materiales silúricos y devónicos. Se trata de una potente serie formada por una alternancia de pizarras y areniscas, a menudo rítmica, con algunos niveles discontinuos de conglomerados (Tamain, 1970). El conjunto ha sido interpretado como depositado en una plataforma abierta, relativamente somera, dominada por la acción del oleaje y de las tormentas.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

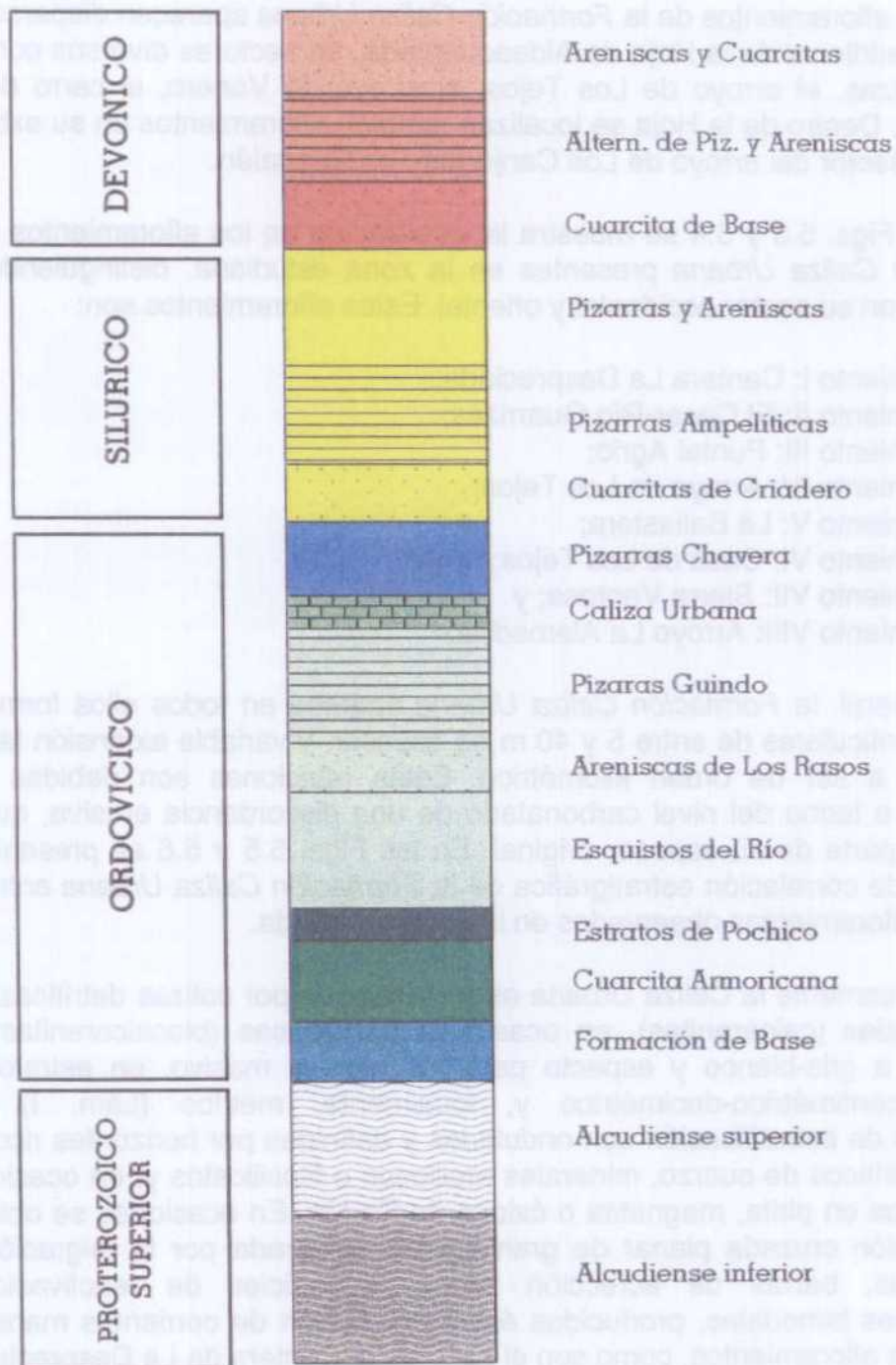


Fig. 5.2. Columna estratigráfica sintética de los materiales aflorantes en el sector meridional de la Zona Centro-Ibérica.

5.2.2. La Formación Caliza Urbana en la zona estudiada

Los afloramientos de la *Formación Caliza Urbana* aparecen dispersos en la zona meridional de la Hoja de Aldeaquemada, en sectores diversos como el Río Guarrizas, el arroyo de Los Tejos, el arroyo de Venero, el cerro de las Minas, etc. Dentro de la Hoja se localizan también afloramientos en su extremo NE, en el sector del arroyo de Los Canjorros-Río Guadalén.

En las Figs. 5.3 y 5.4 se muestra la localización de los afloramientos de la *Formación Caliza Urbana* presentes en la zona estudiada, distinguiendo los presentes en su sector occidental y oriental. Estos afloramientos son:

- Afloramiento I: Cantera La Despreciada;
- Afloramiento II: El Casar-Río Guarrizas;
- Afloramiento III: Puntal Agrio;
- Afloramiento IV: Arroyo de Los Tejos;
- Afloramiento V: La Ballestera;
- Afloramiento VI: Casa de Los Tejos;
- Afloramiento VII: Sierra Ventosa; y
- Afloramiento VIII: Arroyo La Alamedilla.

En general, la *Formación Caliza Urbana* aparece en todos ellos formando cuerpos lenticulares de entre 5 y 40 m de espesor, y variable extensión lateral, que llega a ser de orden kilométrico. Estas relaciones son debidas a la existencia a techo del nivel carbonatado de una discordancia erosiva, que ha eliminado parte de su espesor original. En las Figs. 5.5 y 5.6 se presenta un esquema de correlación estratigráfica de la *Formación Caliza Urbana* entre los diversos afloramientos observados en la zona estudiada.

Litológicamente la Caliza Urbana está constituida por calizas detríticas muy recrystalizadas (calcarenitas), en ocasiones bioclásticas (biocalcarenitas), de color gris a gris-blanco y aspecto para los bancos masivo, en estratos de espesor centimétrico-decimétrico y, localmente, métrico (Lám. I). Las superficies de estratificación son onduladas y definidas por horizontes ricos en granos detríticos de cuarzo, minerales arcillosos o filosilicatos y, en ocasiones, niveles ricos en pirita, magnetita o óxidos de Fe-Mn. En ocasiones se observa estratificación cruzada planar de gran escala, generada por la migración de megaripples, barras de acreción lateral, superficies de reactivación y laminaciones bimodales, producidas éstas por acción de corrientes mareales. En algunos afloramientos, como son el caso de la Cantera de La Despreciada o Sierra Ventosa, se han observado 1-2 m de una facies basal de calizas tableadas, o tramos de unos 4-6 m de espesor de calizas bandeadas por una alternancia de niveles centimétricos claros y oscuros (Lám. I).

SECTOR OCCIDENTAL DE LA ZONA ESTUDIADA (HOJA DE ALDEAQUEMADA)
Localización de los Afloramientos de la Formación Caliza Urbana

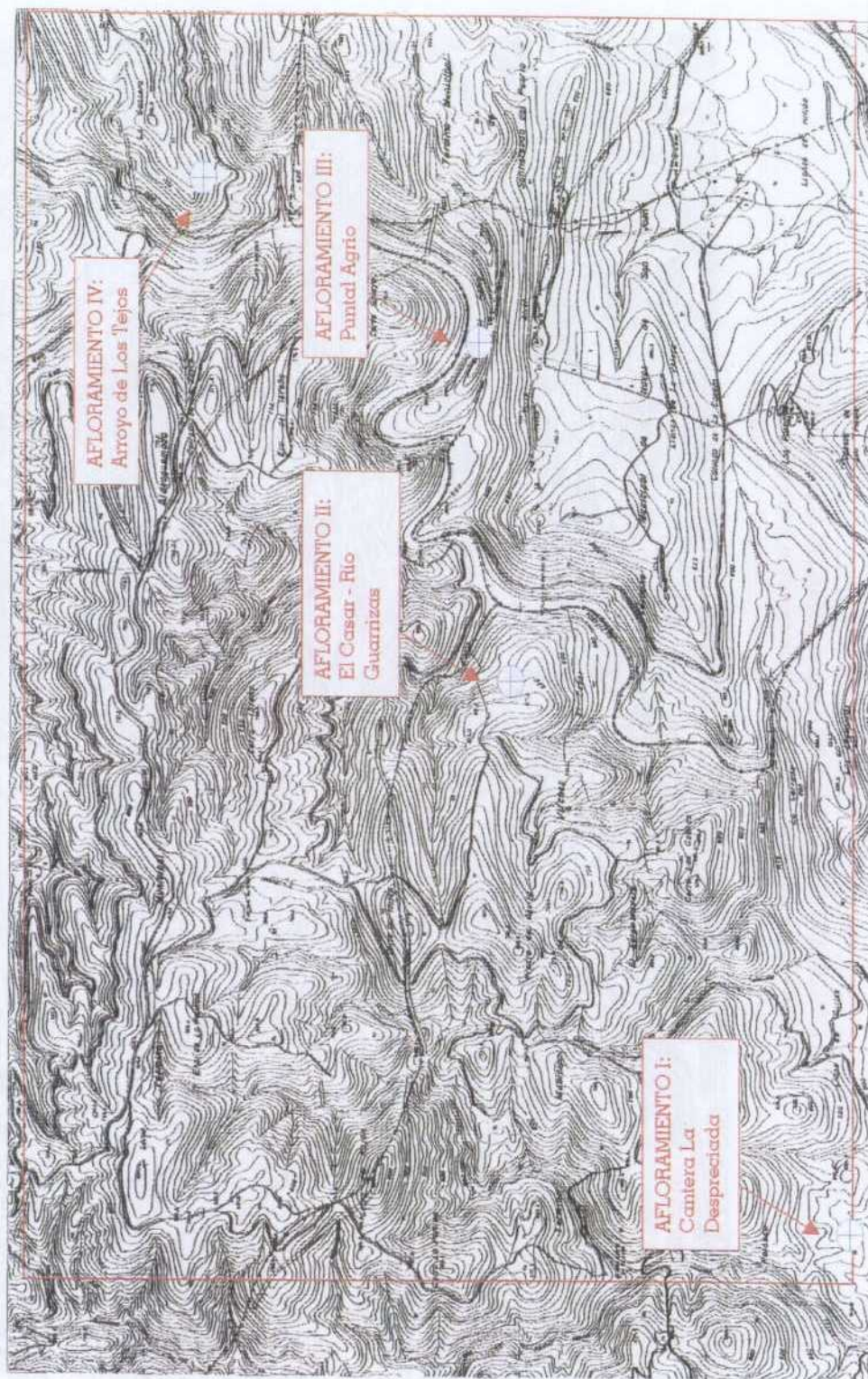


Fig. 5.3. Afloramientos Formación Caliza Urbana.

SECTOR ORIENTAL DE LA ZONA ESTUDIADA (HOJA DE ALDEAQUEMADA)
Localización de los Afloramientos de la Formación Caliza Urbana



Fig. 5.4. Afloramientos Formación Caliza Urbana.

Fig. 5.5. Correlación afloramientos Formación Caliza Urbana.

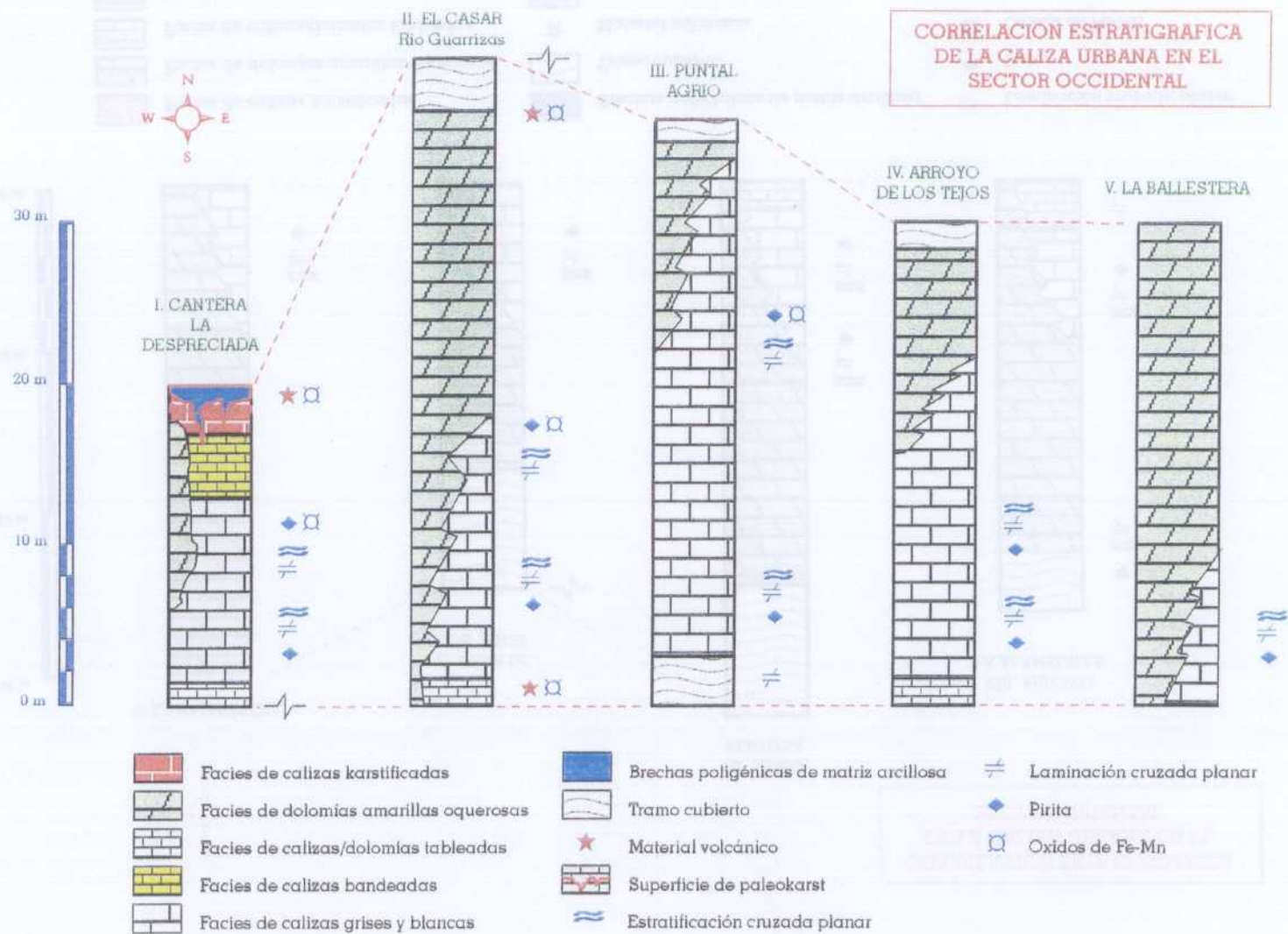
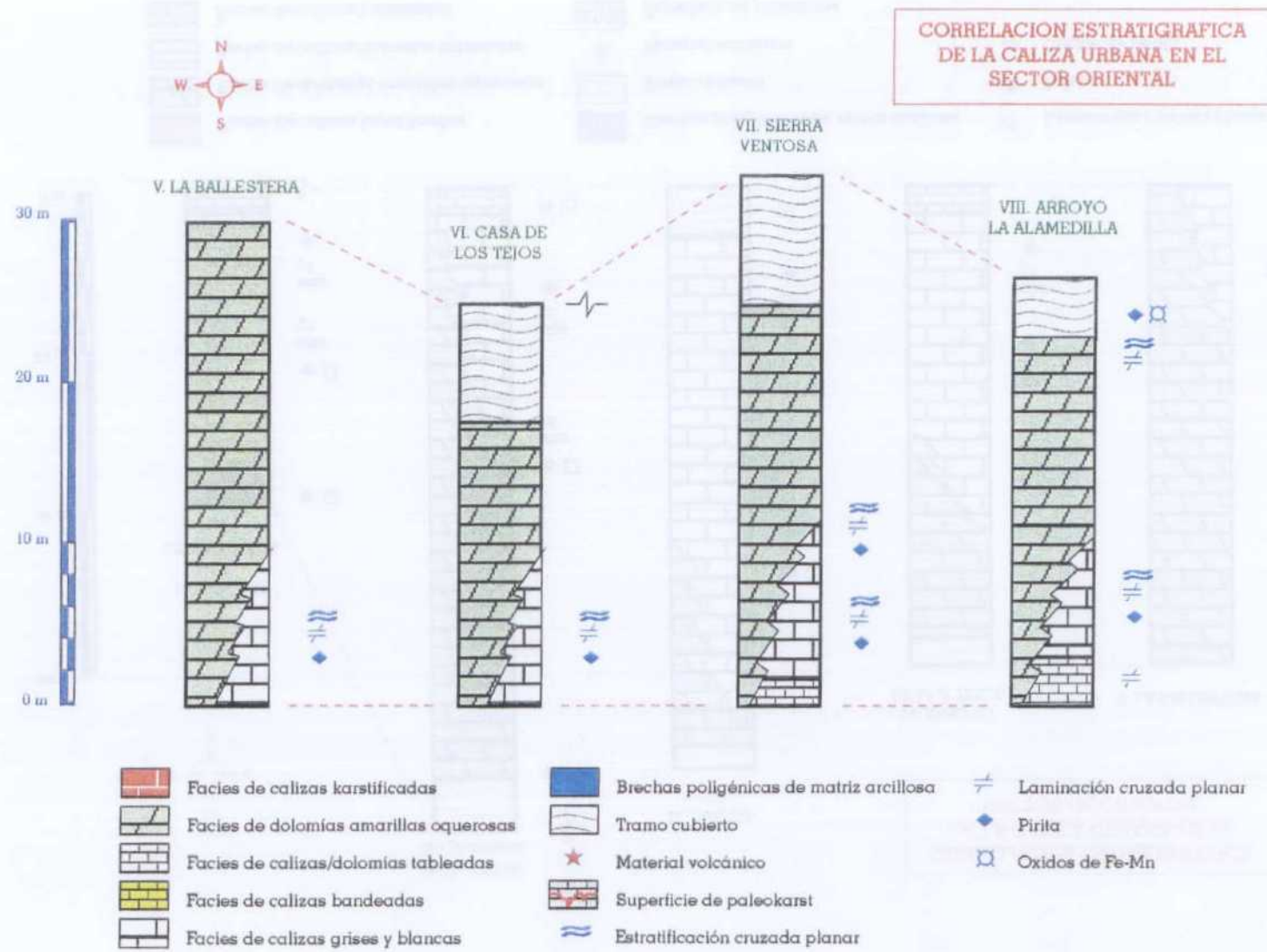


Fig. 5.6. Correlación afloramientos Formación Caliza Urbana.



Lillo et al. (1997) muestran una columna estratigráfica obtenida en la Cantera de La Despreciada, situada en el límite de la Hoja del MTN de Santiesteban del Puerto con la de Aldeaquemada. Estos autores interpretan estos materiales carbonatados fundamentalmente detríticos, como el resultado de la sedimentación en ambientes proximales de una plataforma marina, dominados por las corrientes mareales. En cuanto a su contenido fósil, la *Caliza Urbana* ha proporcionado los conodontos *Sagittodontina robusta* Knüpfer y *Panderodus?* sp., pertenecientes a una asociación característica de la Biozona *Amorphognathus ordovicicus*, muy difundida en el Ashgill pre-Hirnantense de toda Sierra Morena.

De manera muy frecuente aparecen dolomitizadas en grado y extensión variable pudiendo llegar a afectar prácticamente de forma total a todo el nivel carbonatado, como es el caso de los Afloramientos de El Casar-Río Guarrizas, o La Ballestera. En varios sectores, la dolomitización afecta preferentemente los estratos situados estratigráficamente a techo de la serie, aunque se han observado frentes de dolomitización de geometría más irregular, o con un desarrollo vertical, afectando a todos los niveles carbonatados.

La dolomitización da lugar a una transformación mineralógica y textural completa de las calizas, dando lugar a dolomitas calcíticas (50-90% dolomía) y dolomías (90-100% dolomía), de tonos ocre y amarillos, menos frecuentemente rosados, de tamaño de grano medio a grueso (Lám. II). De forma característica, las dolomías presentan bandas oquerosas debido a la creación de huecos durante el proceso, que resultan posteriormente rellenos por agregados de cristales romboidales de dolomía de gran tamaño. Probablemente, la dolomitización estuvo relacionada con el movimiento de fluidos a través de la zona de mezcla de aguas meteóricas y marinas, dentro de la zona freática de la plataforma carbonatada donde tuvo lugar el depósito previo de los carbonatos.

A techo de la *Formación Caliza Urbana* se observa una discontinuidad estratigráfica definida por una superficie de paleokarstificación (Lám. II). La paleokarstificación se relaciona con la emersión de los sedimentos carbonatados, su diagénesis temprana y su disolución en el contacto con aguas meteóricas, que generan una superficie irregular, grietas y huecos. A lo largo de las grietas avanza el karst en profundidad, llegando a afectar los 1-5 m más superficiales aunque de forma muy irregular. Los huecos están rellenos por brechas poligénicas (cantos blandos lutíticos, calizas, dolomías, etc.), material volcánico o volcanosedimentario completamente alterado y lutitas ocre-rojas. El techo está definido por un delgado paleosuelo, en el que se localizan carbonatos laminares (calcretas y caliches), travertinos y óxidos de Fe-Mn.

Por otra parte, se superponen también en las calizas procesos de karstificación subactuales-actuales, ligados a la configuración hidrogeológica más reciente (Láms. III y IV). Estos producen todo un conjunto de formas de disolución de escala decimétrica-métrica y desarrollo principalmente vertical, tales como lapiaz, sumideros, chimeneas, pequeñas dolinas y surgencias, que

pueden ser en ocasiones de mayor entidad y afectar volumétricamente a toda la formación. Aunque volumétricamente poco importantes, se observa también génesis de espeleotemas siguiendo un control estructural, distinguiéndose dos tipos: *flowstones* bandeados de tonos grises y *flowstones* másivos de tonos claros y naranja-amarillentos.

Asociado a la *Formación Caliza Urbana* ha sido descrito un volcanismo contemporáneo en el sector de los Guindos-El Centenillo, en la vecina Hoja de Santa Elena (Henke, 1926, in Tamain, 1970; Pineda, 1987), en la Alameda (Tamain, 1970), al SE de Solana del Pino (Palero, 1993) y en la Hoja de Venta de Los Santos. En la Hoja de Aldeaquemada, estos materiales volcánicos han sido reconocidos a techo del tramo carbonatado en la cantera de la Despreciada y a techo y muro en el afloramiento de El Casar-Río Guarrizas. Sin embargo, en los sectores anteriormente citados, los materiales volcánicos pueden aparecer a techo o incluso sustituir enteramente a la *Caliza Urbana*. Estos materiales son fundamentalmente tobas, tufitas, cineritas y piroclastos, de composición intermedia a ácida.

5.3. CORRELACIÓN ESTRUCTURAL PARA LA FORMACIÓN CALIZA URBANA

5.3.1. Introducción

La Hoja de Aldeaquemada se sitúa en el dominio de los pliegues verticales (Díez Balda et al., 1990) del sector meridional de la Zona Centro-Ibérica (Julivert et al., 1972) (Fig. 5.1). La evolución estructural de este dominio comprende episodios deformativos prehercínicos y fases de deformación hercínicas. Se reconocen además los efectos de episodios de fracturación ligados a la evolución estructural tardi-hercínica y alpina.

La deformación prehercínica se pone de manifiesto por la existencia de, al menos, dos discordancias angulares visibles cartográficamente y a escala de afloramiento: la más antigua separa dos unidades estratigráficas de edad Precámbrico superior: el Alcudiense Inferior y Superior; la más moderna se sitúa entre los materiales del Ordovícico y los del Cámbrico inferior o Precámbrico superior, indistintamente (Bouyx, 1970; IGME, 1983; Ortega y González Lodeiro, 1986; Mc. Dougall et al., 1987; Alvarez Nava et al., 1988; y Díez Balda et al., 1990). Las deformaciones prehercínicas se consideran generadoras de pliegues, fallas, basculamientos y, sólo localmente, esquistosidades débiles no atribuibles a una deformación interna tectónica. Ambas deformaciones son las responsables de la estructura interna del anticlinorio de Alcudia (Palero, 1993).

La deformación hercínica en el área estudiada incluye al menos tres fases de deformación con generación de estructuras propias. La primera fase, F1, produce una deformación interna penetrativa en la secuencia Precámbrica y Paleozoica, que principalmente se materializa con el desarrollo de una esquistosidad S1. Esta deformación se asocia con la formación de pliegues vergentes al S de gran longitud de onda (kilométrica), que llevan asociada la formación de una S1 paralela a su plano axial de diferente desarrollo en función de la litología.

La segunda fase, F2, está asociada en la parte central y meridional de la Zona Centro-Ibérica con pliegues abiertos, frecuentemente homoaxiales con los de la primera fase, así como con zonas de cizalla subverticales y fallas de desgarre de dirección N70°E dextrales y N130°E sinestrales, que doblan a los pliegues de F1 (Ortega, 1988; Díez Balda et al., 1990; Villar et al., 1992). En la parte más meridional de la Zona Centro-Ibérica, esta etapa deformativa produce zonas de cizalla subverticales, pliegues suaves de dirección norteada, inflexiones en la traza de los pliegues de F1 y una interferencia de plegamiento cuya geometría resultante es de domos y cubetas (Ortega, 1988).

La tercera fase, F3, es de carácter frágil y da lugar a grandes abombamientos y fracturas subverticales de movimiento transcurrente. Se reconoce un sistema de desgarres NE-SO a ENE-OSO senestral y un sistema conjugado NO-SE a NNO-SSE dextral. En el área estudiada estos desgarres cortan a las macroestructuras de F1, produciendo desplazamientos horizontales importantes, habiendo sido relacionadas con una etapa de

compresión tardihercínica de dirección aproximadamente N-S (Ortega y González Lodeiro, 1986; Ortega, 1988).

El intervalo de tiempo en que tuvieron lugar estas fases tectónicas queda acotado entre la edad de los materiales más recientes deformados, constituidos por el *Culm* de Pedroches (Viseense-Namuriense inferior), y la de los sedimentos más antiguos no afectados por ellas, que son los de la cuenca hullera de Puertollano (Estefaniense B-C). Mayores precisiones pueden obtenerse a partir de las edades de 302 ± 7 Ma, obtenidas para la intrusión de granitos de sin- a tardi-F2 (Granodiorita de Fontanosas, Ciudad Real; Saupé, 1973, 1990; Escuder Viruete et al., 1995), y de $307 \pm 2/300 \pm 7$ Ma, para la de granitoides post-F1 (Unidad Granodiorítica y Unidad Granítica del Batolito de los Pedroches, respectivamente; Fernández et al., 1990; Cueto et al., 1991). En resumen, estos datos establecen que la F1 tuvo lugar entre el Namuriense superior y el Westfaliense inferior.

La deformación alpina resulta menos patente en la zona estudiada, lo cual es debido tanto a su carácter discontinuo como a su menor intensidad, resolviéndose generalmente con el rejuego frágil de las estructuras hercínicas y tardihercínicas antes descritas. Sin embargo, su desarrollo es claro y está condicionado por la posición estructural que ocupa la zona estudiada, localizada en el antepaís externo del orógeno bético.

En síntesis, las deformaciones alpinas reconocidas en la zona estudiada están relacionadas con dos procesos geológicos de gran escala: (a) la formación y evolución estructural de la Cuenca del Guadalquivir; y (b) la intrusión y extensión del volcanismo de Campos de Calatrava.

La Cuenca del Guadalquivir ha sido interpretada como una cuenca de antepaís respecto al orógeno bético (Sanz de Galdeano y Vera, 1992), individualizada en el Mioceno Medio (Serravaliense), fuertemente subsidente a partir del Tortonense, con implantación de un régimen transcurrente caracterizado por una compresión N-S a NNO-SSE, que pasa a ser de extensión radial a partir del Plioceno inferior. Esta etapa extensional más tardía se manifiesta con la formación y rejuego de fallas NE-SO a ENE-OSO siguiendo un movimiento directo o normal-direccional, con hundimiento del bloque meridional, como es el caso de la Falla del Moro que limita la depresión morfológica de Bailén.

El volcanismo de Campos de Calatrava se inició a finales del Mioceno superior y se prolonga hasta el Pleistoceno (7,7 a 1,4 Ma; K-Ar en micas; Ancochea, 1983; Bonadonna y Villa, 1986). Existen más de 200 puntos de emisión de materiales volcánicos, como los existentes al N de la Hoja de Santa Elena, cuya distribución indica un fuerte control estructural siguiendo la dirección NO-SE. Dicho control ha sido interpretado con la existencia de grandes discontinuidades NO-SE abiertas en la corteza, a favor de las cuales ascendieron los magmas desde su zona de generación. Estas discontinuidades constituirían zonas de extensión local generadas en el antepaís bético, sometido a un campo de compresión general de dirección NO-SE (Cebriá y López-Ruiz, 1995; Vegas y Rincón Calero, 1996). En este contexto, existen

estructuras de dirección NO-SE que funcionan como estructuras extensionales al permutarse los ejes de esfuerzos principales σ_1 y σ_2 , de orientación horizontal N140°-160°E y N60°-70°E, respectivamente (Vegas y Rincón-Calero, 1996; Rincón et al., 1996).

5.3.2. Estudio fotogeológico de la fracturación

Con el fin de reconocer todas las estructuras frágiles presentes en la zona estudiada, se realizó un estudio fotogeológico de los lineamientos en fotos aéreas a las escalas 1:20000 y 1:50000, previo a la elaboración de la cartografía estructural. Estos trabajos permitieron también definir en una primera aproximación los contornos de los afloramientos de *la Formación Caliza Urbana* y de otras unidades litológicas, que fueron utilizados posteriormente en la confección de la cartografía geológica.

5.3.3. Cartografía geológico-estructural a escala 1:10.000

El presente informe contiene los resultados de la cartografía geológico-estructural de la zona estudiada, incluidos en los siguientes mapas:

- Mapa geológico-estructural del sector occidental de la zona estudiada a escala 1:10000 (Anexo 12.1)
- Mapa geológico-estructural del sector oriental de la zona estudiada a escala 1:10000 (Anexo 12.1)
- Panel de cortes geológico-estructurales de la zona estudiada a escala 1:10000 (Anexo 12.1)

En la realización de este estudio se han considerado e integrado todos los datos de la cartografía MAGNA existentes en el Instituto Tecnológico y Geominero de España.

Las diferentes unidades litológicas reconocidas en la zona estudiada se presentan en las cartografías del Anexo 12.1. Estas son:

- Pizarras negras azuladas. *Fm. Esquistos del Río* (unidad 9)
- Pizarras, areniscas y cuarcitas. *Fms. Areniscas de los Rasos y Pizarras Guindo* (unidad 10a y 10b)
- Cuarcitas. *Fm. Cuarcita Botella* (unidad 11)
- Pizarras. *Fm. Pizarras Cantera* (unidad 12a)
- Alternancia de pizarras, areniscas y cuarcitas. *Fm. Bancos Mixtos* (unidad 12b)
- Calizas y dolomías. *Fm. Caliza Urbana* (unidad 12c)
- Pizarras negras grisáceas. *Fm. Pizarras de Chavera* (unidad 13)
- Cuarcitas. *Fm. Cuarcitas de Criadero* (unidad 14)
- Pizarras Ampelíticas (unidad 15)
- Pizarras negras y areniscas (unidad 16)
- Cuarcitas y areniscas. *Fm. Cuarcita de Base* (unidad 17)

Estas unidades están intruidas por diques de diabasas (unidad 1) y por filones de cuarzo y baritina (unidad 2). Se ha cartografiado un haz de filones de baritina en la Fm, Caliza Urbana con extensión métrica-hectométrica, cuya disposición define una banda ENE-OSO de unos 20-30 m de ancho. La orientación de estos diques va de N25°E a N75°E con un buzamiento medio de unos 80°. Su potencia varía desde 0,1 a 4 m.

5.3.4. Levantamiento de perfiles litológico-estructurales 1:10.000

En aquellas transversales que presenten mejores condiciones de afloramiento y con el fin de establecer la geometría en profundidad de la Fm. *Caliza Urbana*, se han realizado cuatro perfiles litológico-estructurales escala 1:5000. Incluidos en la Anexo 12.1, estos perfiles son de dirección N-S, subperpendicular a la macroestructura, atraviesan toda la zona estudiada y, en particular, a los principales afloramientos reconocidos de las calizas.

5.3.5. Análisis estructural del área estudiada

El sector estudiado de la Hoja de Aldeaquemada muestra una relativamente variada secuencia deformativa, que se caracteriza por el desarrollo de estructuras progresivamente más frágiles. Desde las estructuras más antiguas a las más modernas, esta secuencia comprende:

- 1) Estructuras relacionadas con la evolución hercínica.
 - Deformaciones dúctiles de 1ª Fase
 - Deformaciones dúctiles y dúctil-frágiles de 2ª Fase
 - Deformaciones frágiles de 3ª Fase
- 2) Estructuras relacionadas con la evolución alpina.
 - Intrusión de diques básicos de 1ª Fase
 - Deformaciones frágiles de 2ª Fase
 - Deformaciones frágiles de 3ª Fase

En los apartados que siguen a continuación se describen las características geométricas y cinemáticas de cada uno de estos episodios deformativos, para pasar finalmente a plantear un modelo geológico-estructural evolutivo para la zona estudiada.

5.3.5.1. Descripción de las deformaciones dúctiles de 1ª Fase Hercínica (F1)

En el sector estudiado de la Hoja de Aldeaquemada, la F1 hercínica afecta de forma generalizada a todas las litologías, genera la mayoría de las estructuras de plegamiento a todas las escalas y origina la esquistosidad principal S1.

Como se observa en los cortes geológicos incluidos en el Anexo 12.1, la macroestructura general del sector está definida por varios pares anticlinal-

sinclinal asimétricos y de vergencia hacia el S, de flanco normal largo e inverso corto. Entre estas estructuras destacan de N a S: el sinclinal del Eral de La Paulina-Casa de Los Tejos, el anticlinal de Sierra Ventosa y el sinclinal del Castillo de Torre Alver.

La dirección de la traza axial de estas macroestructuras es N110°E, aunque pueden aparecer rotadas a la dirección O-E a NO-SE por efecto de deformaciones posteriores. El buzamiento de sus superficies axiales es generalmente de 40-50° hacia el N, aunque hacia el S los pliegues se verticalizan progresivamente. Lillo et al. (1997) citan la presencia de fallas longitudinales a la dirección de los pliegues, de generación algo tardía respecto a ellos. Estas fracturas presentan un alto ángulo de buzamiento y un movimiento inverso, con elevación del bloque septentrional. En la zona estudiada estas estructuras han sido observadas en el contacto entre la Fm. Cuarcita Botella y el conjunto de pizarras y areniscas del Ordovícico superior. Se trata de pequeñas fallas inversas de alto ángulo, con una componente de desgarre senestro, así como superficies de deslizamiento de capa sobre capa en las que se han desarrollado estrías y acanaladuras de dirección N10°E.

Las mesoestructuras observadas son una esquistosidad S1 primaria, pliegues asimétricos D1 y una lineación de intersección L1 entre la S1 y la estratificación (Lám. III). En los estereogramas de las Figs. 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10, se ha representado la orientación de todas estas estructuras en dos dominios estructurales en que se ha dividido la zona estudiada: el oriental y el occidental. Como se observa en la Fig. 5.8-a, los polos de los planos de la estratificación medidos en el dominio occidental se ajustan con un plano cuyo polo presenta una orientación N114°E e inmersión de 8° al E, que coincide con la orientación de los pliegues a gran escala y sugiere un plegamiento de tipo cilíndrico por *buckling* a gran escala.

En las Figs. 5.8-b y 5.9-b se observa como los ejes de pliegues D1 y la lineación de intersección L1 presentan también una orientación ONO-ESE y ángulos bajos de inmersión al E, tanto en el dominio oriental como el occidental. La esquistosidad S1 es un clivaje pizarroso en las litologías metapelíticas y una esquistosidad grosera y en dominios en los materiales metaareniscosos. En la proyección estereográfica se han representado también los polos de la S1, cuyos planos presentan una orientación ONO-ESE a O-E y ángulos de buzamiento al N generalmente medios, aunque existe una dispersión debida a la difracción que experimenta la S1 al atravesar diferentes litologías. El buzamiento al N de la S1, la asimetría de los pliegues D1 a todas las escalas y su vergencia al S, indican una componente de cizalla simple dirigida al S durante el plegamiento a gran escala de F1.

Esta componente de cizalla simple se expresa también a la meso y microescala con la presencia de fábricas S-C miloníticas y filonitas de disposición subhorizontal o con buzamientos bajos al N, desarrolladas en materiales pizarrosos y localizadas a lo largo de bandas de espesor métrico. Su asimetría establece un sentido de cizalla inverso de techo hacia el S. La deformación por cizalla simple causaría también las fallas inversas de alto

ángulo y los pequeños cabalgamientos longitudinales a los pliegues de gran escala D1, en un estadio avanzado de la deformación F1.

En la Fig. 5.9-a se muestra la orientación de los polos de la estratificación medidos en el sector oriental, así como el polo medio obtenido correspondiente con un eje de plegamiento para la F1. Como se observa en la figura la dirección de plegamiento es también ONO-ESE para este sector, pero la inmersión es aquí de sentido contrario al ONO. Las direcciones contrarias de inmersión obtenidas para ambos dominios explican los grandes cierres periclinales que muestra al O y E la gran macroestructura sinclinal en la que se localiza la zona estudiada.

5.3.5.2. Descripción de las deformaciones dúctiles y dúctil-frágiles de 2ª Fase Hercínica (F2)

Con posterioridad, la zona estudiada fue deformada por un sistema de zonas de cizalla discretas dúctil-frágiles a frágiles que cortan a las estructuras de F1 anteriormente descritas. Estas zonas de cizalla son subverticales y se agrupan en dos familias conjugadas que presentan una dirección NO-SE a ONO-ESE, para la familia principal senestral, y NE-SO a ENE-OSO, para la menos desarrollada dextral. El ángulo de *pitch* o cabeceo del vector de movimiento asociado a sus planos es bajo, por lo que pueden ser clasificadas como desgarres.

A la mesoescala estas zonas de cizalla están formadas por rocas cataclasitas más o menos foliadas y brechas de falla, que pueden estar estructuradas siguiendo un único plano principal o a lo largo de una banda de anchura decimétrica-métrica. Las bandas están definidas por dos superficies de falla onduladas o irregulares entre las que aparecen fracturas secundarias *en échelon*, a bajo y alto ángulo con respecto a los bordes, que se combinan y anastomosan de forma compleja. Estas fracturas secundarias son análogas a los tipos R y T clásicos definidos por Riedel (Petit, 1987). Las superficies de fractura individuales presentan una geometría variada que oscila entre plana o sinusoidal a irregular.

En la proyección estereográfica de la Fig. 5.10-a se ha representado la orientación de los planos de estas zonas de cizalla transcurrentes, medidos en varias estaciones localizadas dentro de la zona estudiada. Aunque pueden existir también en la misma estación fallas generadas en otras etapas de fracturación, los estereogramas se caracterizan por presentar dos familias de fallas que constituyen un sistema o par conjugado. En las figuras, se expresa también el sentido de movimiento relativo entre bloques de la estructura (senestral y dextral), el cual fue deducido a partir de la aplicación en el afloramiento de un conjunto variado de indicadores cinemáticos.

Si relacionamos la orientación de cada familia de cizallas del par conjugado con el sentido de movimiento, resulta que la familia de dirección ESE-ONO a SE-NO es senestral y la NE-SO a ENE-OSO dextral, en todos los casos estudiados. La aplicación del criterio del diedro mínimo en estos casos

permite definir semicuantitativamente el eje de acortamiento (Fig. 5.10-a). Este se sitúa en todos los casos según una dirección de E-O a OSO-ENE, en la bisectriz del ángulo agudo que forman las dos fallas de cada sistema más próximas entre sí.

Esta dirección de acortamiento general E-O subhorizontal y la disposición perpendicular de la dirección de estiramiento (en un régimen de desgarres σ_2 adopta una orientación subvertical), permiten establecer el estado de esfuerzos responsable de esta etapa de formación de desgarres. Esta dirección de compresión E-O viene a coincidir con la establecida regionalmente por Ortega y González Lodeiro (1986) para la F2 tectónica regional hercínica, por lo que este sistema de zonas de cizalla discretas dúctil-frágiles y frágiles se interpreta generado en relación a dicho episodio deformativo.

Lillo et al. (1997) describen otros efectos regionales de la F2, consistentes en un suave plegamiento de dirección subperpendicular al de la F1, que produce interferencias de plegamiento en domos y cubetas. Aunque en la Hoja de Aldequemada no se han reconocido estas estructuras de superposición de plegamiento, los cambios de dirección que presenta cartográficamente la S1 y la traza de las superficies axiales D1, son relacionados con el acortamiento O-E de esta fase.

5.3.5.3. Descripción de las deformaciones frágiles de 3ª Fase Hercínica (F3)

Las estructuras generadas durante la F3 Hercínica incluyen un sistema de desgarres conjugados frágiles y un grupo de filones de cuarzo con mineralizaciones de baritina y, en ocasiones, apatito, calcita y óxidos de Fe.

Los desgarres frágiles consisten en zonas de deformación de anchura decimétrica-métrica y longitud hectométrica-kilométrica, en el interior de las cuales se localizan superficies de desgarre individuales y un gran número fracturas y diaclasas de menor magnitud. Geométricamente, los desgarres de esta Etapa son subverticales y agrupables en dos familias conjugadas de desarrollo desigual (Fig. 5.7-b): una principal ENE-OSO a NE-SO sinistral y otra subordinada NNO-SSE a N-S dextral. Cartográficamente pueden definir sistemas *en-échelon*. Los desgarres se caracterizan por rocas de falla cataclásticas y brechas más o menos foliadas, que pueden aparecer estructuradas siguiendo un único plano de falla principal o a lo largo de una banda de anchura centimétrica-decimétrica. Se han encontrado también rellenos de un material arcilloso incohesivo.

La familia NE-SO sinistral y la NNO-SSE a N-S dextral permiten situar en la bisectriz del ángulo que forman mediante el criterio del diedro mínimo la dirección del esfuerzo σ_1 durante la F3. Este se sitúa aproximadamente según una dirección subhorizontal NNE-SSO, perpendicular a la dirección ONO-ESE del esfuerzo σ_3 . El σ_2 se dispone subvertical, como es característico de un régimen de desgarre.

El siguiente grupo de estructuras formadas durante la F3 es un conjunto de diques y filones rellenos de cuarzo, sulfuros (Pb-Zn) baritina, apatito, carbonatos (calcita, ankerita, dolomía) y óxidos de Fe (goetita, hematites, limonita). Generalmente, estas estructuras se localizan a lo largo de las zonas de desgarre frágiles NNE-SSO a ENE-OSO anteriormente descritas y presentan los hastiales fracturados, por lo que se deben relacionar con los primeros estadios del mismo episodio deformativo regional. Los rellenos de los diques es zonado y está compuesto principalmente por cuarzo de varios tipos texturales (masivo, drúsico), agregados de baritina y calcita masiva o finamente bandeada, en ocasiones de tipo geopetal (Lám. IV-a y b). Estos minerales se organizan formando una secuencia que puede repetirse cíclicamente. Su potencia es de centimétrica a métrica, habiendo llegado incluso a ser objeto de explotación en varios puntos. Destacan las pequeñas labores abiertas en el sector oriental de la Piedra del Aguila, donde existen filones de potencia métrica formados exclusivamente por agregados hojosos y rosetas de baritina en su zona central y encajados en la Caliza Urbana (Lám. V-a y b). Las alteraciones observadas consisten en el desarrollo de silicificación, sericitización y cloritización, limitada a la zona deformada en los hastiales del dique.

En el diagrama de frecuencias de la Fig. 5.7-a se representan las orientaciones de los filones de baritina incluidos de esta etapa deformativa. Por encima de frecuencias mayores al 5% se observan dos familias principales: una familia NNE-SSO a NE-SO y otra familia ENE-OSO. Aparece también una familia de orientación ONO-ESE con frecuencias del 10%. Como se observa en la proyección estereográfica de la Fig. 7-c, la dirección predominante de los diques y filones de cuarzo y baritina de esta etapa es aproximadamente NNE-SSO, consistente con la apertura de grietas paralelamente a la dirección del esfuerzo σ_1 durante la F3. En el sector oriental de la Piedra del Aguila, se observa una disposición en relevo para los filones de baritina de dirección N30°E a N60°E, compatibles con un cizallamiento senestro de dirección ENE-OSO durante esta fase.

5.3.5.4. Estructuras relacionadas con la evolución alpina: Intrusión de diques básicos de 1ª Fase.

En el sector estudiado de la Hoja de Aldeaquemada, se reconocen tres tipos distintos de estructuras alpinas que se asignan respectivamente a tres fases deformativas, los cuales son: alineaciones de diques básicos (F1), un sistema de desgarres frágiles conjugados (F2) y fallas tardías de movimiento esencialmente normal (F3).

Las estructuras asignadas a la evolución alpina durante F1 son un grupo de intrusiones de composición básica (diabasas), que aparecen formando diques subverticales alineados siguiendo la dirección N-S a NNE-SSO. Presentan un desarrollo espacial preferente en el sector occidental de la zona estudiada, donde forman diques de gran longitud organizados en ocasiones según un relevo sinistral, cortando a toda la estructuración hercínica previa. Se trata de rocas granudas de color verde oscuro, de grano fino-medio e

inequigranulares, compuestas por plagioclasa, augita, anfíbol hornbléndico y serpentina, de afinidad geoquímica alcalina (Gumiel, 1983). Frecuentemente, aparecen completamente transformados por alteración a un agregado marrón oscuro de minerales arcillosos y carbonatos.

Como se observa en la proyección estereográfica de la Fig. 7-c, presentan buzamientos mayores de 75° tanto al O como al E y una dirección NNE-SSO a N-S bastante constante. La potencia oscila de 1-15 m y su continuidad lateral, establecida mediante observaciones en el campo y foto-aérea, es de varios kilómetros.

La disposición de los diques de diabasa es consistente con un fase deformativa extensional, en la que σ_3 se dispondría siguiendo una dirección ONO-ESE a N-S y σ_2 subvertical. Por sus características geoquímicas y estructurales se correlacionan con el Dique Básico de Alentejo-Plasencia, de edad Jurásico Medio (García de Figuerola et al., 1974), así como con otros campos filonianos de rocas básicas alcalinas que intruyeron en el límite Triásico-Jurásico (Villaseca et al., 1992).

5.3.5.5. Estructuras relacionadas con la evolución alpina: Deformaciones frágiles de 2ª Fase.

Los desgarres frágiles generados durante esta 2ª Fase son subverticales y geoméricamente agrupables en dos familias conjugadas de desigual desarrollo (Figs. 5.7-b y 5.10-b). La familia principal es sinextral y de dirección ENE-OSO a NE-SO (Familia A); la subordinada dextral presenta una orientación de NNE-SSO a N-S y NNO-SSE (Familia B). La orientación NNE-SSO a N-S es también la de gran parte de los diques de cuarzo y diabásicos formados en etapas anteriores, por lo que resulta muy frecuente su rejuego según un movimiento dextral durante esta fase.

Los desgarres frágiles junto con las estructuras previas reactivadas son geoméricamente compatibles con un régimen tectónico durante la F2 de desgarre sinistro, de dirección ENE-OSO y escala kilométrica. Las principales características del sistema de desgarres son:

- Con la formación del sistema de desgarre se reactivan y generan fallas de dirección ENE-OSO y movimiento sinistro (Familia A). Esta dirección se orienta aproximadamente a unos 45° de la esfuerzo máximo subhorizontal σ_1 , de dirección aproximada NNE-SSO.
- Se observan también dos direcciones en el sistema de desgarres: una NO-SE sinistral y otra NNE-SSO a N-S dextral (Familia B). Por analogía con las cizallas Riedel, la primera de ellas se corresponde con los planos R_1 sintéticos y la segunda con los R_2 antitéticos.
- Las fracturas senestras de dirección ONO-ESE (Familia C) presentes localmente se pueden relacionar con planos P sintéticos al movimiento general.

- Desde un punto de vista dinámico, la bisectriz del ángulo agudo definido por los dos sistemas de desgarres conjugados (familias A y B), se corresponde con la dirección del esfuerzo σ_1 , que se sitúa según una dirección subhorizontal NNE-SSO a NE-SO. El σ_3 se orienta en la dirección perpendicular ESE-ONO a NO-SE y el σ_2 subvertical, como es característico en un régimen de desgarres.
- A escala de afloramiento, los desgarres de esta Etapa están definidos por superficies de falla discretas o, más frecuentemente, por zonas de falla con abundantes fracturas y fallas de pequeño tamaño cuyo desplazamiento suele ser de orden decimétrico-métrico. El espesor de estas zonas de falla puede variar entre 0,1 y 10 m, aunque dominan las zonas de falla estrechas (<0.5 m). Como rocas de falla aparecen brechas constituidas por fragmentos estriados inmersos en una matriz rica en minerales arcillosos y material incohesivo de grano muy fino.

5.3.5.6. Estructuras relacionadas con la evolución alpina: Deformaciones frágiles de 3ª Fase.

Durante la 3ª Fase deformativa y como consecuencia de la evolución más reciente del campo de esfuerzos, en la zona estudiada se desarrolló un conjunto nuevo de fallas normales, o se reactivan otras preexistentes, todas ellas relacionables con una tectónica tardía de tipo extensional. Estas fallas normales tardías son importantes desde un punto de vista morfogénico, ya que han controlado el desarrollo de parte del relieve actual y la implantación de la red de drenaje.

En el sector estudiado, las fallas de F3 son extensionales, de alto ángulo y agrupables en dos familias conjugadas de desarrollo bastante similar. La orientación de ambas familias es ENE-OSO a NE-SO, presentando buzamientos contrarios al NO y SE. Parte de estas fallas son heredadas, resultado del rejuego normal de los desgarres conjugados de la anterior Etapa (Familias A y B, principalmente). La dirección de movimiento es fundamentalmente normal y el desplazamiento observado de orden decimétrico-métrico, aunque en las fracturas de mayor longitud debe ser de orden métrico-decamétrico.

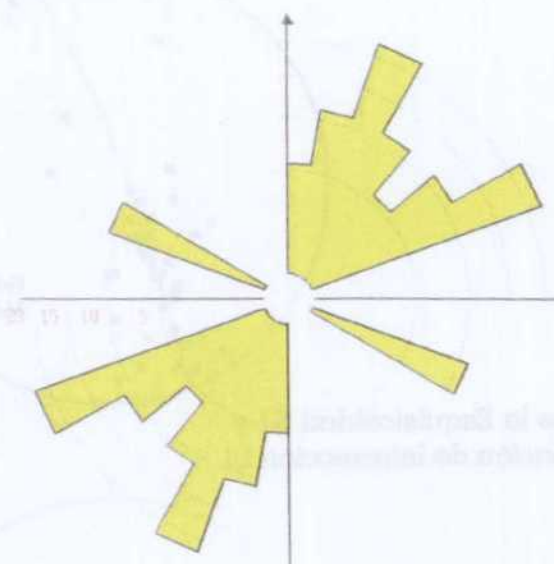
Las rocas de falla son brechas poco o nada foliadas, microbrechas, cataclasitas (poco abundantes) y harinas de falla de tonos claros, que pueden aparecer a lo largo de una única superficie principal, o en el interior de bandas de fracturación de espesor centimétrico-decimétrico.

(páginas siguientes)

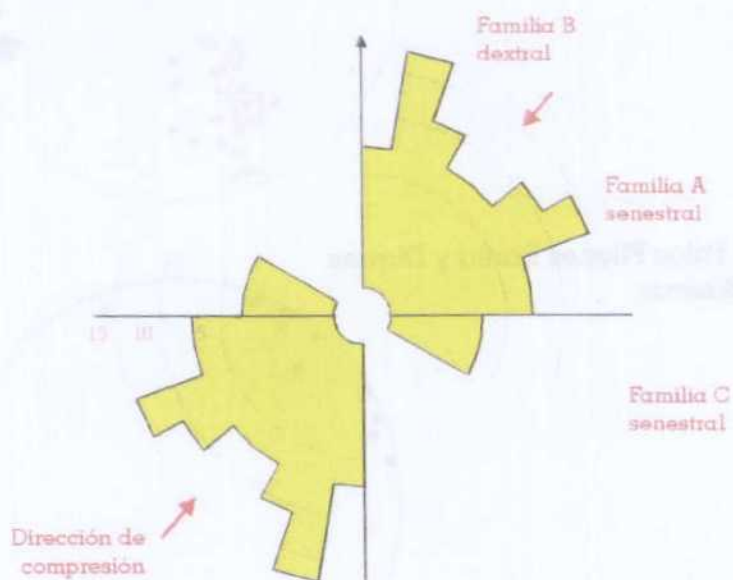
Figs. 5.7., 5.8., 5.9. y 5.10. Datos estructurales del área estudiada.

SECTOR OCCIDENTAL: Datos Estructurales

a) Diagrama de Frecuencia de la Orientación de Filones de Barita y Diques Básicos

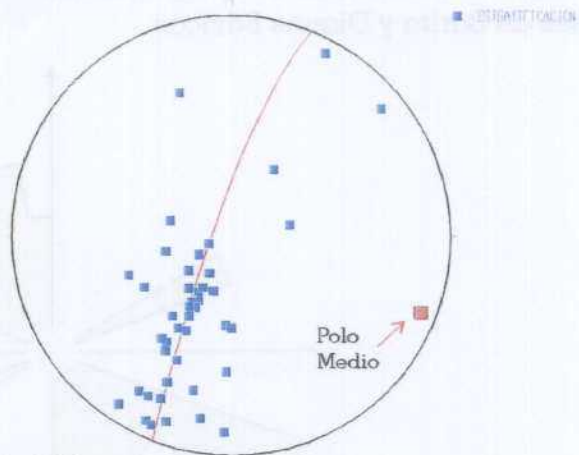


b) Diagrama de Frecuencia de la Orientación de Fracturas

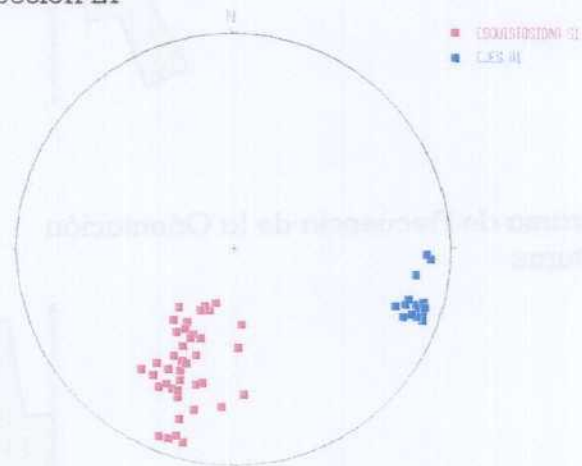


SECTOR OCCIDENTAL: Datos Estructurales

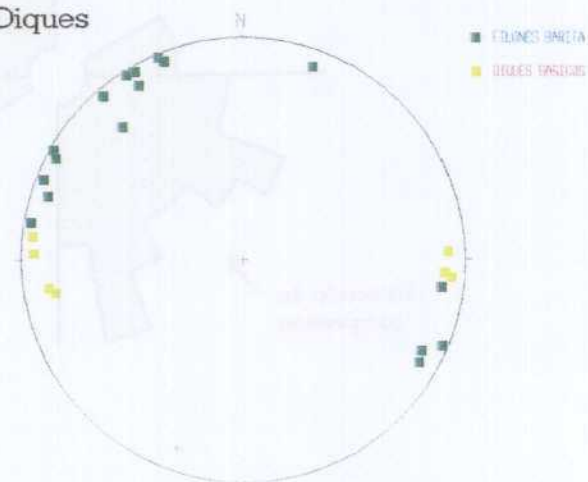
a) Polos de Planos de Estratificación



b) Polos de la Esquistosidad S1 y de la Lineación de Intersección L1

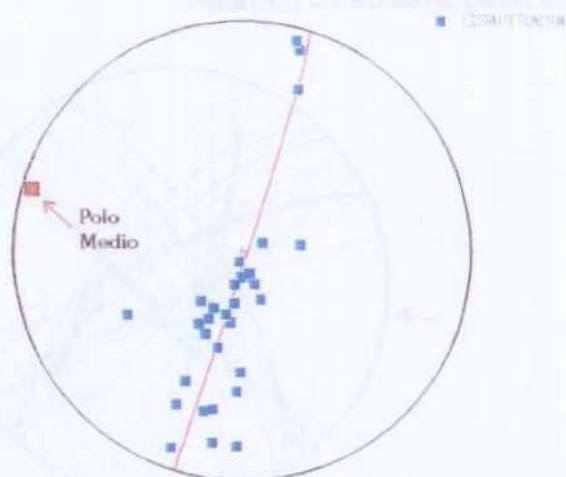


c) Polos Filones Barita y Diques Básicos

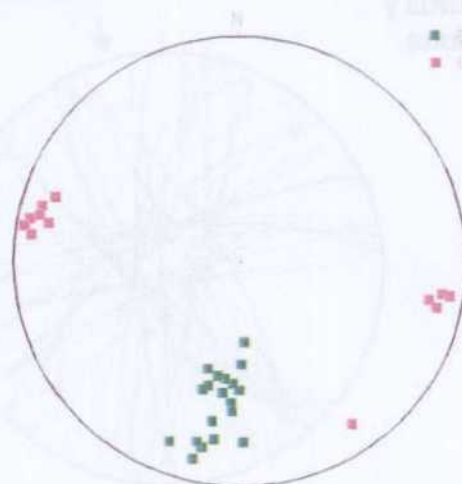


SECTOR ORIENTAL: Datos Estructurales

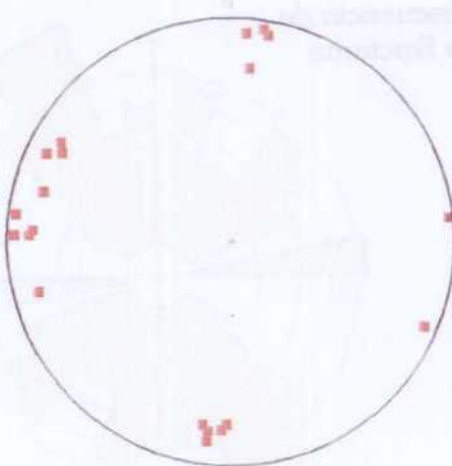
a) Polos de Planos de Estratificación



b) Polos de la Esquistosidad S1 y de la Lineación de Intersección L1

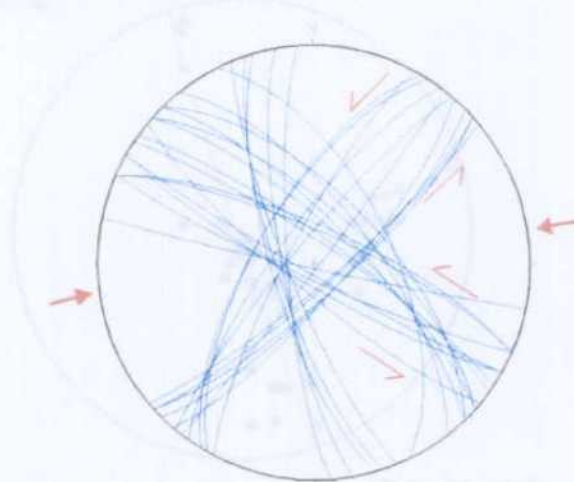


c) Venas de calcita

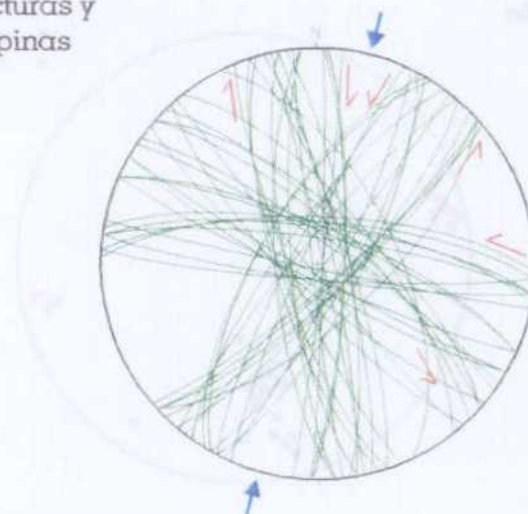


SECTOR ORIENTAL: Datos Estructurales

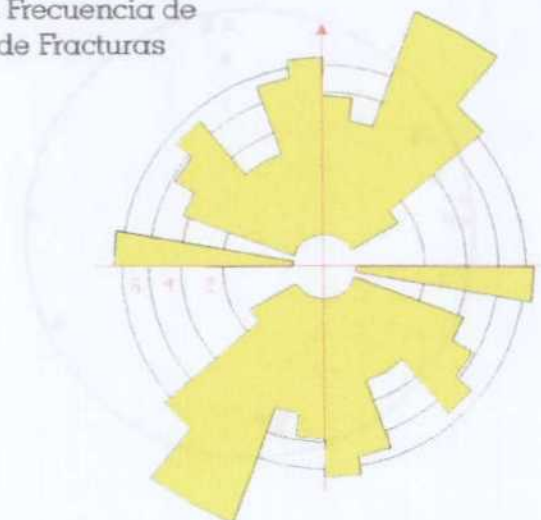
a) Planos de Desgarres de F2 hercínica



b) Planos de fracturas y cizallas de F2 alpinas



c) Diagrama de Frecuencia de la Orientación de Fracturas



5.3.6. Descripción de los afloramientos sondeados de la Formación Caliza Urbana

5.3.6.1. Características estructurales de los Afloramientos

En las Figs. 5.3. y 5.4. se muestra la localización de los afloramientos de la *Formación Caliza Urbana* presentes en el sector occidental y oriental de la zona estudiada. Estos afloramientos son:

- Afloramiento I: Cantera La Despreciada;
- Afloramiento II: El Casar-Río Guarrizas;
- Afloramiento III: Puntal Agrio;
- Afloramiento IV: Arroyo de Los Tejos;
- Afloramiento V: La Ballestera;
- Afloramiento VI: Casa de Los Tejos;
- Afloramiento VII: Sierra Ventosa; y
- Afloramiento VIII: Arroyo La Alamedilla.

En la descripción estructural de los afloramientos que sigue a continuación se presenta, para cada uno de ellos: un corte geológico con indicación de la macroestructura; las proyecciones estereográficas de los elementos estructurales medidos, incluyendo la orientación de mesoestructuras tales como la esquistosidad S1, pliegues, diaclasas, etc.; diagramas de frecuencia de orientación de diaclasas y discontinuidades; la información obtenida en las estaciones del estudio geomecánico; y una estimación del Índice de Fracturación.

El Índice de Fracturación utilizado en el presente trabajo es el número de discontinuidades estructurales existentes por unidad de longitud. Estos índices fueron obtenidos generalmente en dos perfiles perpendiculares a los sistemas de fracturación dominantes en cada estación. El número de discontinuidades medidas en cada perfil oscila entre 10 y 35, y su longitud fue generalmente superior a los 20m. El valor del índice de fracturación asignado a la estación es la media aritmética de los índices obtenidos en cada perfil longitudinal. Los valores de los índices obtenidos en cada perfil y el valor medio para cada estación, quedan incluidos en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Índice de Fracturación obtenido en las estaciones.						
Estación	Litología	Dir. P.1	IF-1	Dir. P.2	IF-2	IF-Total
I	Calizas	290	0,37	-	-	0,37
II-b	Dolomías	30	1,17	120	1,05	1,11
III	Calizas	120	0,38	-	-	0,38
IV	Calizas	160	0,55	270	1,91	1,23
V	Dolomías	200	1,18	-	-	1,18
VII	Dolomías	170	0,37	80	0,48	0,61
VIII	Dolomías	100	1,02	190	0,88	0,94

5.3.6.2. Afloramiento I: Cantera La Despreciada

El afloramiento de la *Formación Caliza Urbana* en la Cantera La Despreciada está localizado en el extremo SO de la zona estudiada (Fig. 5.3), localizado ya en el límite entre las Hojas del MTN de Aldeaquemada y Santiesteban del Puerto. Se trata de un nivel carbonatado de unos 20 m de potencia que aflora en el flanco meridional de una estructura anticlinal de F1, asimétrica y de plano axial subvertical o buzando un alto ángulo al N (Anexo 12.1). El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 5.11.

Los elementos estructurales medidos en la cantera se muestran en las proyecciones estereográficas de la Fig. 5.12-a, b y c. La orientación de la estratificación, S0, medida es O-E a ONO-ESE, con ángulos de buzamiento bajos (entre 0° y 30°) al S. La esquistosidad S1 presenta una orientación ONO-ESE y se dispone subvertical o buzando ángulos medios (entre 30° y 60°) al N. Los ejes de pliegues D1 menores y la lineación de intersección entre S0 y S1, muestran una orientación ONO-ESE y ángulos de inmersión en general muy bajos (menores de 10°) al E.

En la Fig. 5.12-b se ha representado la orientación del conjunto de planos de discontinuidad (estratificación y fracturación) presentes en la Cantera de La Despreciada. El diagrama de la Fig. 5.12-c muestra la frecuencia en la orientación de dichas discontinuidades, pudiéndose distinguir dos familias conjugadas de orientación NNE-SSO a NE-SO y O-E a ONO-ESE, respectivamente.

El Índice de Fracturación obtenido a lo largo de un único perfil de orientación N290°E es de 0,37 (Tabla 5.1), indicativo de una densidad de fracturación baja en la estación. Para las dos familias de discontinuidades O-E a ONO-ESE y NNE-SSO a NE-SO presentes, los espaciados más frecuentes (>40%) son entre 1 y 2,5 m, aunque se reconocen también frecuencias altas (>20%) para los espaciados de 0-1 m y 2,5-6,25 m (Fig. 5.26).

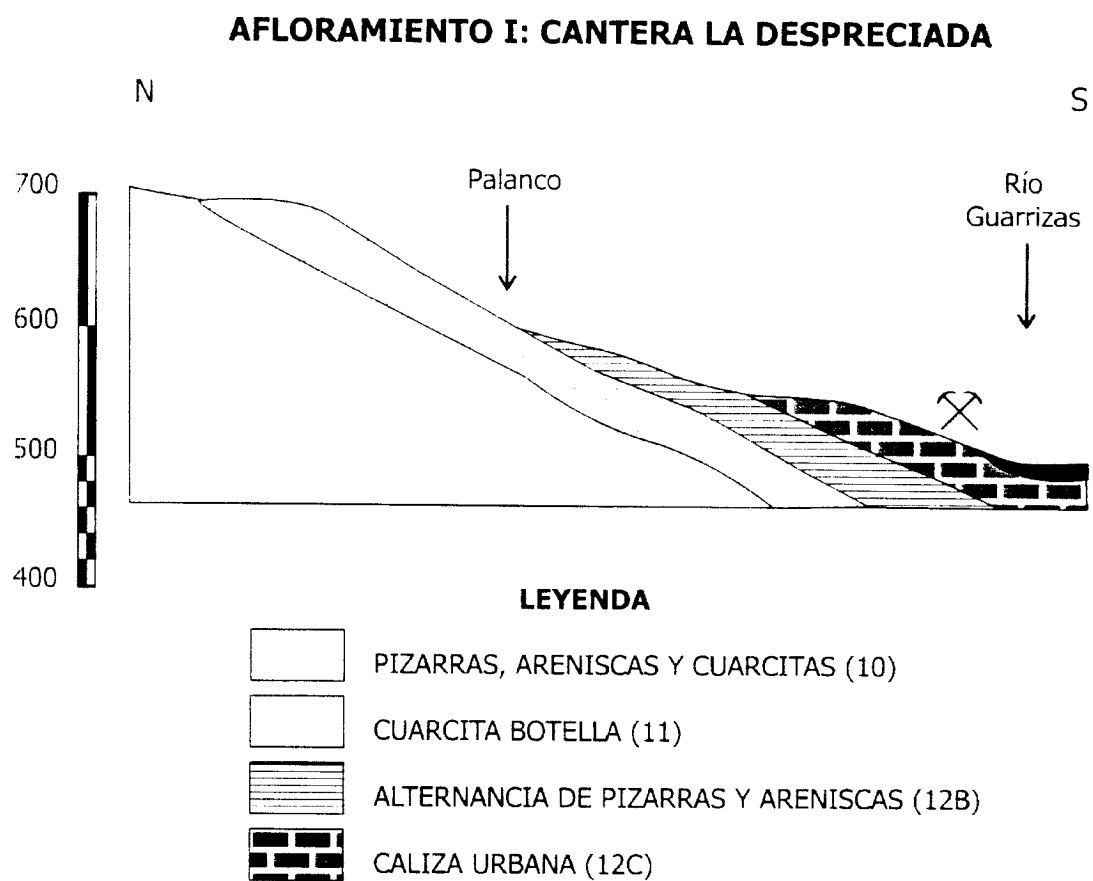
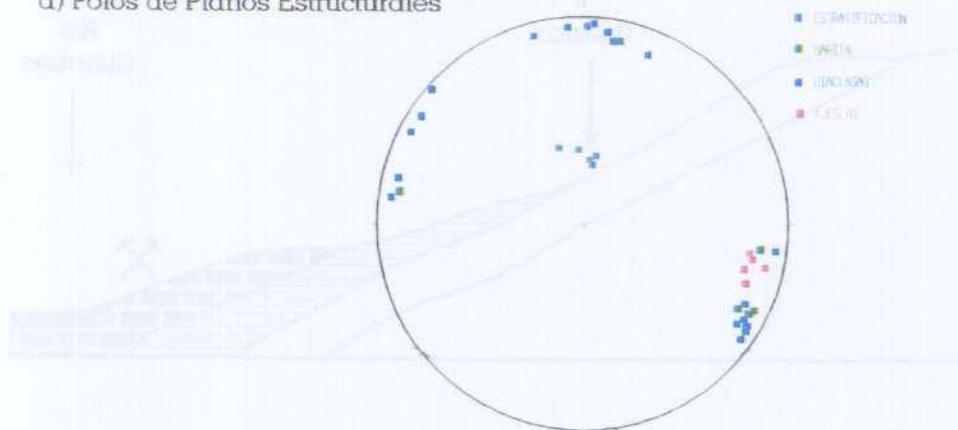


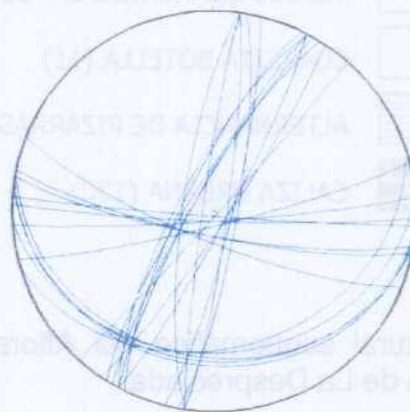
Fig. 5.11. Corte estructural esquemático del Afloramiento de la Fm. Caliza Urbana I, Cantera de La Despreciada.

AFLORAMIENTO I: Cantera de La Despreciada

a) Polos de Planos Estructurales



b) Planos de Discontinuidad



c) Orientación de Discontinuidades

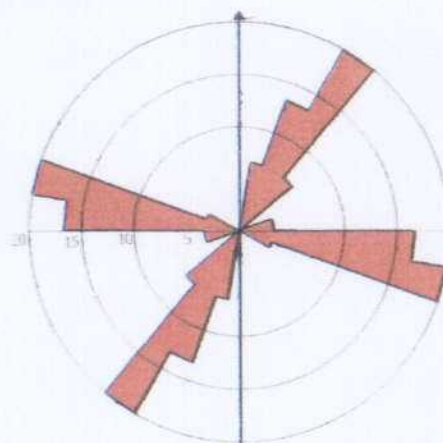


Fig. 5.12. Proyecciones estereográficas correspondientes al Afloramiento I, Cantera de La Despreciada.

5.3.6.3. Afloramiento II: Sinclinal de El Casar-Río Guarrizas

En la zona estudiada, la mayor extensión de afloramiento de la *Formación Caliza Urbana* es el localizado en el sector de El Casar-Río Guarrizas. Las Láminas VI y VII muestran una vista panorámica del afloramiento desde el NO y SE, respectivamente. Este afloramiento se sitúa en el área central del sector occidental (Fig. 5.3), localizado en el término municipal de la localidad de Vilches. La potencia del nivel carbonatado de unos 35-40 m, aflorando en el núcleo de un par de pliegues sinclinal-anticlinal de F1, vergentes al S y de flanco septentrional verticalizado e incluso ligeramente invertido (Figs. Anexas I y III). El plano axial de las estructuras se dispone buzando un ángulo medio al N. El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 5.13.

Los elementos estructurales fueron medidos en dos estaciones: II-a y II-b (Fig. 5.14-a, b, c y d), correspondientes a las zonas de charnela D1 que forman el afloramiento, situadas. En la estación II-a la estratificación muestra una orientación ONO-ESE y ángulos medios-bajos de buzamiento al S, lo cual es consistente con su ubicación en el flanco normal del sinclinal de F1 septentrional. Las discontinuidades definen una única familia de orientación general NNE-SSO, aunque se observa una cierta dispersión en ella.

En la estación II-b, la estratificación se dispone con una orientación ONO-ESE y ángulos de buzamiento muy altos al N, como corresponde con su situación en el flanco inverso del anticlinal de F1 meridional. Las discontinuidades que aparecen en este sector definen dos familias ENE-OSO y ONO-ESE de desigual desarrollo (Fig. 5.14-d).

El Índice de Fracturación medido a lo largo de perfiles de orientación N30°E y N120°E es de 1,17 y 1,05, respectivamente (Tabla 5.1), obteniéndose un valor medio de 1,11 para la estación correspondiente a una densidad de fracturación media-alta. Los espaciados más frecuentes son entre 0 y 1 m, superiores al 60%, aunque se reconocen frecuencias altas (>30%) para los espaciados entre 1-2,5 m (Fig. 5.27).

AFLORAMIENTO II: EL CASAR-RIO GUARRIZAS

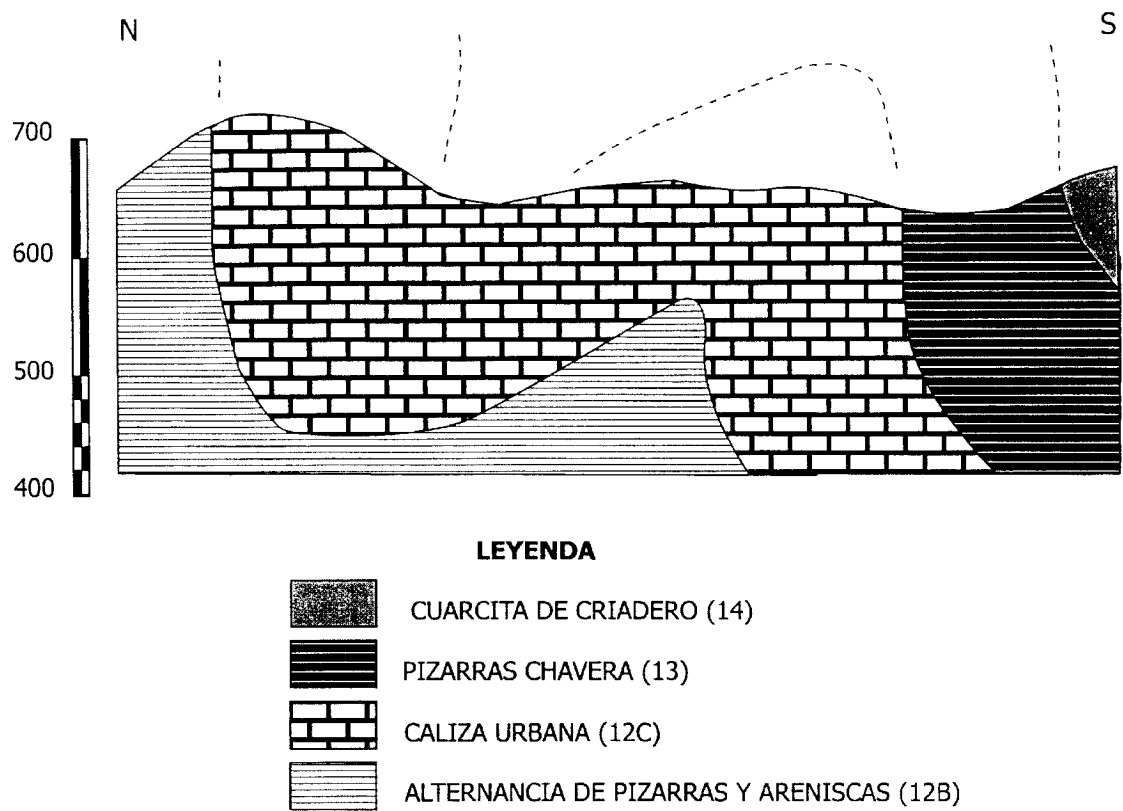


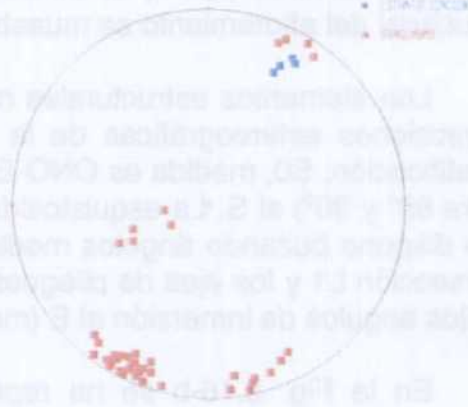
Fig. 5.13. Corte estructural esquemático del Afloramiento de la Fm. Caliza Urbana II, Sinclinal de El Casar-Río Guarritzas.

AFLORAMIENTO II: Sinclinal de El Casar-Rio Guarizas

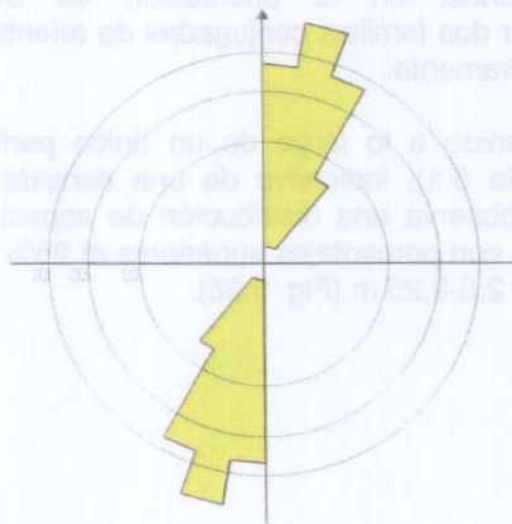
a) Estación II-a:
Polos de Planos Estructurales



c) Estación II-b:
Polos de Planos Estructurales



b) Estación II-a:
Orientación de Discontinuidades



d) Estación II-b:
Orientación de Discontinuidades

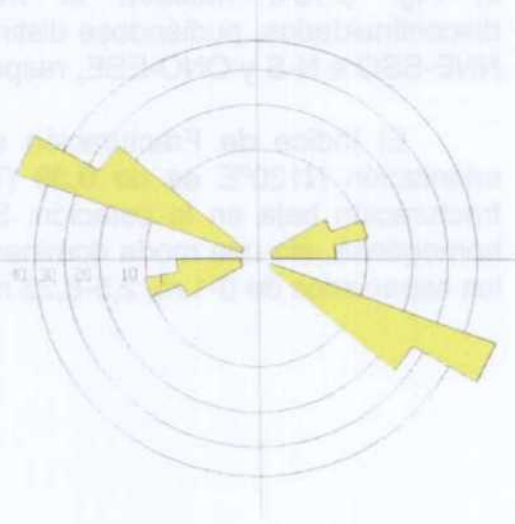


Fig. 5.14. Proyecciones estereográficas correspondientes al Afloramiento II, El Casar-Río Guarizas.

5.3.6.4. Afloramiento III: Puntal Agrio

El afloramiento de Puntal Agrio está localizado a unos 2 km al este del afloramiento de El Casar, remontando el curso del Río Guarrizas, en el sector occidental (Fig. 5.3). La Lámina VIII muestra un aspecto del afloramiento de Puntal Agrio. Los carbonatos forman aquí un nivel subvertical, de unos 30-35 m de potencia, localizado en el flanco septentrional verticalizado de una gran estructura sinclinal de F1, el Sinclinal de Torre Alver (Anexo 12.1). El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 5.15.

Los elementos estructurales medidos en la cantera se muestran en las proyecciones estereográficas de la Fig. 5.16-a, b y c. La orientación de la estratificación, S0, medida es ONO-ESE, con ángulos de buzamiento muy altos (entre 80° y 90°) al S. La esquistosidad S1 presenta una orientación ONO-ESE y se dispone buzando ángulos medios al N (entre 30° y 60°). La lineación de intersección L1 y los ejes de pliegues D1 presentan una orientación ONO-ESE y bajos ángulos de inmersión al E (menores de 15°).

En la Fig. 5.16-b se ha representado la orientación del conjunto de planos de discontinuidad observados en el afloramiento de Puntal Agrio, correspondientes a diaclasas, estratificación y esquistosidad. La esquistosidad S1 presenta en este afloramiento una mayor penetratividad a lo largo de bandas, consistente con su posición en un flanco inverso con mayor deformación interna, que dan lugar a una roca más quebradiza. El diagrama de la Fig. 5.16-c muestra la frecuencia en la orientación de dichas discontinuidades, pudiéndose distinguir dos familias conjugadas de orientación NNE-SSO a N-S y ONO-ESE, respectivamente.

El Índice de Fracturación obtenido a lo largo de un único perfil de orientación N120°E es de 0,38 (Tabla 5.1), indicativo de una densidad de fracturación baja en la estación. Se observa una distribución de espaciados homogénea, sin una moda dominante, con porcentajes superiores al 25% para los espaciados de 0-1 m, 2,5-6,25 m, y 2,5-6,25 m (Fig. 5.26).

AFLORAMIENTO III: PUNTAL AGRIO

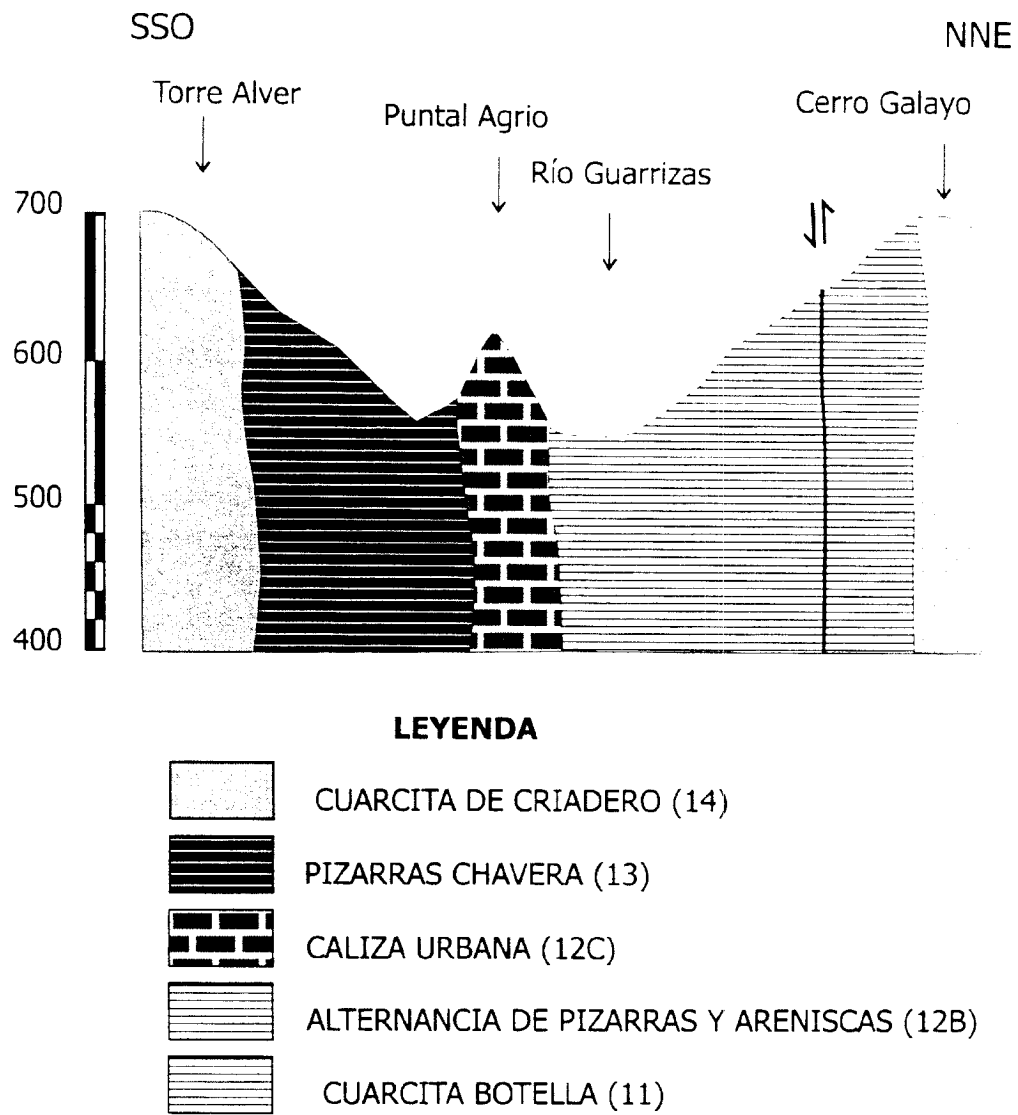
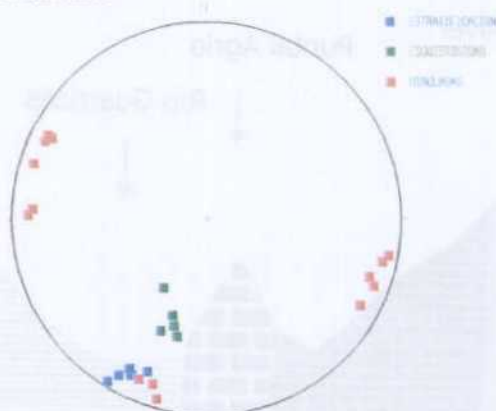


Fig. 5.15. Corte estructural esquemático del Afloramiento de la Fm. Caliza Urbana III, Puntal Agrio.

AFLORAMIENTO III: Puntal Agrio

a) Polos de Planos Estructurales



b) Planos de Discontinuidad



c) Orientación de Discontinuidades

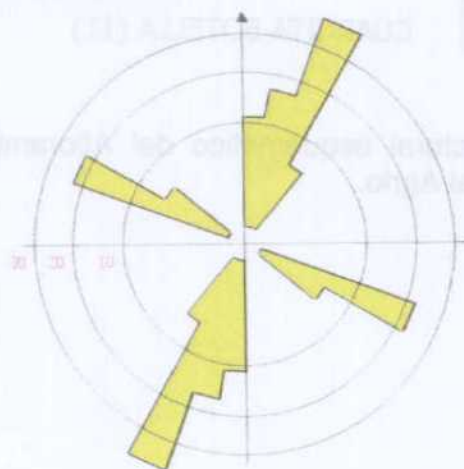


Fig. 5.16. Proyecciones estereográficas correspondientes al Afloramiento III, Puntal Agrio.

5.3.6.5. Afloramiento IV: Arroyo de Los Tejos

El afloramiento de la *Formación Caliza Urbana* del Arroyo de Los Tejos se sitúa en el extremo NE del sector occidental (Fig. 5.3). La Lám. IX-a muestra un aspecto del afloramiento desde el S y la Lám. IX-b un detalle de un antiguo frente de explotación de los carbonatos. Este afloramiento se localiza en el término municipal de Aldeaquemada. La potencia del nivel carbonatado de unos 25-30 m, distinguiéndose claramente un sector meridional calcítico y un sector septentrional más dolomítico. Los carbonatos se disponen subverticalmente, con la polaridad estratigráfica de techo hacia el S, localizándose en el flanco septentrional verticalizado de gran estructura sinclinal de F1, el Sinclinal de Los Tejos (Anexo 12.1). El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 5.17.

En las Figs. 5.18-a, b y c, se ha representado la orientación de los elementos estructurales medidos en el afloramiento. Como se deduce de las figuras, la estratificación muestra una orientación ONO-ESE remarcablemente constante, a diferencia del buzamiento de los bancos carbonatados, que muestran ángulos altos y medios de buzamiento al N, por lo que la serie está ligeramente invertida. La esquistosidad S1 presenta una orientación ONO-ESE y se dispone generalmente buzando ángulos medios al N (entre 30° y 60°).

En la Lám. X-a se muestran pliegues D1 definidos por delgados interestratos pelíticos y juntas ricas en óxidos de Fe. El aspecto apretado que presentan es debido a que la superficie del afloramiento es ligeramente oblicua a el eje del pliegue. Observar también el desarrollo de huellas de disolución kárstica y acanaladuras en los carbonatos. El aspecto asimétrico de los pliegues D1 en una sección subperpendicular a el eje del pliegue se observa en la Lám. X-b.

En la Fig. 5.18-b se muestra la orientación de los diversos planos de discontinuidad observados en el afloramiento del Arroyo de Lo Tejos, correspondientes a diaclasas, estratificación y esquistosidad. El diagrama de la Fig. 5.18-c muestra el desarrollo de dos familias de discontinuidades principales subperpendiculares: una de orientación N-S a NNE-SSO y otra de orientación O-E. Se distingue también una familia poco frecuente de orientación NO-SE.

En la Lám. XI-a se muestra el aspecto de zonas con desarrollo de varios tipos de discontinuidades: venas de calcita N070°E, esquistosidad S1 inclinada hacia el N y pliegues D1 asimétricos; la Lám. XI-b muestra el aspecto de superficies de disolución por presión subhorizontales (estilolitos), con picos subverticales, cuya génesis está relacionada probablemente con el aplastamiento experimentado durante la diagénesis por estos materiales.

Los Índices de Fracturación obtenidos en dos perfiles subperpendiculares son de 0,55 y 1,91, a lo largo de las direcciones N160°E y N270°E respectivamente. El Índice medio obtenido es de 1,23, correspondiente con una densidad de fracturación media-alta en la estación. Los espaciados entre 0 y 1 m son los más abundantes, con frecuencias superiores al 50%. Los

espaciados entre 1 y 2,5 m presentan igual frecuencias altas mayores del 20% (Fig. 5.26).

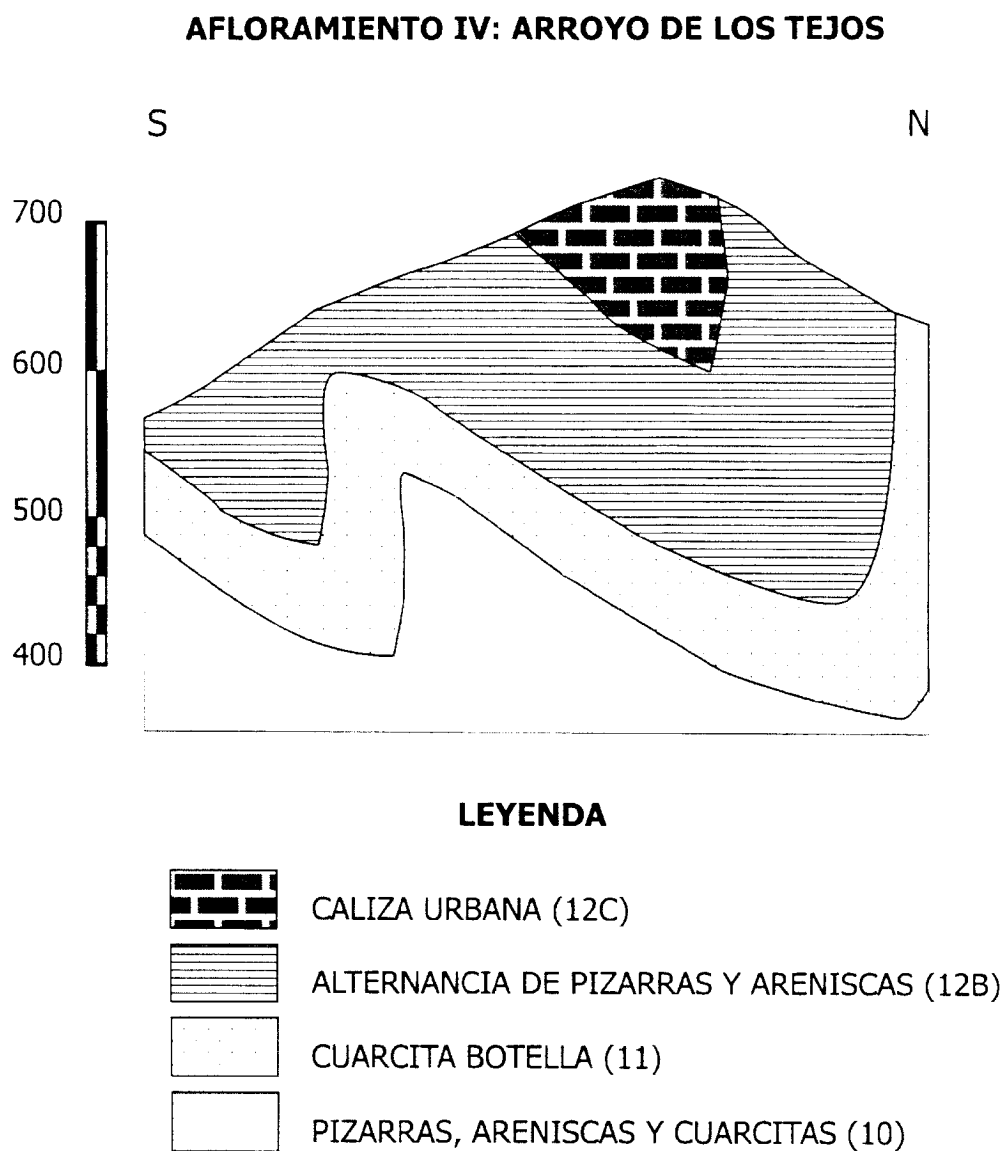
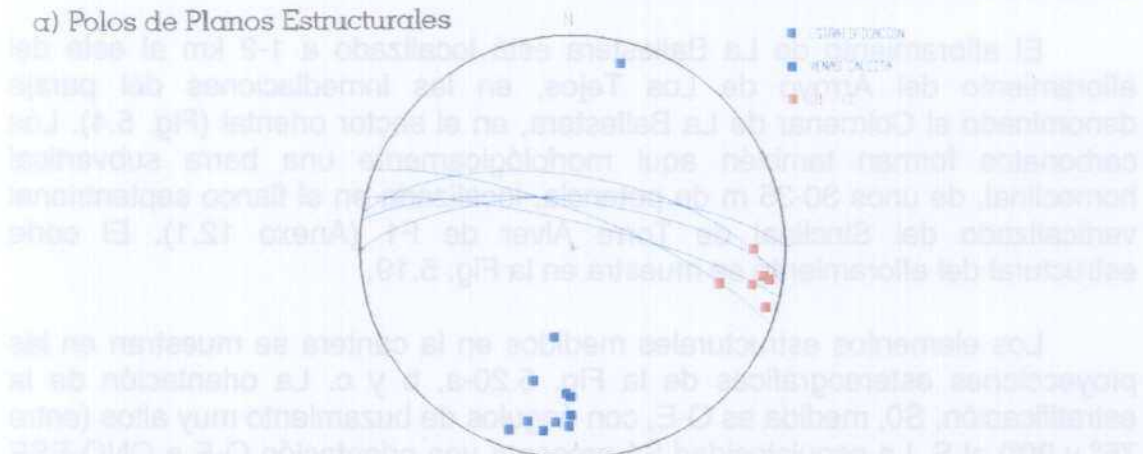


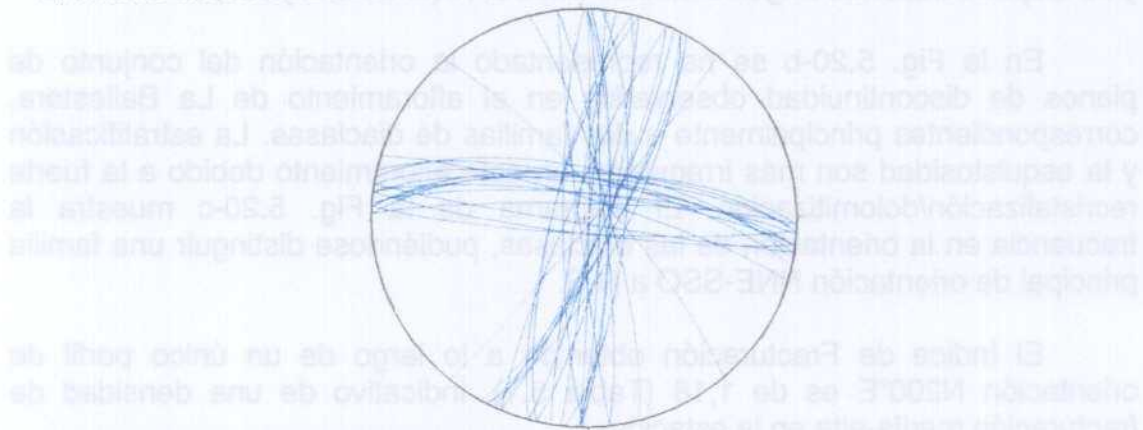
Fig. 5.17. Corte estructural esquemático del Afloramiento de la Fm. Caliza Urbana IV, Arroyo de Los Tejos.

AFLORAMIENTO IV: ARROYO DE LOS TEJOS

a) Polos de Planos Estructurales



b) Planos de Discontinuidad



c) Orientación de Discontinuidades

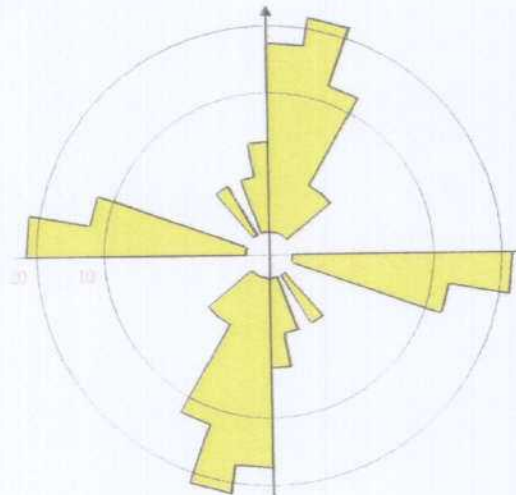


Fig. 5.18. Proyecciones estereográficas correspondientes al Afloramiento IV, Arroyo de Los Tejos.

5.3.6.6. Afloramiento V: La Ballestera

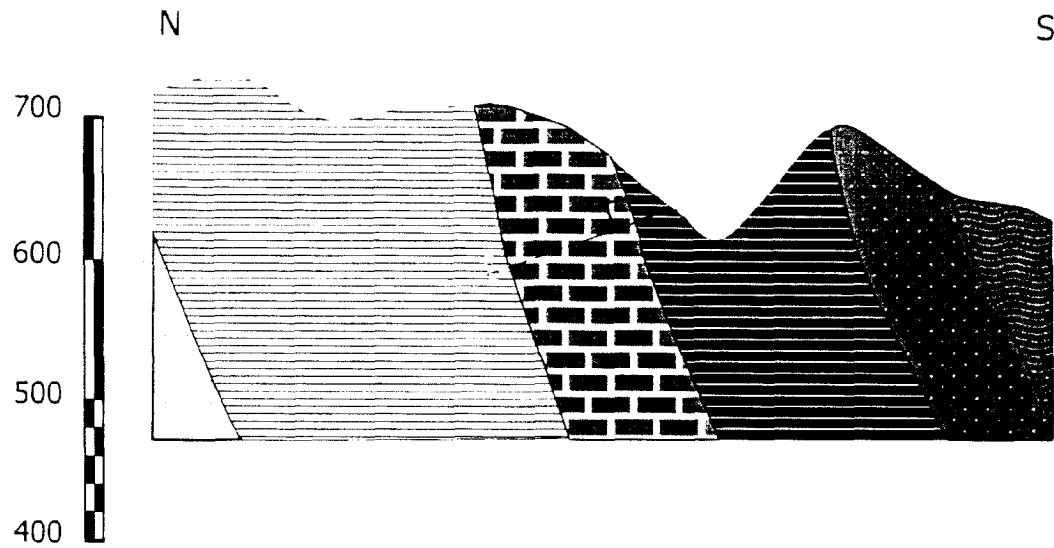
El afloramiento de La Ballestera está localizado a 1-2 km al este del afloramiento del Arroyo de Los Tejos, en las inmediaciones del paraje denominado el Colmenar de La Ballestera, en el sector oriental (Fig. 5.4). Los carbonatos forman también aquí morfológicamente una barra subvertical homoclinal, de unos 30-35 m de potencia, localizada en el flanco septentrional verticalizado del Sinclinal de Torre Alver de F1 (Anexo 12.1). El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 5.19.

Los elementos estructurales medidos en la cantera se muestran en las proyecciones estereográficas de la Fig. 5.20-a, b y c. La orientación de la estratificación, S0, medida es O-E, con ángulos de buzamiento muy altos (entre 75° y 90°) al S. La esquistosidad S1 presenta una orientación O-E a ONO-ESE y se dispone buzando ángulos medios-altos al N (entre 40° y 75°).

En la Fig. 5.20-b se ha representado la orientación del conjunto de planos de discontinuidad observados en el afloramiento de La Ballestera, correspondientes principalmente a dos familias de diaclasas. La estratificación y la esquistosidad son más irregulares en este afloramiento debido a la fuerte recristalización/dolomitización. El diagrama de la Fig. 5.20-c muestra la frecuencia en la orientación de las diaclasas, pudiéndose distinguir una familia principal de orientación NNE-SSO a N-S.

El Índice de Fracturación obtenido a lo largo de un único perfil de orientación N200°E es de 1,18 (Tabla 5.1), indicativo de una densidad de fracturación media-alta en la estación.

AFLORAMIENTO V: LA BALLESTERA



LEYENDA






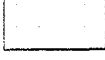
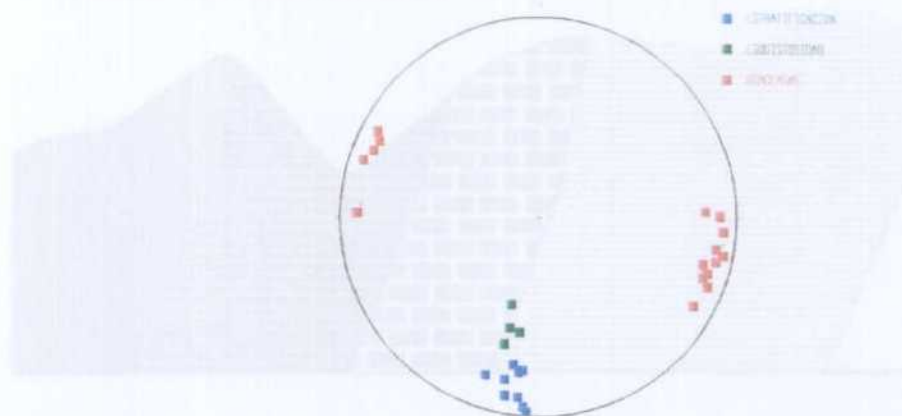
	PIZARRAS AMELITICAS (15)
	CUARCITA DE CRIADERO (14)
	PIZARRAS CHAVERA (13)
	CALIZA URBANA (12C)
	ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y ARENISCAS (12B)
	CUARCITA BOTELLA (11)

Fig. 5.19. Corte estructural esquemático del Afloramiento de la Fm. Caliza Urbana V, La Ballestera.

AFLORAMIENTO V: La Ballestera

a) Polos de Planos Estructurales



b) Planos de Discontinuidad



c) Orientación de Discontinuidades

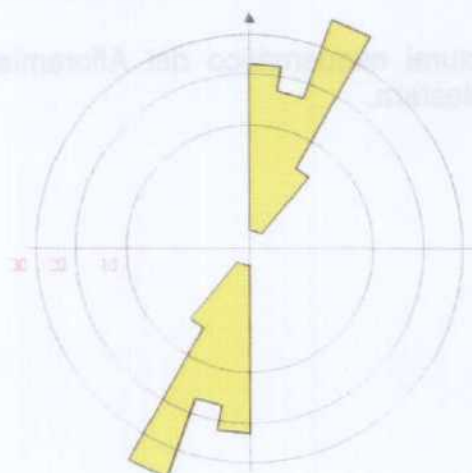


Fig. 5.20. Proyecciones estereográficas correspondientes al Afloramiento V, La Ballestera.

5.3.6.7. Afloramiento VI: La Casa de Los Tejos

El afloramiento de la *Formación Caliza Urbana* de la Casa de Los Tejos se sitúa en el extremo NO del sector oriental (Fig. 5.4). Este afloramiento se localiza en el término municipal de Aldequemada. La potencia del nivel carbonatado de más de 20 m visibles, estando fuertemente dolomitizado. Los carbonatos se disponen subhorizontales, con la polaridad estratigráfica normal, definiendo una zona de charnela de una gran estructura sinclinal de F1, el Sinclinal de Los Tejos (Anexo 12.1). El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 5.21.

En las Figs. 5.22-a y b se ha representado la orientación de los elementos estructurales medidos en el afloramiento. Como se deduce de las figuras, los polos de la estratificación se alinean con un plano subvertical, cuyo polo muestra una orientación ONO-ESE y baja inmersión al ONO, consistente con los ejes de pliegues D1 en el sector. La esquistosidad S1 presenta una orientación ONO-ESE a O-E y se dispone generalmente buzando ángulos medios al N (entre 40° y 60°).

En la Fig. 5.18-b se muestra la orientación de los diversos planos de discontinuidad observados en el afloramiento de la Casa de Los Tejos, principalmente diaclasas. Como puede observarse, se individualizan dos familias de discontinuidades principales a alto ángulo: una de orientación N-S a NNE-SSO y otra de orientación O-E. Se distingue también una familia poco frecuente de orientación ONO-ESE.

AFLORAMIENTO VI: LA CASA DE LOS TEJOS

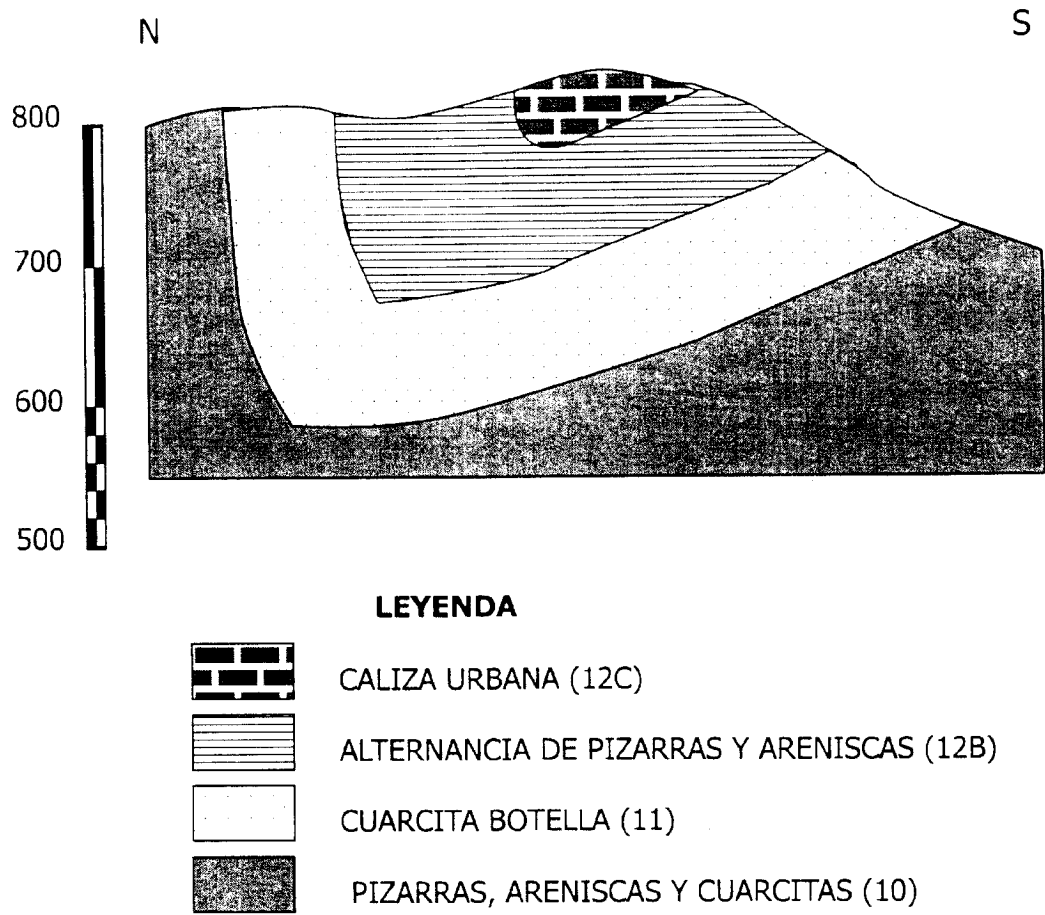


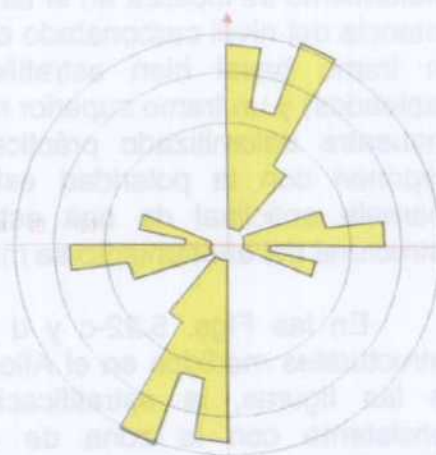
Fig. 5.21. Corte estructural esquemático del Afloramiento de la Fm. Caliza Urbana VI, La Casa de Los Tejos.

AFLORAMIENTO VI: La Casa de los Tejos

a) Polos de Planos Estructurales



b) Orientación de Discontinuidades



AFLORAMIENTO VII: Sierra Ventosa

c) Polos de Planos Estructurales



d) Orientación de Discontinuidades

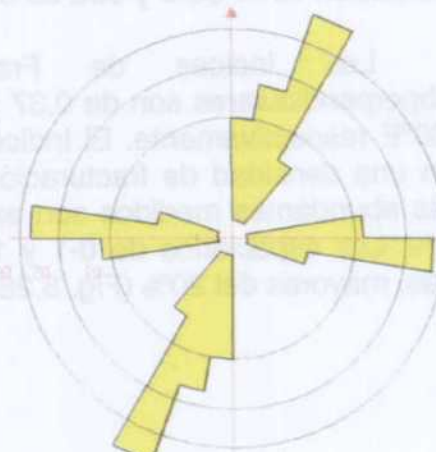


Fig. 5.22. Proyecciones estereográficas correspondientes a los Afloramientos VI y VII.

5.3.6.8. Afloramiento VII: Sierra Ventosa

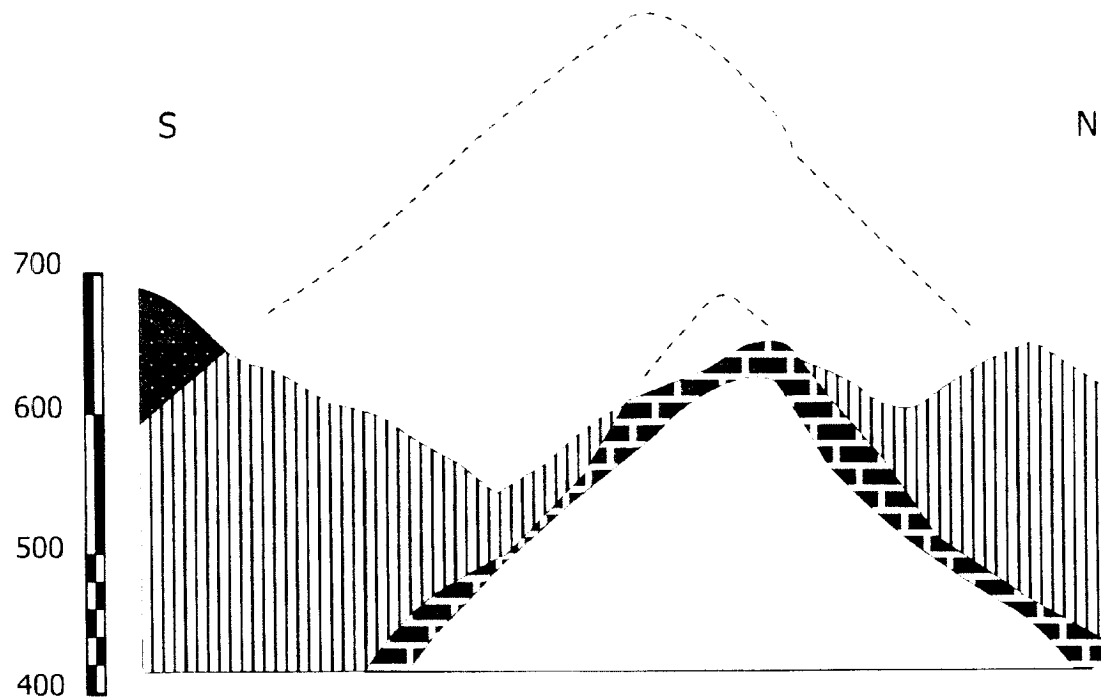
El afloramiento de la *Formación Caliza Urbana* denominado de Sierra Ventosa está localizado en el área central del sector oriental (Fig. 5.4). Este afloramiento se localiza en el término municipal de Santiesteban del Puerto. La potencia del nivel carbonatado observada es de más de 30 m, distinguiéndose un tramo basal bien estratificado con bancos de potencia decimétrica (tableados) y un tramo superior más potente de bancos de potencia métrica. Se encuentra dolomitizado prácticamente en su totalidad. Los carbonatos se disponen con la polaridad estratigráfica normal, definiendo una zona de charnela anticlinal de una estructura de F1, bastante simétrica. El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 5.23.

En las Figs. 5.22-c y d se muestra la orientación de los elementos estructurales medidos en el Afloramiento de Sierra Ventosa. Como se deduce de las figuras, la estratificación muestra una disposición subhorizontal, consistente con la zona de charnela anticlinal, con buzamientos bajos alternativamente al N y S. La esquistosidad S1 presenta una orientación ONO-ESE a O-E y se dispone generalmente buzando ángulos medios-altos al N (entre 45° y 70°).

En la Fig. 5.22-d se muestra la orientación de los diversos planos de diaclasas observados. En el diagrama de frecuencias, se observa el desarrollo de dos familias de discontinuidades probablemente conjugadas: una de orientación NNE-SSO y otra de orientación O-E.

Los Índices de Fracturación obtenidos en dos perfiles subperpendiculares son de 0,37 y 0,48, a lo largo de las direcciones N170°E y N80°E respectivamente. El Índice medio obtenido es de 0,61 correspondiente con una densidad de fracturación baja-media en la estación. Los espaciados más abundantes medidos son entre 2,5 y 6,25, con frecuencias superiores al 30%. Los espaciados de 0-1 y 1- 2,5 m presentan frecuencias relativamente altas, mayores del 20% (Fig. 5.26).

AFLORAMIENTO VII: SIERRA VENTOSA



LEYENDA



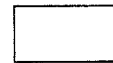
CUARCITA DE CRIADERO (14)



PIZARRAS CHAVERA (13)



CALIZA URBANA (12C)



ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y ARENISCAS (12B)

Fig. 5.23. Corte estructural esquemático del Afloramiento de la Fm. Caliza Urbana VII, Sierra Ventosa.

5.3.6.9. Afloramiento VIII: Arroyo de La Alamedilla

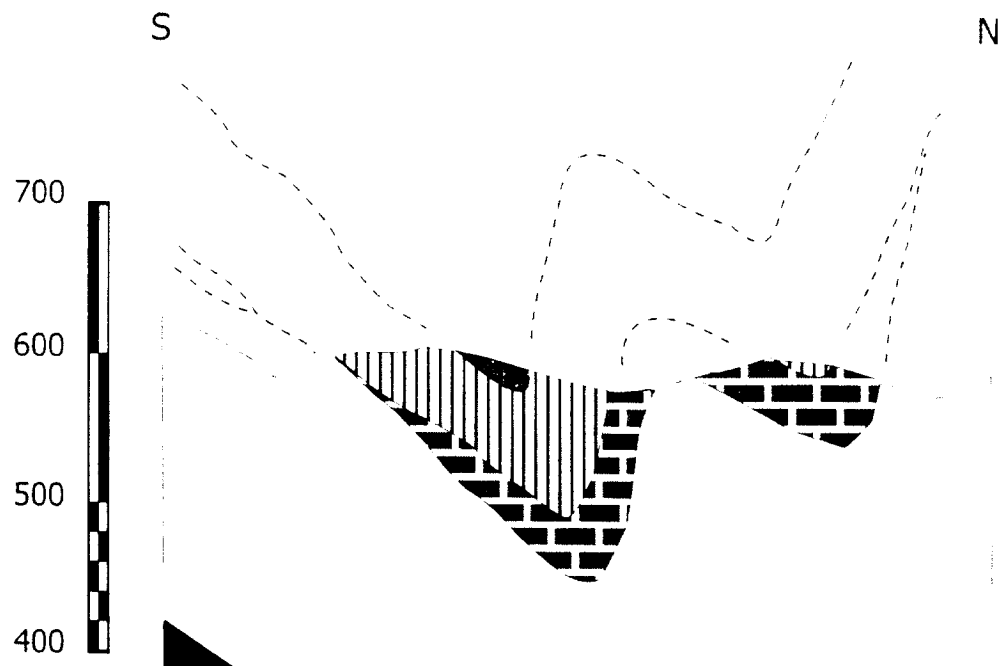
El afloramiento de la *Formación Caliza Urbana* del Arroyo de La Alamedilla se localiza en el sector oriental del área estudiada, a unos 1,5-2 km al NE del Afloramiento VII anterior (Fig. 5.4). Este afloramiento se localiza también en el término municipal de Santiesteban del Puerto. La potencia del nivel carbonatado observada es de unos 20-25 m, encontrándose fuertemente dolomitizado. Los bancos dolomíticos se disponen en polaridad estratigráfica normal, definiendo un par de pliegues anticlinal-sinclinal de F_1 , algo asimétricos, vergentes al S y de plano axial de alto ángulo de buzamiento al N. El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 5.24.

En las Figs. 5.25-a, b y c, se muestra la orientación de los elementos estructurales medidos en el Afloramiento del Arroyo de La Alamedilla. Como se deduce de las figuras, la estratificación muestra buzamientos bajos alternativamente al N y al S, consistentes con la presencia de zonas de charnela. La esquistosidad S_1 presenta una orientación ONO-ESE a O-E y se dispone generalmente buzando ángulos medios-altos al N (entre 45° y 80°).

En la Fig. 5.25-b se muestra la orientación de los diversos planos de diaclasas observados y en la Fig. 5.25-c el diagrama de frecuencias correspondiente. Como puede observarse se han desarrollado claramente dos familias de discontinuidades probablemente conjugadas: una de orientación NNE-SSO y otra de orientación O-E.

Los Índices de Fracturación obtenidos en dos perfiles ortogonales son de 1,02 y 0,88, a lo largo de las direcciones $N100^\circ E$ y $N190^\circ E$ respectivamente. El Índice medio obtenido para la estación es de 0,94 correspondiente con una densidad de fracturación relativamente alta (Tabla 5.1).

AFLORAMIENTO VIII: ARROYO DE LA ALAMEDILLA



LEYENDA




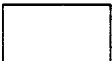
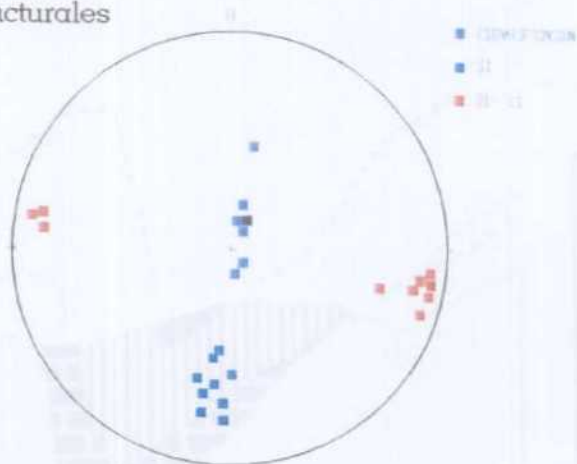
-  CUARCITA DE CRIADERO (14)
-  PIZARRAS CHAVERA (13)
-  CALIZA URBANA (12C)
-  ALTERNANCIA DE PIZARRAS Y ARENISCAS (12B)

Fig. 5. 24. Corte estructural esquemático del Afloramiento de la Fm. Caliza Urbana VIII, Arroyo de La Alamedilla.

AFLORAMIENTO VIII: Arroyo La Alamedilla

a) Polos de Planos Estructurales



b) Planos de Discontinuidad



c) Orientación de Discontinuidades

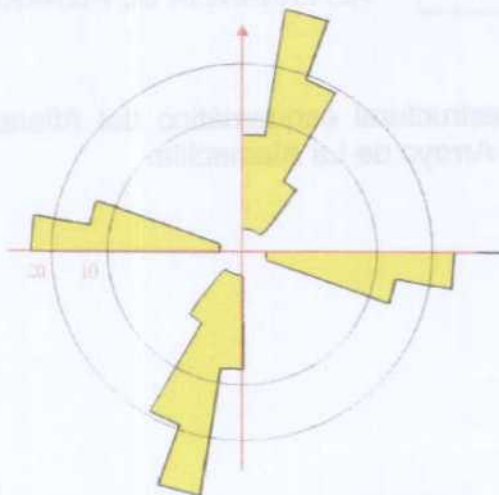


Fig. 5.25. Proyecciones estereográficas correspondientes al Afloramiento VIII.

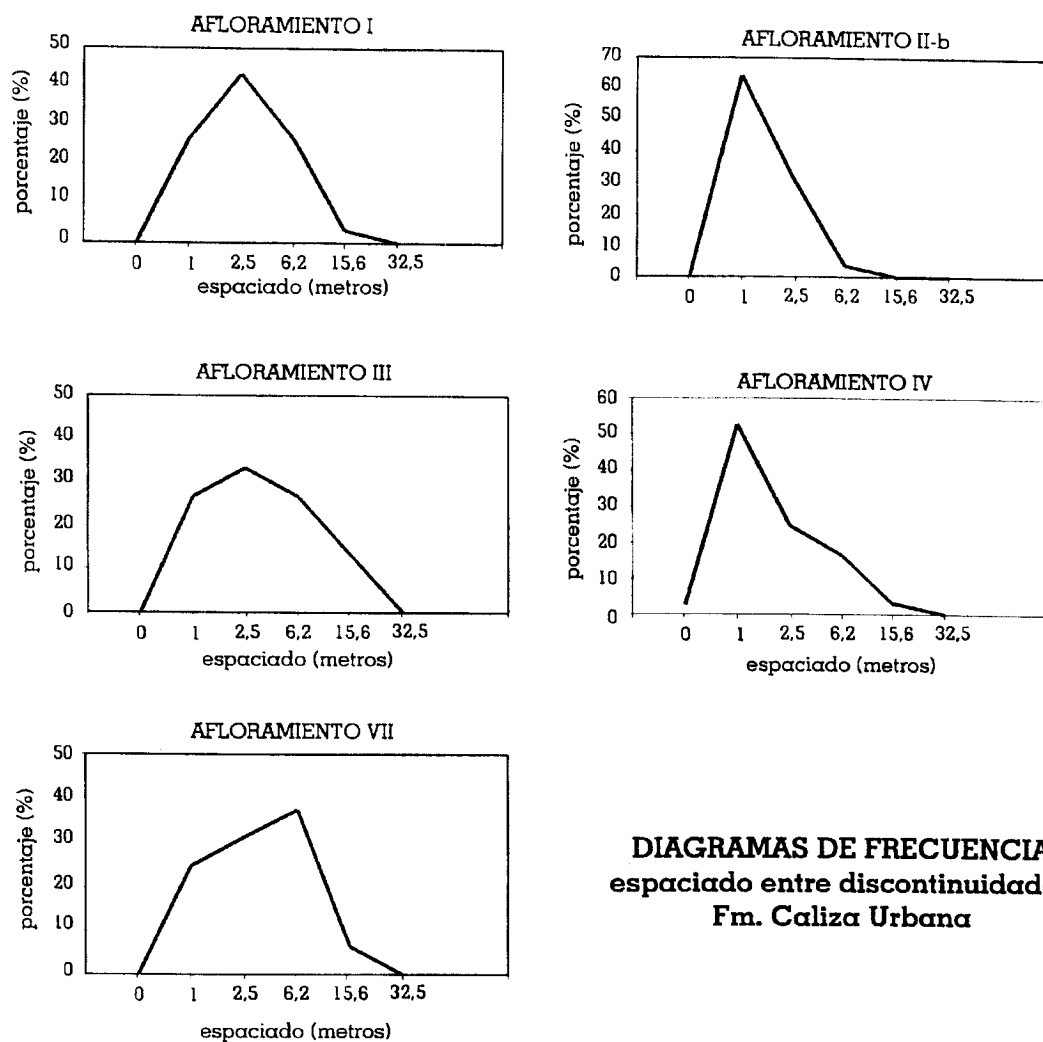


Fig. 5.26. Diagramas de frecuencia del espaciado entre discontinuidades en los afloramientos de la *Fm. Caliza Urbana*.

5.4. MODELO GEOLOGICO-ESTRUCTURAL PARA LA ZONA ESTUDIADA

En este apartado se presenta un modelo geológico-estructural evolutivo para la zona estudiada, en el que se recogen todas las características estructurales descritas en anteriores apartados. Dicho modelo queda sintetizado gráficamente en la Figs. 5.27 y 5.28.

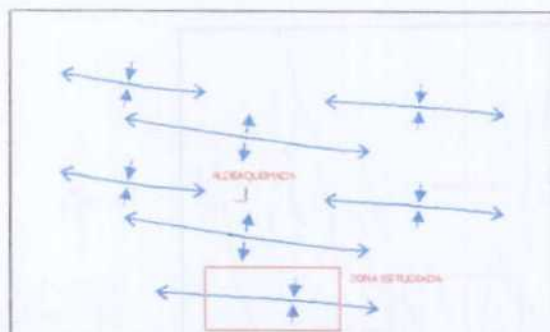
La evolución estructural de la zona estudiada, perteneciente a la Hoja de Aldeaquemada y localizada en el sector meridional de la Zona Centro-Ibérica, se inicia con la formación de las estructuras correspondientes a la 1ª Fase de deformación hercínica. Estas consisten en la formación de un tren de pliegues ONO-ESE a gran escala, vergentes al S, que llevan asociada la formación de una esquistosidad S1 de plano axial penetrativa y una lineación de intersección L1 subhorizontal. La zona estudiada queda situada dentro de un sinclinal compuesto de F1 de escala kilométrica.

Las estructuras formadas posteriormente son zonas de cizalla dúctil-frágiles y fracturas frágiles, que se relacionan con una 2ª Fase de deformación hercínica consistente en un acortamiento regional E-O. Se producen además pliegues transversales, de dirección norteada, que originan una interferencia de plegamiento del tipo de domos y cubetas. En la zona estudiada esta fase produce ondulaciones en las zonas de charnela de las grandes estructuras de F1, inmersiones contrarias para sus ejes al ONO y ESE y, principalmente, cizallamientos N60°E-N70°E dextrales que intersectan y desplazan los pliegues D1.

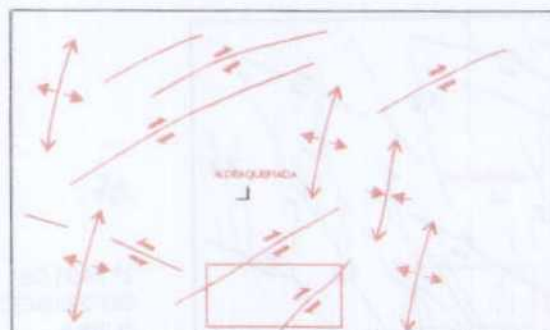
La evolución estructural continua con una 3ª Fase de deformación hercínica/tardi-hercínica, relacionada con un episodio de acortamiento NNE-SSO a N-S, que origina un sistema de fallas subverticales conjugadas. Este episodio es el de mayor desarrollo e importancia en la formación de estructuras frágiles en la zona estudiada a todas las escalas. Asociadamente, intruye un conjunto de diques y filones rellenos de cuarzo, baritina, apatito, carbonatos y óxidos de Fe-Mn.

En el sector estudiado de la Hoja de Aldeaquemada se reconocen tres grupos distintos de estructuras alpinas, cada uno de ellos generado por un campo de esfuerzos diferente característico de las sucesivas fases deformativas: alineaciones de diques básicos subverticales de 1ª Fase, un sistema de desgarres frágiles conjugados de 2ª Fase y fallas tardías de movimiento esencialmente normal de 3ª Fase. Los diques básicos intruyeron durante una etapa de extensional de dirección ONO-ESE, probablemente durante el Jurásico superior. El sistema de desgarres frágiles ENE-OSO sinestrales se relaciona con una etapa de acortamiento NNE-SSE a N-S principalmente durante el Mioceno, que produce un importante rejuego de estructuras hercínicas y tardi-hercínicas. La formación de fallas normales tardías, así como la reactivación de estructuras previas, son consecuencia de la implantación de un estado de esfuerzos extensional de dirección ONO-ESE a NO-SE en las épocas más recientes.

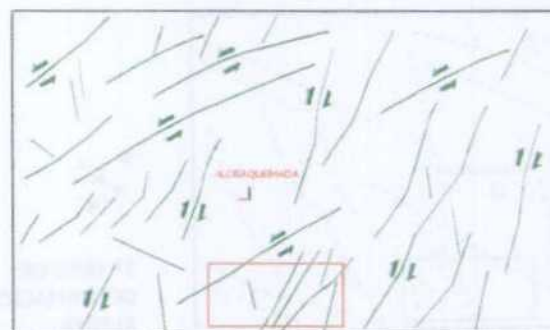
EVOLUCION ESTRUCTURAL ESQUEMATICA DE LA ZONA ESTUDIADA - I, HOJA DE ALDEAQUEMADA



1ª FASE DE
DEFORMACION
HERCINICA

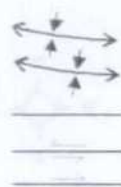


2ª FASE DE
DEFORMACION
HERCINICA



3ª FASE DE
DEFORMACION
HERCINICA

SIMBOLOS



Anticlinal

Sinclinal

Falla

Falla sinistral

Falla dextral



Dirección de compresión

Dirección de extensión

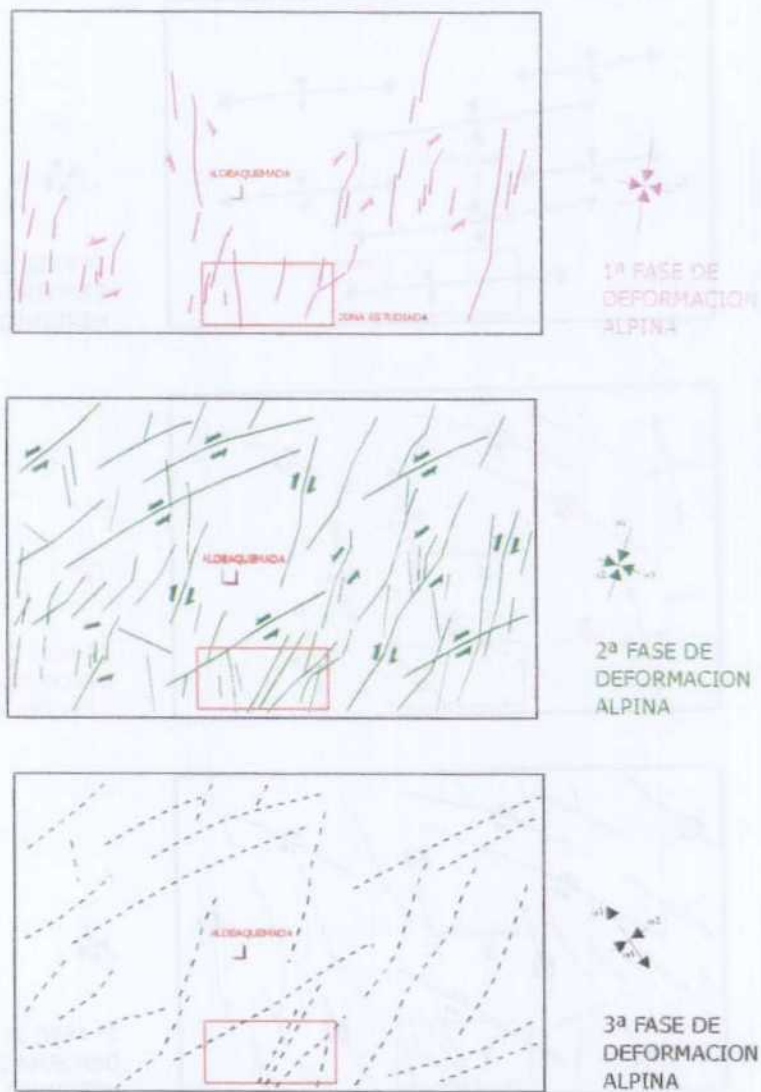
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$

Esfuerzos principales

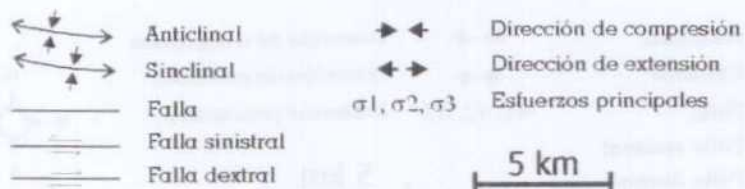
5 km



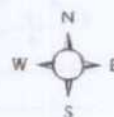
EVOLUCION ESTRUCTURAL ESQUEMATICA DE LA ZONA ESTUDIADA - II HOJA DE ALDEAQUEMADA



SIMBOLOS



5 km



Figs. 5.27 y 5. 28. Modelo geológico-estructural para la zona estudiada.

6. ENSAYOS TECNOLÓGICOS. FASE 1.

6.1. INTRODUCCIÓN

En las zonas seleccionadas a partir de los trabajos de cartografía geológica, se llevó a cabo un muestreo superficial. Tales muestras fueron sometidas a los correspondientes trenes de ensayos, con objeto de estudiar sus propiedades físico-mecánicas y determinar así su aptitud preliminar para el uso pretendido.

La situación de las muestras se ha plasmado en la cartografía geológica a escala 1:10 000 incluida en el Anexo 12.2.

Los ensayos realizados y las normas utilizadas fueron:

- Absorción y peso específico aparente en mármoles y rocas ornamentales. UNE 22 182
- Resistencia a las heladas en mármoles y calizas ornamentales. UNE 22 184
- Resistencia a la compresión en mármoles y calizas ornamentales UNE 22 185
- Microdureza Knoop en mármoles y calizas ornamentales UNE 22 188
- Resistencia a los cambios térmicos en pizarras ornamentales, placas y losas UNE 22 197
- Coordenadas cromáticas (fuera del alcance de la acreditación)
- Plaqueta pulida

En los apartados incluidos a continuación se establece una comparación de los resultados obtenidos en los ensayos con los valores de esos mismos ensayos en productos comerciales similares, tales como el mármol Anasol y el mármol Amarillo Macael.

6.2. ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE

Se ha realizado sobre probetas de 15x8x1,5 cm con una cara pulida.

MUESTRA	ZONA/TIPO	PESO ESPECIF. REAL	PESO ESPECIF. APARENTE	% ABSORCIÓN	% POROSIDAD
Amarillo Macael	Mármol dolomítico	2.84	2.66	0,31	0.77
Anasol	Mármol calcítico	2,75	2,71	0,15	0,42
E-2-CL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Fajeado	2.7	2.7	0.2	0.4
E-2-DL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Blanco	2.7	2.7	0.2	0.6
E-7-L	Zona La Despreciada. Mármol dol. marrón	2.8	2.8	0.4	1.2
E-12-L	El Casar-Rio Guarrizas. Mármol dol. crema	2.8	2.7	1.1	3.0
E-70-CL	Puntal Agrio. Mármol calc. blanco	2.7	2.7	0.2	0.6
E-74	El Casar-Rio Guarrizas. Mármol dol. crema	2.8	2.8	0.8	2.2
E-76-L	El Casar-Rio Guarrizas. Mármol dol. marrón	2.8	2.7	1.8	4.8
E-77-L	Cantera. Arroyo de los Tejos. Mármol dol. gris	2.7	2.7	0.2	0.5
E-83-AL	La Ballesterá. Mármol calc. blanco	2.7	2.7	0.4	1.1
E-83-BL	La Ballesterá. Mármol dol. crema	2.8	2.7	0.5	1.4

Los resultados indicados en la tabla anterior indican que los mármoles dolomíticos de la zona investigada presentan valores de absorción de agua algo mayores que el mármol de referencia (Amarillo Macael) algunos relativamente altos (marrones y cremas del El Casar-Rio Guarrizas) otros más

próximos al valor de referencia (La Despreciada, La Ballestera) o incluso inferiores (Arroyo de los Tejos).

Los mármoles calcíticos presentan valores muy similares al de referencia (Anasol) salvo en algún caso (La Ballestera) que es excesivamente alto.

6.3. RESISTENCIA A LAS HELADAS

Estos ensayos se han realizado sobre una sola probeta de 15 x 8 x 1.5 cm, con una cara pulida.

MUESTRA	ZONA/TIPO	MH
Amarillo Macael	Mármol dolomítico	menor de 0.1
Anasol	Mármol calcítico	menor de 0.1
E-2-CL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Fajeado	menor de 0.1
E-2-DL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Blanco	menor de 0.1
E-7-L	Zona La Despreciada. Mármol dol. marrón	menor de 0.1
E-12-L	El Casar-Rio Guarrizas. Mármol dol. crema	menor de 0.1
E-70-CL	Puntal Agrio. Mármol calc. blanco	menor de 0.1
E-74	El Casar-Rio Guarrizas. Mármol dol. crema	0.2
E-76-L	El Casar-Rio Guarrizas. Mármol dol. marrón	0.3
E-77-L	Cantera. Arroyo de los Tejos. Mármol dol. gris	menor de 0.1
E-83-AL	La Ballestera. Mármol calc. blanco	menor de 0.1
E-83-BL	La Ballestera. Mármol dol. crema	ROTA

Todos los materiales ensayados, salvo dos del Casar-Rio Guarrizas presentaron una alteración inapreciable. Una muestra de La Ballestera se rompió por presentar grietas la probeta.

6.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

MUESTRA	ZONA/TIPO	KG/CM ²	MPA
Amarillo Macael	Mármol dolomítico	1286	136
Anasol	Mármol calcítico	798	79
E-7-L	Zona La Despreciada. Mármol dol. marrón	1125.5	110.5
E-74	El Casar-Rio Guarrizas. Mármol dol. crema	975.8	95.5
E-77-L	Cantera. Arroyo de los Tejos. Mármol dol. gris	775.7	76

Los valores obtenidos para muestras de mármoles dolomíticos de la zona investigada son aceptables no obstante la muestra de la cantera de Arroyo de los Tejos presenta un valor bastante más bajo que las muestras de las otras zonas.

6.5. MICRODUREZA KNOOP

MUESTRA	ZONA/TIPO	Kg/cm ²	MPA
E-2-CL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Fajeado	11316.5	1109.0
E-2-DL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Blanco	13084.9	1282.3
E-7-L	Zona La Despreciada. Mármol dol. marrón	33374.8	3270.8
E-12-L	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. crema	25244.1	2473.9
E-70-CL	Puntal Agrio. Mármol calc. blanco	11454.2	1109.0
E-74	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. crema	29012.3	2843.2
E-76-L	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. marrón	29520.7	2893.0
E-77-L	Cantera. Arroyo de los Tejos. Mármol dol. gris	14044.4	1109.0
E-83-AL	La Ballester. Mármol calc. blanco	11421.3	1119.3
E-83-BL	La Ballester. Mármol dol. crema	26318.4	2579.2

La microdureza Knoop es un ensayo que determina la resistencia puntual a la penetración de una punta en la roca ensayada. Es por tanto una referencia de la resistencia del mineral que compone la roca, más que de la roca misma.

Los resultados obtenidos indican que los mármoles dolomíticos presentan resistencias mecánicas puntuales mucho más altas (2812 Mpa de media) que las de los calcíticos (1145 Mpa de media).

6.6. RESISTENCIA A LOS CAMBIOS TÉRMICOS

Estos ensayos se han realizado sobre una sola probeta de 15 x 8 x 1.5 cm. con una cara pulida.

MUESTRA	ZONA/TIPO	PÉRDIDA DE PESO
E-2-CL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Fajeado	menor de 0.1
E-2-DL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Blanco	menor de 0.1
E-7-L	Zona La Despreciada. Mármol dol. marrón	menor de 0.1
E-12-L	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. crema	menor de 0.1
E-70-CL	Puntal Agrio. Mármol calc. blanco	menor de 0.1
E-74	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. crema	0.3
E-76-L	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. marrón	0.3
E-77-L	Cantera. Arroyo de los Tejos. Mármol dol. gris	0.1
E-83-AL	La Ballester. Mármol calc. blanco	menor de 0.1
E-83-BL	La Ballester. Mármol dol. crema	0.1

De las muestras ensayadas, sólo los mármoles dolomíticos de El Casar-Rio Guarrizas han dado pérdidas de peso significativas.

6.7. COORDENADAS CROMÁTICAS

Este ensayo se ha realizado con objeto de conocer las variaciones de color de los materiales antes y después de los ensayos de heladicidad y choque térmico. Permite hacer una previsión del comportamiento a la intemperie de los materiales tratados. Son valores medios de seis medidas por probeta.

E-2-CL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Fajeado		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	77.1	1.7	5.6
Heladicidad (después)	75.6	1.0	4.6
<i>Diferencia</i>	1.5	0.7	1.0
Ch. Térmico (antes)	74.2	1.3	5.1
Ch. Térmico (después)	68.5	0.4	3.2
<i>Diferencia</i>	5.7	0.9	1.9

E-2-DL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Blanco		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	87.6	1.2	6.3
Heladicidad (después)	87.9	0.5	3.5
<i>Diferencia</i>	0.3	0.7	2.8
Ch. Térmico (antes)	85.1	1.8	6.9
Ch. Térmico (después)	85.4	0.6	4.3
<i>Diferencia</i>	0.3	1.2	2.6

E-7-L	Zona La Despreciada. Mármol dol. marrón		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	72.2	4.5	13.3
Heladicidad (después)	71.4	3.8	13.9
<i>Diferencia</i>	0.8	0.7	13.9
Ch. Térmico (antes)	66.2	5.8	14.2
Ch. Térmico (después)	67.5	6.0	16.4
<i>Diferencia</i>	1.3	0.2	2.2

E-12-L	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. crema		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	68.9	6.8	16.4
Heladicidad (después)	65.7	6.7	17.2
<i>Diferencia</i>	3.2	0.1	0.8
Ch. Térmico (antes)	71.1	5.5	14.9
Ch. Térmico (después)	70.1	5.7	16.6
<i>Diferencia</i>	1.0	0.2	0.3

E-70-CL	Puntal Agrio. Mármol calc. blanco		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	77.7	1.7	6.2
Heladicidad (después)	77.7	1.7	6.8
<i>Diferencia</i>	0.0	0.0	6.8
Ch. Térmico (antes)	78.2	1.9	7.2
Ch. Térmico (después)	75.6	2.3	6.7
<i>Diferencia</i>	2.6	0.4	0.5

E-74	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. crema		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	57.2	9.4	14.6
Heladicidad (después)	53.7	9.0	14.1
<i>Diferencia</i>	3.5	0.4	0.1
Ch. Térmico (antes)	57.9	7.7	13.6
Ch. Térmico (después)	55.3	7.7	13.9
<i>Diferencia</i>	2.6	0.0	0.3

E-76-L	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. marrón		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	55.9	9.2	14.1
Heladicidad (después)	51.9	8.1	13.0
<i>Diferencia</i>	4.9	1.1	1.1
Ch. Térmico (antes)	62.9	7.3	11.9
Ch. Térmico (después)	59.2	6.9	11.7

<i>Diferencia</i>	3.7	0.4	0.2
-------------------	-----	-----	-----

E-77-L	Cantera. Arroyo de los Tejos. Mármol dol. gris		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	68.8	2.5	4.4
Heladicidad (después)	62.7	3.6	6.2
<i>Diferencia</i>	1.9	0.4	1.1
Ch. Térmico (antes)	65.7	2.6	4.7
Ch. Térmico (después)	61.1	3.1	5.9
<i>Diferencia</i>	4.6	0.5	1.2

E-83-AL	La Ballestera. Mármol calc. blanco		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	77.6	2.4	6.9
Heladicidad (después)	77.7	2.3	6.0
<i>Diferencia</i>	0.1	0.1	0.9
Ch. Térmico (antes)	80.5	1.5	8.0
Ch. Térmico (después)	75.9	3.1	9.8
<i>Diferencia</i>	4.6	1.6	1.8

E-83-BL	La Ballestera. Mármol dol. crema		
	L*	a*	b*
Heladicidad (antes)	85.2	0.0	1.5
Heladicidad (después)	---	---	---
<i>Diferencia</i>	---	---	---
Ch. Térmico (antes)	79.9	2.4	9.8
Ch. Térmico (después)	76.5	2.6	8.9
<i>Diferencia</i>	3.4	0.2	0.9

MUESTRA	DIFERENCIAS		
	L*	a*	b*
E-2-CL Helad.	1.5	0.7	1.0
E-2-CL Ch. term	5.7	0.9	1.9
E-2-DL Helad.	0.3	0.7	2.8
E-2-DL Ch. term	0.3	1.2	2.6
E-7-L Helad.	3.2	0.1	0.8
E-7-L Ch. term	1.3	0.2	2.2
E-12-L Helad.	3.2	0.1	0.8
E-12-L Ch. term	1.0	0.2	0.3
E-70-CL Helad.	0.0	0.0	6.8
E-70-CL Ch. term	2.6	0.4	0.5
E-74 Helad.	3.5	0.4	0.1
E-74 Ch. term	2.6	0.0	0.3
E-76-L Helad.	4.9	1.1	1.1
E-76-L Ch. term	3.7	0.4	0.2
E-77-L Helad.	1.9	0.4	1.1
E-77-L Ch. term	4.6	0.5	1.2
E-83-AL Helad.	0.1	0.1	0.9
E-83-AL Ch. term	4.6	1.6	1.8
E-83-BL Helad.	---	---	---
E-83-BL Ch. term	3.4	0.2	0.9

El resultado de los ensayos muestra que casi todos los mármoles presentan variaciones en los parámetros cromáticos medidos después de los ensayos de heladicidad o choque térmico, pero los son en porcentajes muy pequeños. En algunos casos, como el del mármol fajeado de La Despreciada, la propia variación cromática del material hace que los resultados sean dispares.

6.8. PLAQUETAS PULIDAS

De las diferentes muestras obtenidas se realizaron también plaquetas pulidas de dimensiones estándar, con objeto de conocer la aptitud al pulido de los materiales y el aspecto y colorido de los mármoles, aspecto éste último muy importante desde el punto de vista comercial.

En el Anexo 12.6, se han incluido imágenes de estas plaquetas y los propios materiales.

Los resultados de esta ensayo indican que todos los materiales presentan una adecuada aptitud al pulido. Respecto a su aspecto comercial se hacen algunas apreciaciones en el cuadro incluido a continuación.

MUESTRA	ZONA/TIPO	OBSERVACIONES
E-2-CL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Fajeado	Pulido excelente. Aspecto comercial muy bueno
E-2-DL	Cantera La Despreciada. Mármol calc. Blanco	Pulido excelente. Aspecto comercial muy bueno
E-7-L	Zona La Despreciada. Mármol dol. marrón	Pulido excelente. Aspecto comercial regular
E-12-L	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. crema	Pulido excelente. Aspecto comercial excelente. "Crema Jaén"
E-70-CL	Puntal Agrio. Mármol calc. Blanco-crema	Pulido excelente. Aspecto comercial regular
E-74	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. crema	Pulido excelente. Aspecto comercial regular
E-76-L	El Casar-Rio Guarrizas. Marmol dol. marrón	Pulido excelente. Aspecto comercial bueno
E-77-L	Cantera. Arroyo de los Tejos. Mármol dol. gris	Pulido excelente. Aspecto comercial regular
E-83-AL	La Ballestera. Mármol calc. Blanco-gris	Pulido excelente. Aspecto comercial bueno
E-83-BL	La Ballestera. Mármol dol. crema	Pulido excelente. Aspecto comercial regular

6.9. CONCLUSIONES

De los resultados de los ensayos tecnológicos sobre muestras superficiales tomadas en la zona investigada, se puede concluir que las propiedades fisico-mecánicas son muy diferentes entre los mármoles dolomíticos y los mármoles calcáreos y similares a los valores de los que se dispone de mármoles de referencia.

Así los mármoles dolomíticos de la zona investigada presentan valores de absorción de agua algo mayores que el mármol de referencia (Amarillo Macael) algunos excesivamente altos (marrones y cremas del El Casar-Rio Guarrizas) otros más próximos al valor de referencia (La Despreciada, La Ballestera) o incluso inferiores (Arroyo de los Tejos). Los mármoles calcíticos presentan valores muy similares al de referencia (Anasol) salvo en algún caso (La Ballestera) que es excesivamente alto.

Todos los materiales ensayados, salvo dos del Casar-Rio Guarrizas presentaron una alteración tras el ensayo de resistencia a las heladas inapreciable. Una muestra de La Ballestera se rompió por presentar grietas la probeta.

Los valores obtenidos de resistencia a la compresión para muestras de mármoles dolomíticos de la zona investigada son aceptables, no obstante la muestra de la cantera de Arroyo de los Tejos presenta un valor bastante más bajo que las muestras de las otras zonas.

Los mármoles dolomíticos presentan resistencias mecánicas puntuales según el ensayo de Microdureza Knoop mucho más altas (2812 Mpa de media) que las de los calcíticos (1145 Mpa de media).

En el ensayo de resistencia a los cambios térmicos, sólo los mármoles dolomíticos de El Casar-Rio Guarrizas han dado pérdidas de peso significativas.

En el ensayo de coordenadas cromáticas se observó que todos los mármoles presentaron variaciones en los parámetros cromáticos medidos después de los ensayos de heladicidad o choque térmico, pero los fueron en porcentajes muy pequeños. En algunos casos, como el del mármol fajeado de La Despreciada, la propia variación cromática del material hace que los resultados sean dispares.

Los resultados de las plaquetas pulidas indican que todos los materiales presentan una adecuada aptitud al pulido y en algunos casos podrían tener interés desde el punto de vista comercial.

7. SONDEOS

7.1. SELECCIÓN DE OBJETIVOS PARA LA CAMPAÑA DE SONDEOS.

Uno de los objetivos de este trabajo es la definición de sectores de afloramiento de la *Fm. Caliza Urbana* que presenten un potencial geológico-minero, y donde se realizaron una serie de sondeos mecánicos durante la segunda fase del proyecto de investigación.. El conocimiento adquirido durante la realización del estudio sobre las características estructurales de cada uno de los afloramientos de rocas carbonatadas permitió seleccionar varios objetivos.

La justificación de estos objetivos viene establecida por los siguientes factores:

- Accesibilidad de las herramientas de sondeo
- Composición litológica, color de la roca, texturas y tamaño de grano adecuados
- Potencia de la capa y extensión del afloramiento
- Macroestructura del afloramiento
- Grado de fracturación a la mesoescala
- Presencia de heterogeneidades (grado de meteorización, karstificación, etc.)

En base a estas características, los afloramientos seleccionados donde se concentraron los trabajos en la fase del Proyecto son:

- Afloramiento I: Cantera de La Despreciada;
- Afloramiento II: El Casar-Río Guarrizas;
- Afloramiento V: La Ballesterá;

En las Figs. 7.1 y 7.2 se muestra la localización de dichos afloramientos seleccionados de la *Formación Caliza Urbana* en la zona estudiada. Sin embargo, la validación final de estos objetivos va a depender también de otros factores, principalmente los condicionantes técnico-comerciales de la roca como ornamental.

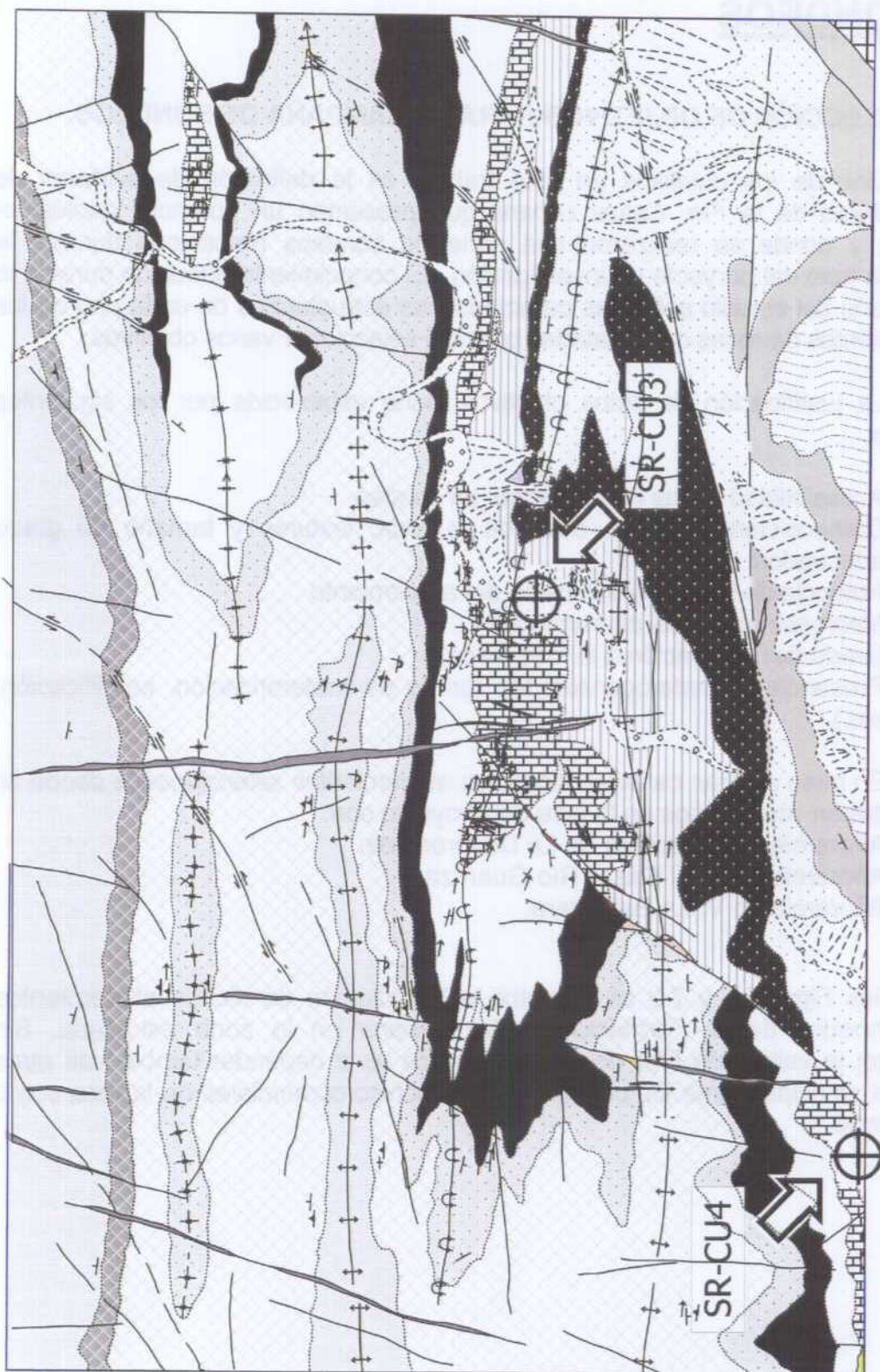


Fig. 7.1. Afloramientos seleccionados de la *Formación Caliza Urbana* en el sector occidental de la zona estudiada, con localización de los sondeos realizados.



Fig. 7.2. Afloramientos seleccionados de la *Formación Caliza Urbana* en el sector oriental de la zona estudiada, con localización de los sondeos realizados.

7.2. TESTIFICACION DE LOS SONDEOS

En la testificación de las columnas de sondeo de *la Formación Caliza Urbana* que sigue a continuación, se incluye la descripción de las características estructurales macroscópicas de cada afloramiento sondeado, de los distintos tipos de facies de mármoles observadas en los testigos recuperados y de su distribución a lo largo de cada uno de los sondeos.

La testificación completa y detallada de los mismos se incluye en el Anexo 12.2. La interpretación de estos datos, junto con las características litológico-geomecánicas de los testigos, van a permitir establecer una zonación de sondeos en base a los objetivos del presente proyecto. A continuación, el estudio estadístico descriptivo de las discontinuidades (fracturas y boqueras) presentes en los testigos va a permitir cuantificar algunos aspectos geomecánicos del macizo rocoso, como por ejemplo el tamaño de bloque medio o el sondeo menos fracturado. Finalmente, la modelización geoestadística ha permitido correlacionar lateralmente los sondeos, proponer modelos en 2-D y 3-D sobre la distribución de las distintas facies de mármoles entre los sondeos y cuantificar el volumen de reservas para cada facies.

7.2.1. Descripción estructural de los afloramientos

Tal y como se ha indicado anteriormente, los afloramientos de *la Formación Caliza Urbana* seleccionados para la realización de sondeos fueron:

- Afloramiento I: Cantera La Despreciada;
- Afloramiento II: El Casar-Río Guarrizas;
- Afloramiento V: La Ballesterá;

En la descripción estructural de los afloramientos se incluye, para cada uno de ellos: un corte geológico de la macroestructura con indicación de la situación del sondeo; la orientación general de mesoestructuras tales como la esquistosidad S1, pliegues, diaclasas, etc.; y una estimación del Índice de Fracturación. El Índice de Fracturación utilizado en el presente trabajo es el número de discontinuidades estructurales existentes por unidad de longitud, ya sea medida en el afloramiento o longitudinalmente en el testigo de sondeo.

7.2.1.1. Afloramiento I: Cantera La Despreciada

El afloramiento de la *Formación Caliza Urbana* en la Cantera La Despreciada está localizado en el extremo SO de la zona estudiada (Fig. 7.1), localizado ya en el límite entre las Hojas del MTN de Aldeaquemada y Santiesteban del Puerto. Se trata de un nivel carbonatado de unos 20 m de potencia que aflora en el flanco meridional de una estructura anticlinal de F1, asimétrica y de plano axial subvertical o buzando un alto ángulo al N (Anexo 12.1). El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 7.3.

La orientación de la estratificación, S0, medida es de O-E a ONO-ESE, con ángulos de buzamiento bajos (entre 0° y 30°) al S. La esquistosidad S1 presenta una orientación ONO-ESE y se dispone subvertical o buzando ángulos medios (entre 30° y 60°) al N. Los ejes de pliegues D1 menores y la lineación de intersección entre S0 y S1, muestran una orientación ONO-ESE y ángulos de inmersión en general muy bajos (menores de 10°) al E. Los diagramas de frecuencia de la orientación de discontinuidades (Capítulo 5), permiten distinguir dos familias conjugadas de orientación NNE-SSO a NE-SO y O-E a ONO-ESE, respectivamente. El Índice de Fracturación obtenido a lo largo de un perfil superficial de orientación N290°E es de 0,37, indicativo de una densidad de fracturación baja en la estación. Para las dos familias de discontinuidades O-E a ONO-ESE y NNE-SSO a NE-SO presentes, los espaciados más frecuentes (>40%) son entre 1 y 2,5 m, aunque se reconocen también frecuencias altas (>20%) para los espaciados de 0-1 m y 2,5-6,25 m.

En el afloramiento de la Cantera La Despreciada se ha realizado el sondeo SR-CU4 (Anexo 12.2).

AFLORAMIENTO I: CANTERA LA DESPRECIADA

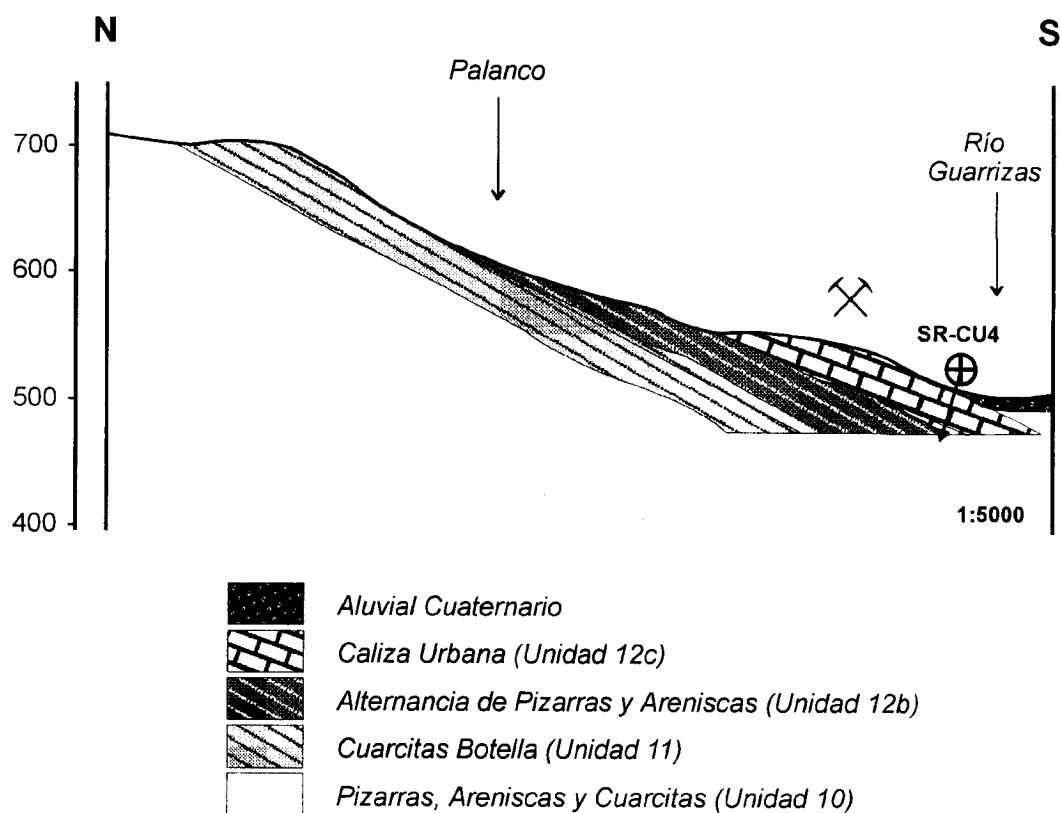


Fig. 7.3. Corte estructural esquemático del Afloramiento I de la Cantera La Despreciada, seleccionado en el estudio de la *Formación Caliza Urbana*, mostrando la localización del sondeo realizado SR-CU4.

7.2.1.2. Afloramiento II: Sinclinal de El Casar-Río Guarrizas

En la zona estudiada, la mayor extensión de afloramiento de la *Formación Caliza Urbana* es el localizado en el sector de El Casar-Río Guarrizas. Este afloramiento se sitúa en el área central del sector occidental (Fig. 7.1), localizado en el término municipal de la localidad de Vilches. La potencia del nivel carbonatado de, al menos, unos 35-40 m, aflorando en el núcleo de un par de pliegues sinclinal-anticlinal de F1, vergentes al S y de flanco septentrional verticalizado e incluso ligeramente invertido (Figs. Anexas I y III). El plano axial de las estructuras se dispone buzando un ángulo medio al N. El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 7.4.

Los elementos estructurales fueron medidos en dos estaciones: II-a y II-b (Capítulo 5), correspondientes a las zonas de charnela D1 que forman el afloramiento. situadas. En la estación II-a la estratificación muestra una orientación ONO-ESE y ángulos medios-bajos de buzamiento al S, lo cual es consistente con su ubicación en el flanco normal del sinclinal de F1 septentrional. Las discontinuidades definen una única familia de orientación general NNE-SSO, aunque se observa una cierta dispersión en ella. En la estación II-b, la estratificación se dispone con una orientación ONO-ESE y ángulos de buzamiento muy altos al N, como corresponde con su situación en el flanco inverso del anticlinal de F1 meridional. Las discontinuidades que aparecen en este sector definen dos familias ENE-OSO y ONO-ESE de desigual desarrollo. El Índice de Fracturación medido a lo largo de dos perfiles superficiales de orientación N30°E y N120°E es de 1,17 y 1,05, respectivamente, obteniéndose un valor medio de 1,11 para la estación correspondiente a una densidad de fracturación media-alta. Los espaciados más frecuentes son entre 0 y 1 m, superiores al 60%, aunque se reconocen frecuencias altas (>30%) para los espaciados entre 1-2,5 m.

En el afloramiento del sector de El Casar-Río Guarrizas se ha realizado el sondeo SR-CU3 (Anexo 12.2).

AFLORAMIENTO II: EL CASAR-RIO GUARRIZAS

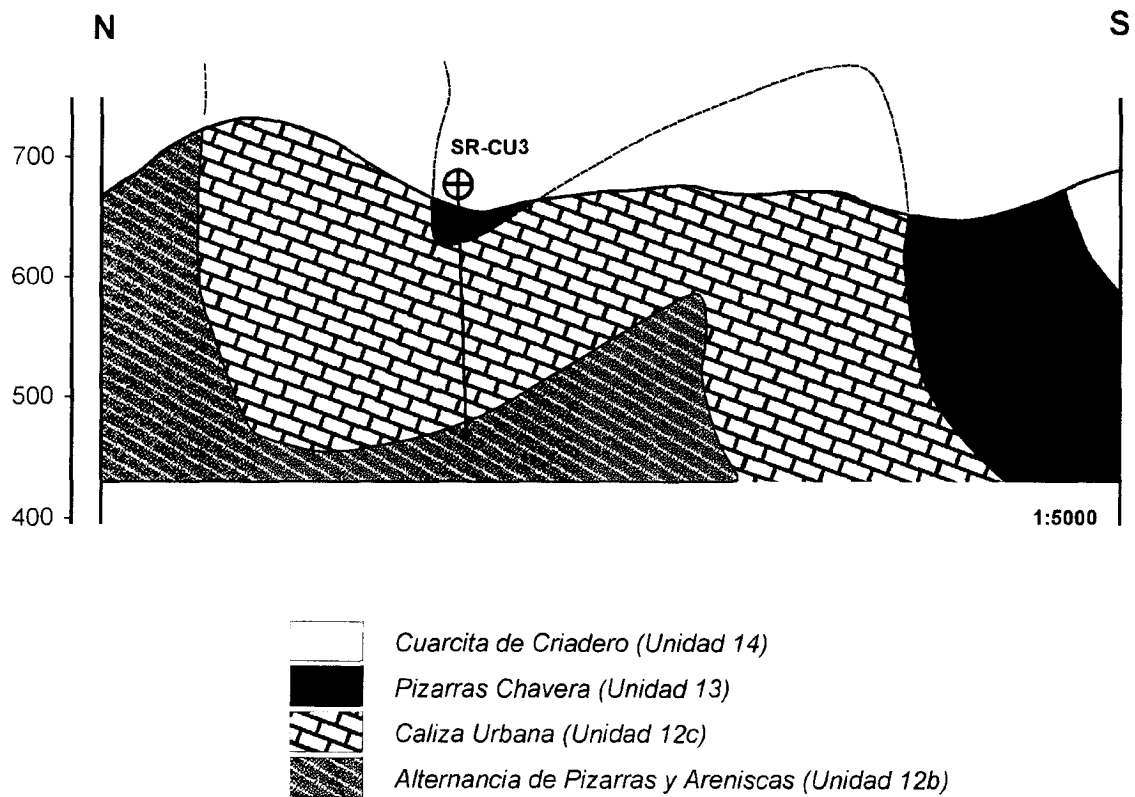


Fig. 7.4. Corte estructural esquemático del Afloramiento II del Sinclinal de El Casar-Río Guarrizas, seleccionado en el estudio de *la Formación Caliza Urbana*, mostrando la localización del sondeo realizado SR-CU3.

7.2.1.3. Afloramiento V: La Ballestera

El afloramiento de La Ballestera está localizado a 1-2 km al este del afloramiento del Arroyo de Los Tejos, en las inmediaciones del paraje denominado el Colmenar de La Ballestera, en el sector oriental (Fig. 7.2). Los carbonatos forman también aquí morfológicamente una barra subvertical homoclinal, de unos 30-35 m de potencia, localizada en el flanco septentrional verticalizado del Sinclinal de Torre Alver de F1 (Anexo 12.1). El corte estructural del afloramiento se muestra en la Fig. 7.5.

La orientación de la estratificación, S0, medida es O-E, con ángulos de buzamiento muy altos (entre 75° y 90°) al S. La esquistosidad S1 presenta una orientación O-E a ONO-ESE y se dispone buzando ángulos medios-altos al N (entre 40° y 75°). El diagrama de frecuencia de la orientación de las diaclasas muestra la existencia una familia principal de orientación NNE-SSO a N-S. La estratificación y la esquistosidad son más irregulares en este afloramiento debido a la fuerte recrystalización/ dolomitización, sin que definan un plano claro de discontinuidad. El Índice de Fracturación obtenido a lo largo de un único perfil de orientación N200°E es de 1,18, indicativo de una densidad de fracturación media-alta en la estación.

En el afloramiento de la Ballestera se han realizado los sondeos SR-CU1 y SR-CU2 (Anexo 12.2).

AFLORAMIENTO V: LA BALLESTERA

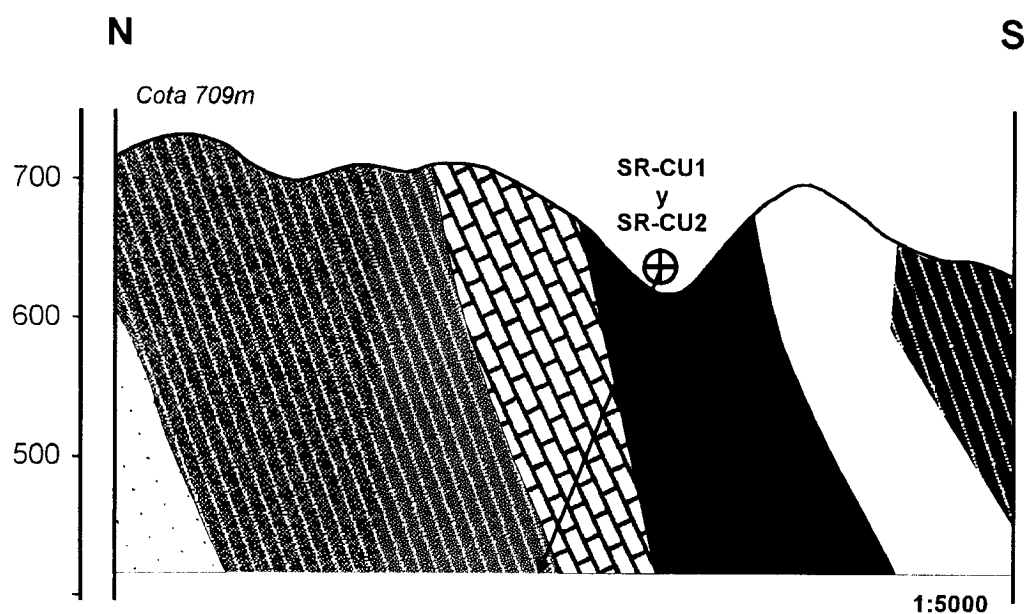


Fig. 7.5. Corte estructural esquemático del Afloramiento V de la Ballestera, seleccionado en el estudio de *la Formación Caliza Urbana*, mostrando la localización de los sondeos realizados SR-CU1 y SR-CU2.

7.2.2. Tipos litológicos de mármoles

En las columnas de sondeos obtenidos de la *Formación Caliza Urbana* se han reconocido cuatro facies generales de mármoles y calizas marmóreas. Estas facies son (Fig. 7.6):

- Facies de mármoles blancos, bandeados, calcíticos y dolomíticos
- Facies de mármoles ocre y cremas, oquerosos, dolomíticos
- Facies de mármoles tostados y ocre oscuros, muy oquerosos, con abundantes rellenos drúsicos calcíticos (coqueras)
- Facies de mármoles microbandeados, blanco-verdosos, con fósiles e intraclastos, calcíticos y dolomíticos

Otras litologías recuperadas son tramos de pizarras verdes o negras grafitosas, de las *Formaciones Bancos Mixtos* y *Pizarras Chavera*.

En el Anexo 12.5 se muestran varias fotografías del aspecto macroscópico de estas facies litológicas. En el Anexo 12.4 se incluye la descripción mineralógica y microtextural de las distintas facies de mármoles, incluyendo numerosas microfotografías en el Anexo 12.5.

7.2.2.1. Facies 1. Mármoles blancos, bandeados, calcíticos y dolomíticos

Los mármoles de esta facies presentan colores claros, grano fino a muy fino, y una estructura en bandas blancas y grises claras, en sectores anastomosada, alternantes a la escala centimétrica y milimétrica (Lám. XVI, arriba). Presenta muy escasas oquedades en el centro de las venas blancas calcíticas de mayor tamaño, aisladas. Estos mármoles pasan a la Facies 2 dolomítica en relación a la presencia de pequeñas venas, oquedades, drusas y discontinuidades, siendo el contacto bastante neto (Lámina XVII) y coincidiendo, en ocasiones, con una zona de mármol ocre oscuro (tostado) con abundantes rellenos drúsicos y cavidades. A lo largo de tramos de potencia decimétrica-métrica, la Facies 1 puede alternar con la Facies 2 a la escala decimétrica (Lám. XVII, abajo). Localmente, los mármoles blancos bandeados presentan también pequeñas oquedades y fisuras rellenas de óxidos ocre y rojos (pátinas).

7.2.2.2. Facies 2. Mármoles ocre y cremas, oquerosos, dolomíticos

Los mármoles de esta facies son de color crema claro a crema marrón, de grano medio a grueso, en unos sectores de aspecto homogéneo sacaroideo y en otros bandeados de coloración más heterogénea (Lám. XVIII, abajo). El bandeo es resultado de la superposición sobre un sedimento carbonatado con variable proporción de terrígenos de procesos variados, tanto sedimentarios como diagenéticos y deformativos, entre los que cabe destacar: la recristalización del protolito como consecuencia de la deformación y metamorfismo de grado muy bajo, la dolomitización en bandas, la formación de oquedades subconcordantes a la estratificación, los rellenos drúsicos calcíticos

blancos idiomorfos de grano grueso, y la tinción ocre distribuida irregularmente según venas y filones discordantes, intraclastos o irregularidades en la roca. Por lo tanto, la Facies 2 es principalmente consecuencia del movimiento de fluidos y disolución, la dolomitización y tinción de la Facies 1. Respecto a la facies de mármoles blancos calcíticos, la dolomitización genera una roca más frágil, de grano más grueso y con mayor porosidad. En algunas bandas de espesor milimétrico-centimétrico, las oquedades generalmente concordantes con el bandeado son muy abundantes, coincidiendo con una coloración del testigo más oscura, de ocre a tostado (tránsito a la Facies 3). Parte de las oquedades han sido rellenas por calcita, a lo largo fundamentalmente de dos etapas: (1) externa y consistente en un agregado de grano fino traslúcido; y (2) interna y consistente en un agregado de calcita idiomorfa transparente (drusas irregulares), que no llega normalmente a ocluir la cavidad.

7.2.2.3. Facies 3. Mármoles tostados y ocre oscuros, muy oquerosos, con abundantes rellenos drúsicos calcíticos (coqueras)

Los mármoles de esta facies aparecen a lo largo de tramos de potencia decimétrica, que raramente sobrepasan 1,5 m de potencia. Sin embargo en algunos tramos del testigo son bastante abundantes. Se trata de mármoles dolomíticos, de color ocre oscuro a marrón, de grano fino-medio y aspecto muy heterogéneo (Lám. XIX). Son resultado de los procesos de dolomitización, disolución con formación de oquedades subconcordantes, movimiento de fluidos a través de ellas, rellenos de calcita drúsica blanca de grano muy grueso y cementación asociada en los bordes. Los procesos de disolución siguen tanto los planos de estratificación originales, como las superficies de discontinuidad, llegando en algunos sectores a formar una proporción de cavidades importante, que puede llegar al 40-50%. Los rellenos drúsicos están formados por calcita blanca (en sectores también más oscura), de grano grueso a muy grueso, formando agregados de cristales romboidales y hojosos, que ocluyen completamente la cavidad en escasas ocasiones. Lo normal es que entre los rellenos drúsicos exista una cavidad irregular y abierta al movimiento de fluidos, como evidencian las pátinas de carbonatos y óxidos oscuros muy finos superpuestos. La cementación del entorno a la oquedad (coquera) da lugar a un aumento relativo de competencia y resistencia de este dominio. El tránsito entre la Facies 2 y la 3 es también bastante neto y controlado por la presencia de cavidades y/o discontinuidades (Lám. XIX).

7.2.2.4. Facies 4. Mármoles microbandeados, blanco-verdosos, con fósiles e intraclastos, calcíticos y dolomíticos

Esta facies es muy local y restringida a los niveles basales de la *Formación Caliza Urbana*. Debe corresponderse con los niveles lumaquéllicos y de calizas bioclásticas y calcareníticas basales, descritos por Lillo et al. (1997). Estos mármoles han sido recuperados en la base del sondeo SR-CU3, donde define un tramo de 7-8 m de potencia bastante heterogéneo.

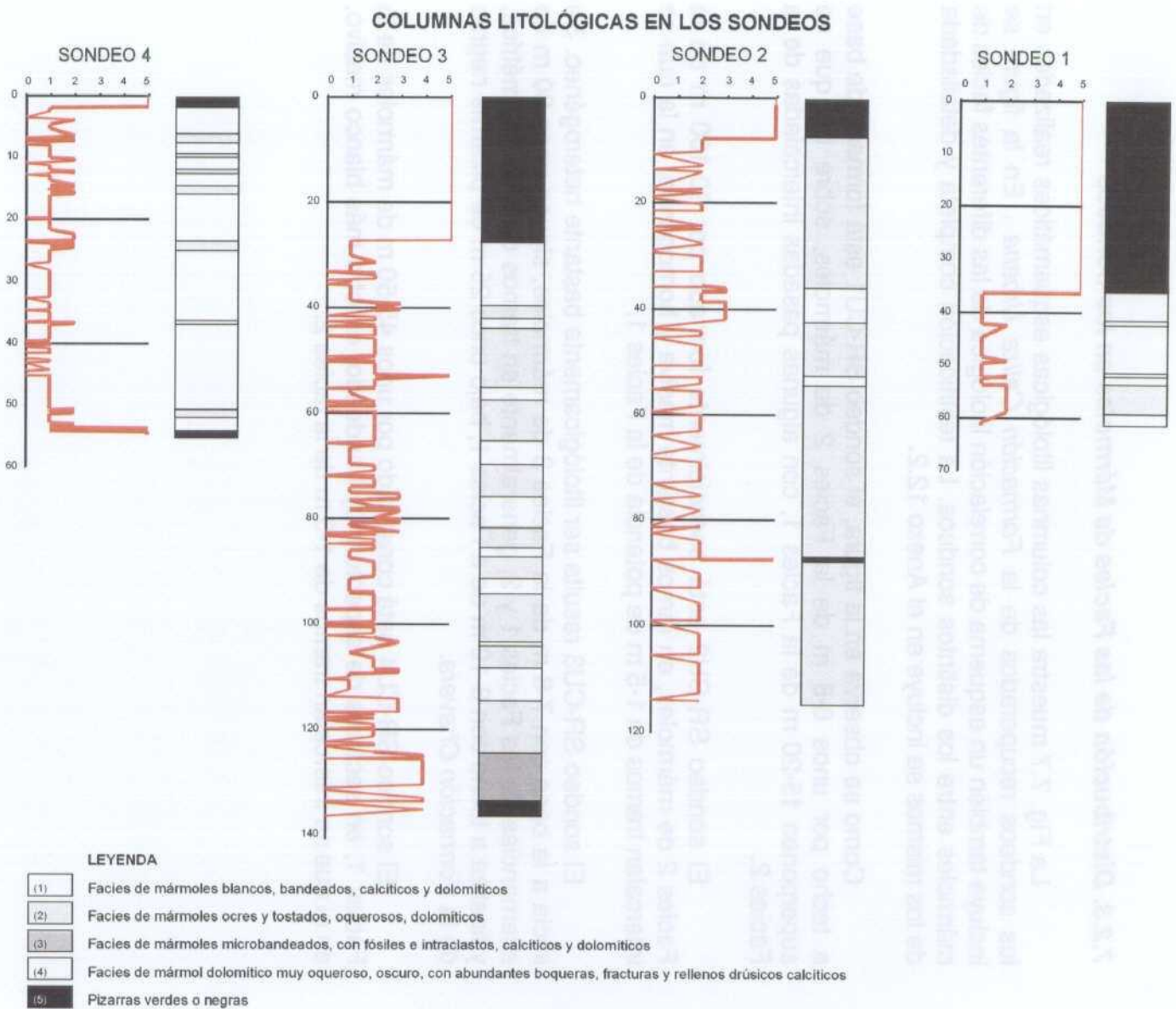


Fig. 7.6. Columnas litológicas de los sondeos realizados en la *Formación Caliza Urbana* mostrando la distribución de las cuatro facies generales de mármoles y calizas marmóreas distinguidas.

7.2.3. Distribución de las Facies de Mármoles en los Sondeos

La Fig. 7.7 muestra las columnas litológicas esquemáticas realizadas en los sondeos recuperados de la *Formación Caliza Urbana* . En la figura se incluye también un esquema de correlación litológica de las diferentes facies de mármoles entre los distintos sondeos. La testificación completa y detallada de los mismos se incluye en el Anexo 12.2.

Como se observa en la figura, el sondeo SR-CU1 está formado de base a techo por unos 6-8 m de la Facies 2 de mármoles, sobre los que se superponen 15-20 m de la Facies 1, con algunas pasadas intercaladas de la Facies 2.

El sondeo SR-CU2 está esencialmente formado por 90-100 m de la Facies 2 de mármoles, en ramos bastante masiva y homogénea, en la que se intercalan tramos de 1-5 m de potencia de la Facies 1.

El sondeo SR-CU3 resulta ser litológicamente bastante heterogéneo. Se inicia a la base con 7-8 m de la Facies 3 de mármoles, siguen unos 80 m de alternancias de las Facies 1 y 2, generalmente en tramos de potencia métrica, y finaliza a techo con 8-10 m de la Facies 1, bajo unos 25 m de pizarras negras de la *Formación Chavera*.

El sondeo SR-CU4 está constituido por unos 45-50 m de mármoles de la Facies 1, en sectores de aspecto muy bandeado, en otro más blanco masivo, en el que se intercalan tramos de 1-3 m de la facies 2.

COLUMNAS LITOLÓGICAS EN LOS SONDEOS

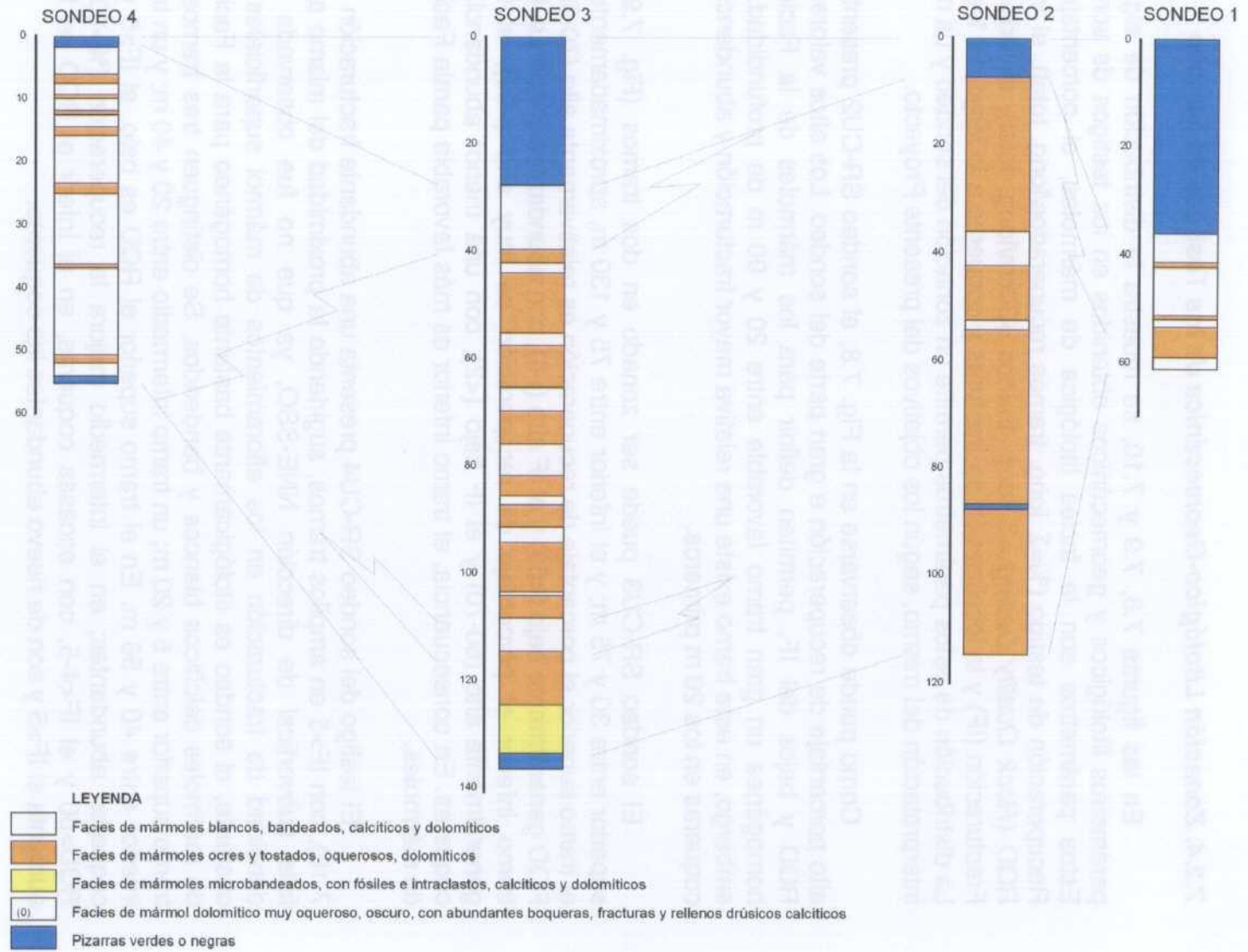


Fig. 7.7. Esquema de correlación litológicas entre las diferentes facies de mármoles en los 4 sondeos realizados en la *Formación Caliza Urbana* de la zona estudiada. Notar el cambio lateral de la facies 1 a la 2 siguiendo la dirección O-E

7.2.4. Zonación Litológico-Geomecánica de los Testigos de Sondeo

En las figuras 7.8, 7.9 y 7.10, se muestra la distribución de algunos parámetros litológicos y geomecánicos obtenidos en los testigos de sondeo. Estos parámetros son la facies litológica de mármoles, el porcentaje de Recuperación de testigo ($\% = \Sigma \text{ long. tramos recuperados / long. total}$), el Índice RQD (*Rock Quality Desing* $= \Sigma \text{ long. tramos } > 30\text{cm} / \text{long. total}$), el Índice de Fracturación (IF) y la localización de fracturas y coqueras a lo largo del testigo. La distribución de estos parámetros permite un zonación del sondeo y una mejor interpretación del mismo, según los objetivos del presente Proyecto.

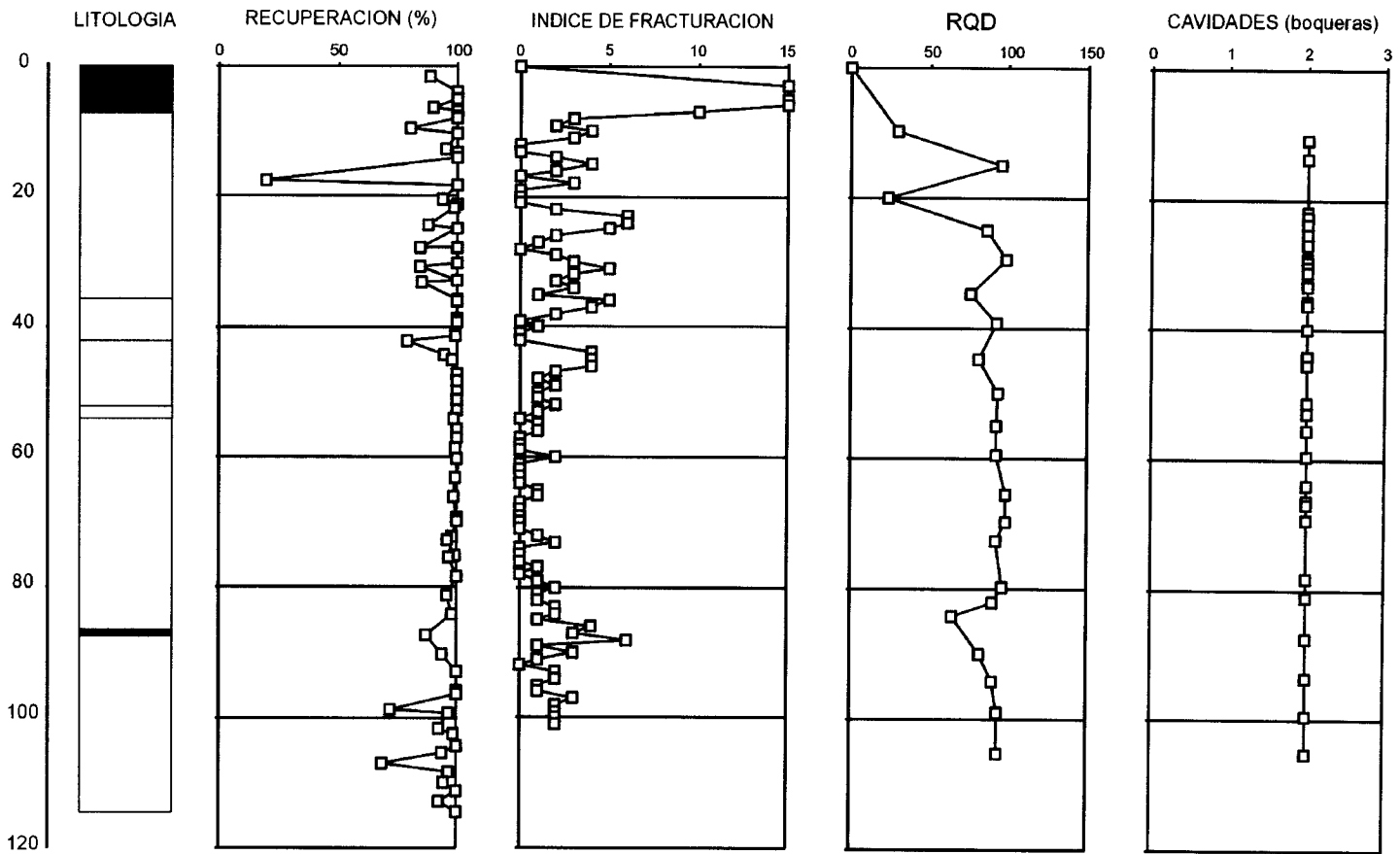
Como puede observarse en la Fig. 7.8, el sondeo SR-CU2 presenta un alto porcentaje de recuperación e gran parte del sondeo. Los altos valores del RQD y bajos del IF, permiten definir para los mármoles de la Facies 2 homogénea un gran tramo favorable entre 20 y 90 m de profundidad. Sin embargo, en este tramo existe una relativa mayor fracturación y abundancia de coqueras en los 20 m primeros.

El sondeo SR-CU3 puede ser zonado en dos tramos (Fig. 7.9): el superior entre 30 y 75 m; y el inferior entre 75 y 130 m, aproximadamente. En el tramo superior el porcentaje de recuperación es relativamente alto (70-90), el RQD generalmente bajo (<50) y el IF alto (>4), con abundantes coqueras. En el tramo inferior el porcentaje de recuperación es muy alto (>90), el RQD generalmente alto (60-70) y el IF bajo (<2), con una menor abundancia de coqueras. En consecuencia, el tramo inferior es más favorable para la Facies 2 de mármoles.

El testigo del sondeo SR-CU4 presenta una abundante fracturación (Fig. 7.10), con $\text{IF} > 5$ en amplios tramos, sugiriendo la proximidad del mismo a una falla subvertical de dirección NNE-SSO, ya que no fue observada esta densidad de fracturación en los afloramientos de mármol superficiales. No obstante, el sondeo es litológicamente bastante homogéneo para la Facies 1 de mármoles calcíticos blancos y bandeados. Se distinguen tres tramos: un tramo superior entre 5 y 20 m; un tramo intermedio entre 20 y 40 m; y un tramo inferior entre 40 y 56 m. En el tramo superior el RQD es bajo, el $\text{IF} > 5$ y las coqueras abundantes; en el intermedio mejora la recuperación ($\% > 90$), el $\text{RQD} > 60$ y el $\text{IF} < 4-5$, con escasas coqueras, en el inferior el RQD es bajo, aumenta el $\text{IF} > 5$ y son de nuevo abundantes las coqueras.

En resumen, estos resultados permiten proponer el afloramiento de La Ballestería, perforado por el SR-CU2, como el más favorable desde un punto de vista geomecánico para la explotación de los mármoles de la Facies 2.

SONDEO SR-Caliza Urbana 2



LEYENDA






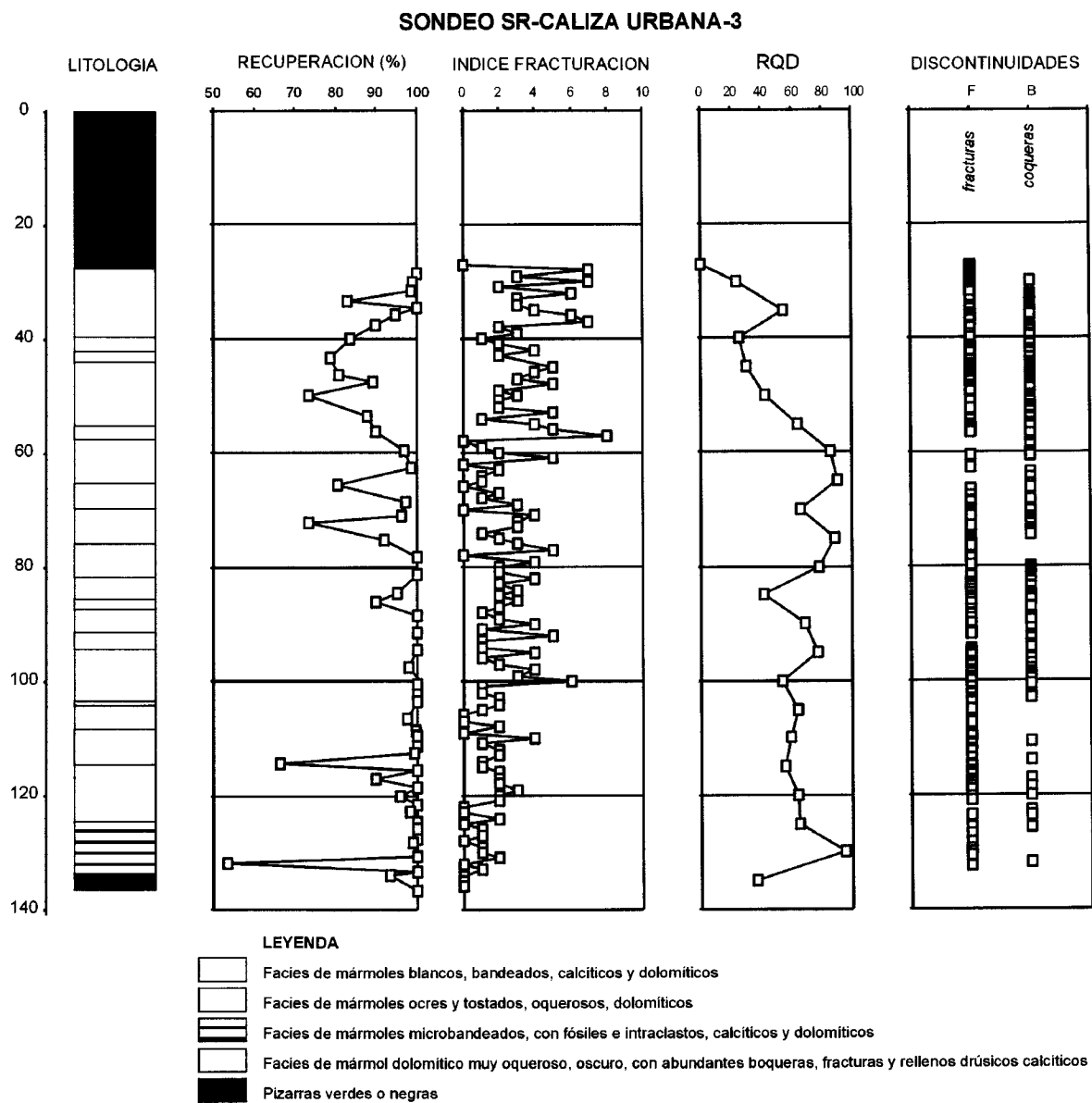
-  Facies de mármoles blancos, bandeados, calcíticos y dolomíticos
-  Facies de mármoles ocre y tostados, oquerosos, dolomíticos
-  Facies de mármoles microbandeados, con fósiles e intraclastos, calcíticos y dolomíticos
-  Facies de mármol dolomítico muy oqueroso, oscuro, con abundantes boqueras, fracturas y rellenos drúsicos calcíticos
-  Pizarras verdes o negras

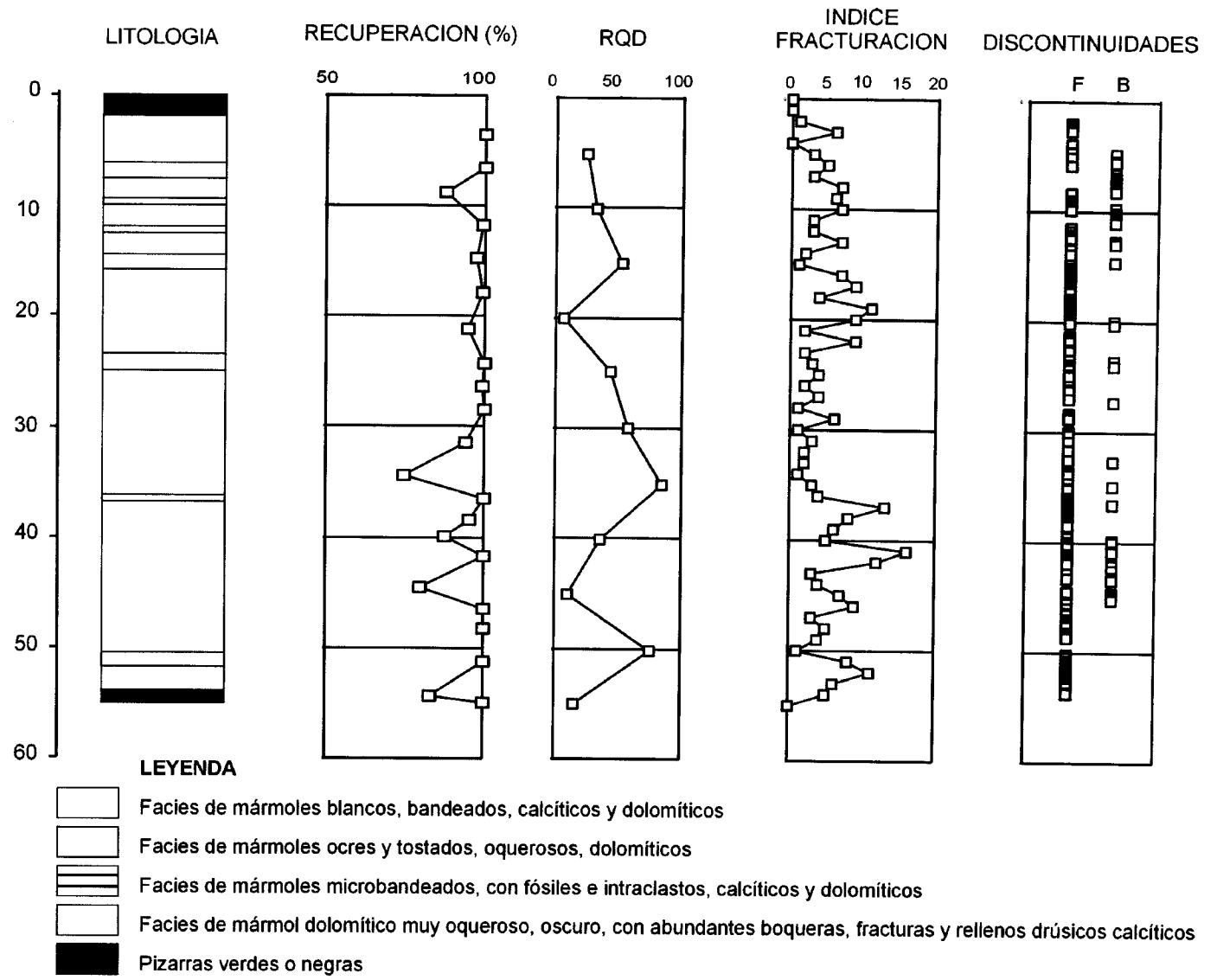
Fig. 7.8. Distribución de parámetros litológicos y geomecánicos a lo largo del testigo de sondeo SR-CU2.

Fig. 7.9. Distribución de parámetros litológicos y geomecánicos a lo largo del testigo de sondeo SR-CU3.



SONDEO SR-CALIZA URBANA-4

Fig. 7.10. Distribución de parámetros litológicos y geomecánicos a lo largo del testigo de sondeo SR-CU4.



7.2.5. Estadística Descriptiva de Discontinuidades en los Testigos de Sondeo

En este apartado se presenta la estadística descriptiva univariante de los espaciados medidos entre discontinuidades en cada sondeo. Las discontinuidades consideradas son principalmente fracturas (pequeñas fallas y diaclasas) y cavidades (coqueras y drusas). En la Tabla 1 se muestra la estadística descriptiva para cada sondeo de los espaciados entre todas las discontinuidades, fracturas y coqueras consideradas en conjunto, entre fracturas y entre coqueras. En los histogramas de las Figs. 7.11, 7.12 y 7.13, se han representado las poblaciones resultantes para cada sondeo. A continuación se describen brevemente los resultados.

Las distribuciones de frecuencias resultantes para los espaciados totales en cada sondeo son de tipo exponencial negativo, con una asimetría general positiva y kurtosis entre 8 y 20. Más del 90% de los espaciados son <1 m. Para este intervalo de clases, la moda dominante es de 0,2 m y de 0,1 en el sondeo SR-CU4 más fracturado. Los valores medios son de 0,77 en el SR-CU2, 0,29 en el SR-CU3 y 0,18 en el SR-CU4, destacando la alta desviación estándar (1,12) del primero y la baja (0,12) del último, lo que se traduce en la existencia de bloques más heterométricos en el primero y más homométricos (pero pequeños) en el segundo, respectivamente. Las distribuciones de frecuencias resultantes para los espaciados entre fracturas en cada sondeo son también de tipo exponencial negativo, con asimetría positiva y kurtosis entre 9 y 12. De nuevo, más del 90% de los espaciados son <1 m. Destaca la presencia de interesantes *outliers* en el sondeo SR-CU2 de entre 2 y 10 m, que dan cuenta de una subpoblación correspondiente a sectores del macizo rocoso poco fracturados. Para los intervalos de clases elegidos, la moda dominante es igualmente de 0,2 m y de 0,1 en el sondeo SR-CU4 más fracturado. Los valores de espaciado medio resultantes son de 0,88 en el SR-CU2, 0,29 en el SR-CU3 y 0,24 en el SR-CU4. El SR-CU2 presenta una desviación estándar alta (1,36) y el SR-CU4 baja (0,33), que refleja espaciados de magnitud más variable y más constante (pero pequeña), respectivamente.

En los espaciados entre coqueras, las distribuciones de frecuencias exponenciales negativas están menos definidas, especialmente en el sondeo SR-CU2 donde es errática. En el SR-CU3 y el SR-CU4 se sigue obteniendo una moda de 0,2, para el intervalo de clases elegido, menos definida en el primero y con numerosos *outliers* >1 m en el segundo. Gran parte de los espaciados entre coqueras son <1,5 m, excepto en el SR-CU2 donde los espaciados son generalmente >1,5 m e incluso >3 m. Los valores medios son de 2,95 en el SR-CU2, 0,31 en el SR-CU3 y 0,80 en el SR-CU4, para las altas desviaciones estándar de 2,41, 0,28 y 1,27, respectivamente. De nuevo, la alta desviación estándar del SR-CU2 indica la existencia de bloques más heterométricos, aunque de gran tamaño.

En resumen, estos resultados permiten proponer el afloramiento de La Ballestera, perforado por el SR-CU2, como el más favorable para la explotación de los mármoles de la Facies 2.

Tabla 7.1. Estadística descriptiva de los espaciados de discontinuidades en los testigos de los sondeos de la Fm. Caliza Urbana

ESPACIADOS Totales (Fracturas y Coqueras)

	SR-CA2	SR-CA3	SR-CA4
Media	0,769	0,295	0,184
Error Estándar	0,088	0,017	0,012
Mediana	0,430	0,200	0,120
Moda (muestra)	0,100	0,100	0,100
Desviación Estándar	1,123	0,305	0,196
Varianza (muestra)	1,262	0,093	0,038
Kurtosis	19,58	8,59	12,28
Asimetría	3,845	2,619	3,151
Rango	8,880	2,050	1,460
Mínimo	0,000	0,010	0,020
Máximo	8,880	2,060	1,480
Suma	125,4	97,4	48,5
Número	163,0	330,0	264,0
Nivel Confianza (95%)	0,174	0,033	0,024

ESPACIADOS entre Fracturas

	SR-CA2	SR-CA3	SR-CA4
Media	0,888	0,287	0,239
Error Estándar	0,125	0,024	0,022
Mediana	0,400	0,180	0,120
Moda (muestra)	0,500	0,070	0,100
Desviación Estándar	1,363	0,324	0,331
Varianza (muestra)	1,859	0,105	0,109
Kurtosis	9,081	10,32	11,52
Asimetría	2,914	2,943	2,890
Rango	7,770	2,040	2,710
Mínimo	0,060	0,020	0,260
Máximo	7,830	2,060	2,450
Suma	105,7	54,6	51,8
Número	119,0	190,0	217,0
Nivel Confianza (95%)	0,248	0,046	0,044

ESPACIADOS entre Coqueras

	SR-CA2	SR-CA3	SR-CA4
Media	2,953	0,308	0,791
Error Estándar	0,433	0,024	0,178
Mediana	2,260	0,215	0,210
Moda (muestra)	-	0,150	0,100
Desviación Estándar	2,413	0,279	1,268
Varianza (muestra)	5,821	0,078	1,607
Kurtosis	0,006	4,282	5,920
Asimetría	0,937	1,949	2,454
Rango	8,870	1,596	5,420
Mínimo	0,130	0,014	0,000
Máximo	9,000	1,610	5,420
Suma	91,55	42,45	40,36
Número	31,00	138,00	51,00
Nivel Confianza (95%)	0,885	0,047	0,357

HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

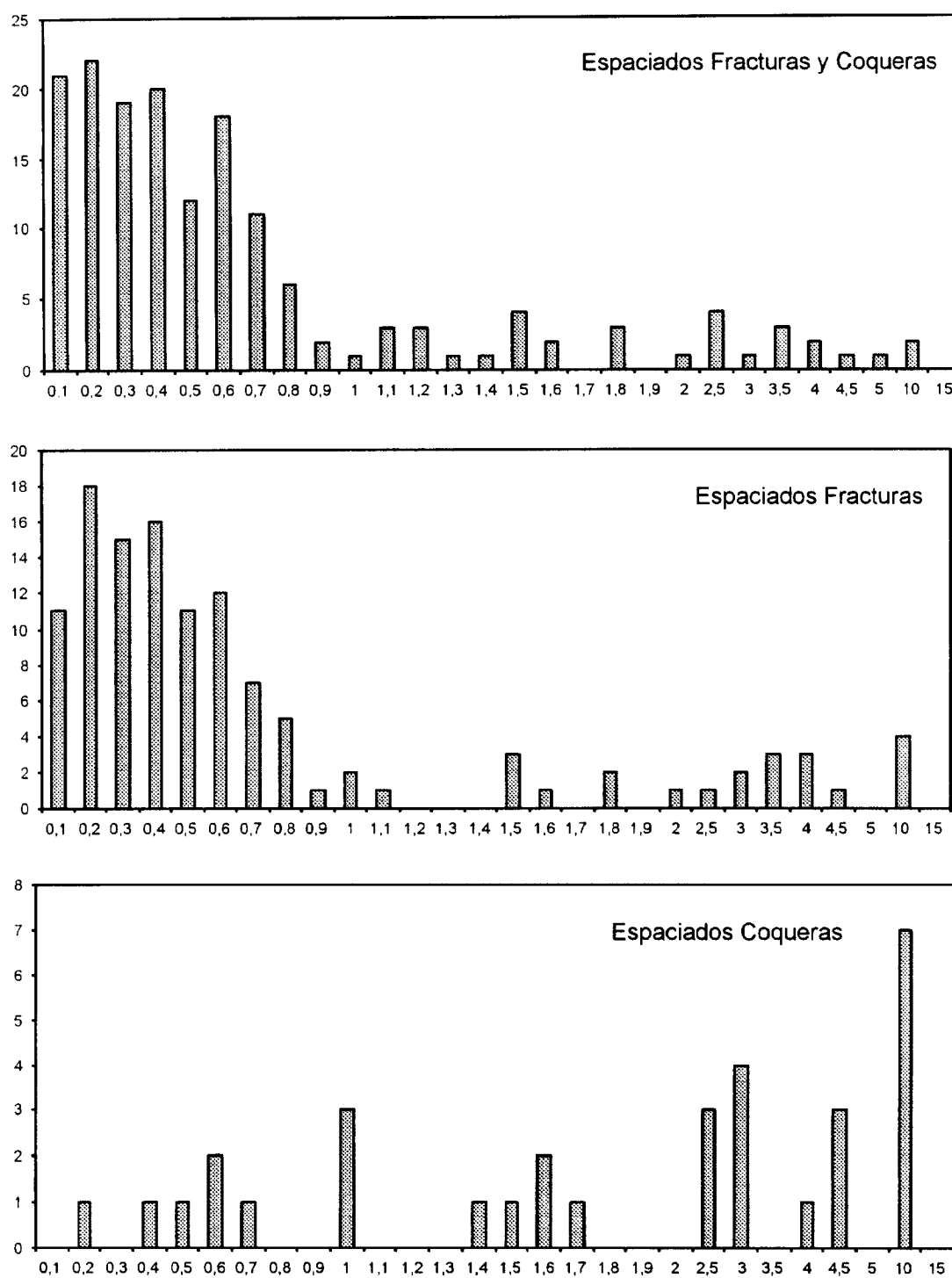


Fig. 7.11. Histogramas de frecuencia de espaciados medidos en el sondeo SR-CU2.

HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

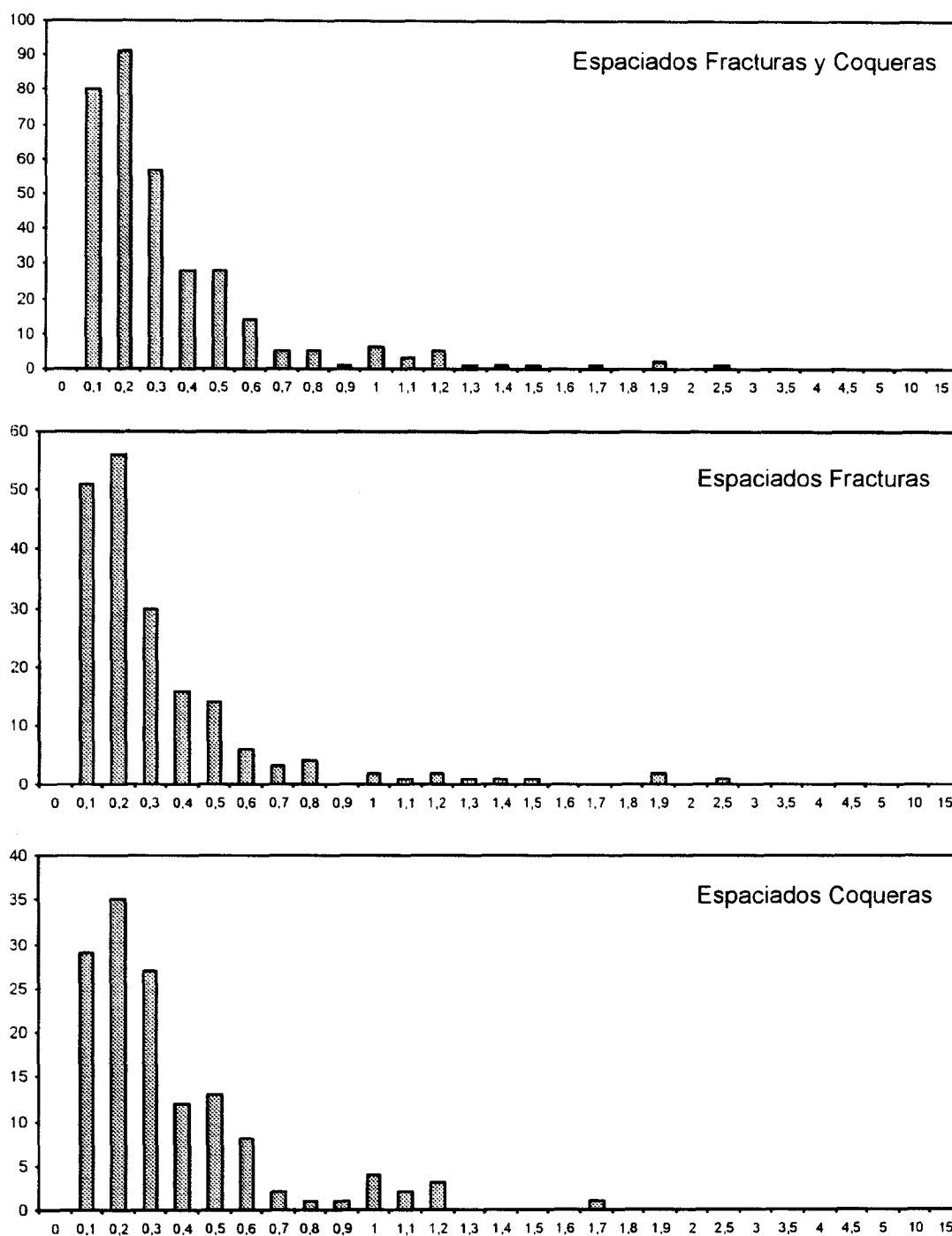


Fig. 7.12. Histogramas de frecuencia de espaciados medidos en el sondeo SR-CU3.

HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

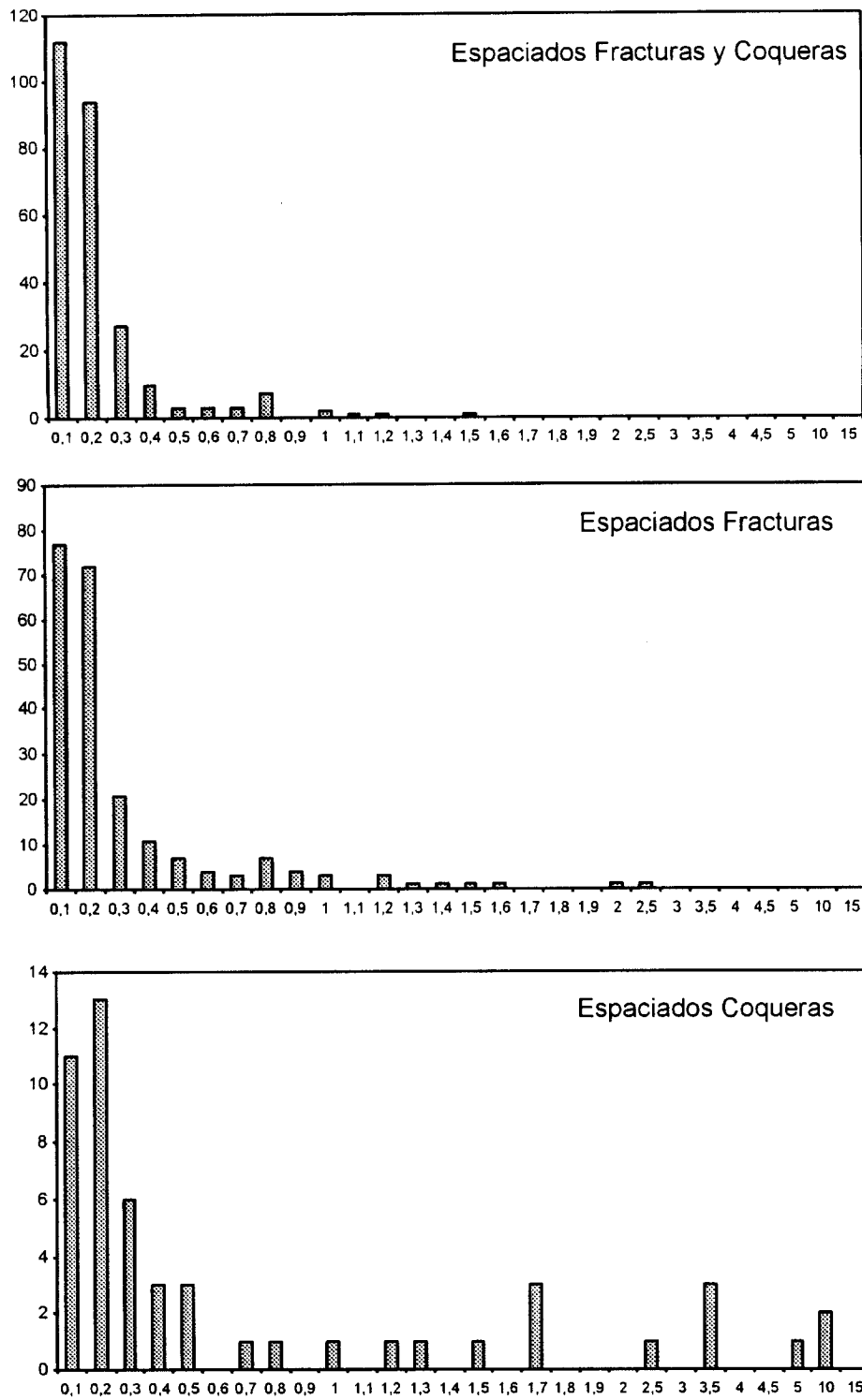


Fig. 7.13. Histogramas de frecuencia de espaciados medidos en el sondeo SR-CU4.

7.2.6. Modelos Geoestadísticos de la distribución de Facies de Mármoles en 2-D y 3-D.

En este apartado se presenta la distribución espacial de las dos principales facies de mármoles distinguidas en la zona estudiada, obtenida como resultado de una modelización geoestadística en dos (2-D) y tres dimensiones (3-D). La modelización permite también el realizar una correlación lateral de estas dos facies de mármoles distintas entre los sondeos, visualizar su estructura en 3-D (previamente al plegamiento de F1 Hercínica) y cuantificar el volumen de reservas aproximado para cada facies.

El volumen de macizo rocoso cubierto en la simulación queda representado por un grid tridimensional enmarcado entre dos vértices de coordenadas 462150/4243050/434 (X/Y/Z mínimas) y 469550/42443800/551 (X/Y/Z máximas). La Fig. 7.14 muestra las dimensiones y la form del grid en 3-D en un plano vertical (arriba) y en un plano horizontal (abajo), donde se define también la traza superficial del perfil de correlación SR-CU4/SR-CU3/SR-CU2. Las dimensiones de cada celda individual son de 99, 92 y 4 m, a lo largo de las direcciones este (X), norte (Y) y vertical (Z), respectivamente. El correspondiente número de celdas a lo largo de las direcciones X, Y y Z es de 79, 20 y 30, obteniéndose unas de 47400 celdas en el volumen de macizo rocoso considerado. La modelización geoestadística en 3-D de las facies de mármoles se realizó con el método de simulación condicionada (Deutsch y Journel, 1992; Pebesma y Wesseling, 1998), con el que se reproducen en cada punto del *grid* en 3-D tanto la estadística (media y desviación estándar), como la textura de los datos de entrada (variograma modelo). El variograma utilizado como modelo de continuidad espacial de la litología fue fractal, con un exponente $D=0,2$. En las Figs. 7.14, 7.15 y 7.16 se recogen los resultados de la simulación condicional de las principales facies de mármoles distinguidas – Facies 1 y 2- en la zona estudiada.

En la Fig. 7.15 se muestra una vista lateral del contorneado en 3-D de las facies de mármoles, siguiendo la sección SR-CU4/SR-CU3/SR-CU2, de dirección aproximada oeste-este. En la figura se han superpuesto también los *logs* litológicos obtenidos en dichos sondeos. Como puede observarse, existe un claro cambio lateral de facies de O a E, entre los sondeos SR-CU4 y SR-CU2, en el que la Facies 1 (colores azules) pasa netamente a la Facies 2 (colores verdes) de forma interdigitada. Los colores amarillo-naranjas indican una facies intermedia o transicional. La geometría a gran escala del cambio de facies entre las rocas dolomitizadas del O y rocas no dolomitizadas del E, sugiere un origen diagenético temprano para el proceso principal de dolomitización, probablemente controlado por el movimiento lateral de fluidos paralelamente a la estratificación en la cuenca sedimentaria.

El significado estructural de la distribución en 3-D de las facies de mármoles obtenida por la simulación se observa mejor en la Fig. 7.16, en la que se ha representado una vista del *grid* en 3-D desde el SSE, junto a la localización en superficie de los sondeos. En cada celda del *grid*, el tipo simulado de litología es constante. El resultado obtenido constituye en conjunto una imagen en 3-D de la distribución de las dos principales facies de mármoles

en la zona estudiada, previamente al plegamiento de la Fase de deformación F1 Hercínica. Como puede observarse, el cambio lateral de facies O-E entre la Facies 1 y la 2, tiene lugar a lo largo de interdigitaciones subparalelas a la estratificación, lo que también sugiere un origen diagenético temprano para el proceso de dolomitización.

La Fig. 7.17 muestra también una vista lateral del grid en 3-D litológico, en el que sólo se han representado las celdas correspondientes a los mármoles de la Facies 1. Como puede observarse existe un claro cambio lateral de facies de O a E, en el que la Facies 1 se interdigita con la Facies 2 paralelamente a la estratificación. El *grid* en 3-D constituye también una base de datos litológica de la zona estudiada, que permite realizar cálculos del volumen de reservas en la zona estudiada, aunque limitados al volumen considerado entre los sondeos SR-CU4 y SR-CU2 de la Fig. 14. De esta forma, el volumen de roca de la Facies 1 se puede calcular sumando el volumen individual de todas las celdas de dicha litología, obteniéndose un volumen de 572955264 m^3 . El volumen de la Facies 2 calculado siguiendo un proceso similar es de 177847168 m^3 .

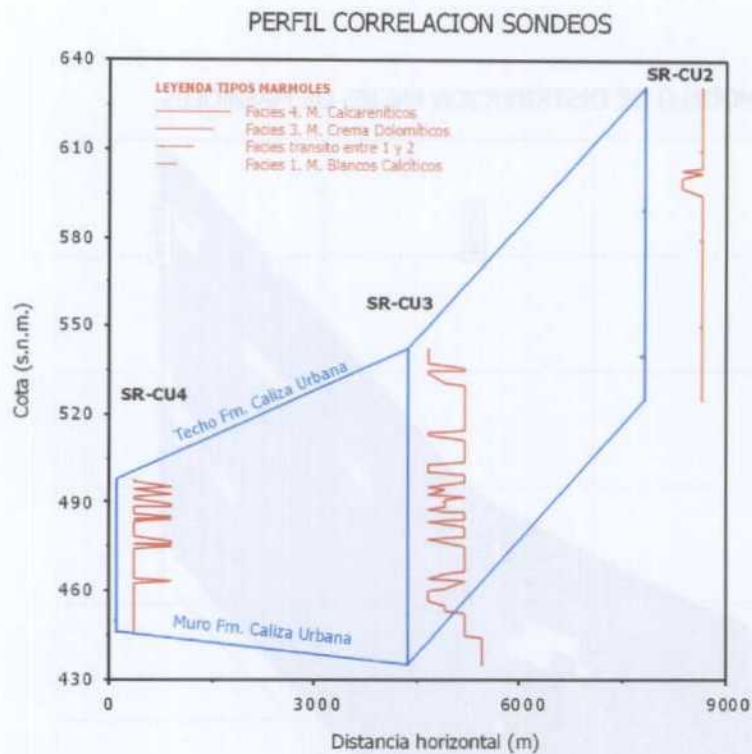


Fig. 7.14. (arriba) Registros de las principales facies de mármoles recuperados en los sondeos SR-CU2, SR-CU3 y SR-CU4. (abajo) Mapa de localización de los sondeos, del perfil SR-CU4/SR-CU3/SR-CU2 y de los límites del techo del *grid* en 3-D (planta). En el techo del *grid* se incluye la distribución de Facies 1 y 2, obtenida a partir de la modelización geoestadística.

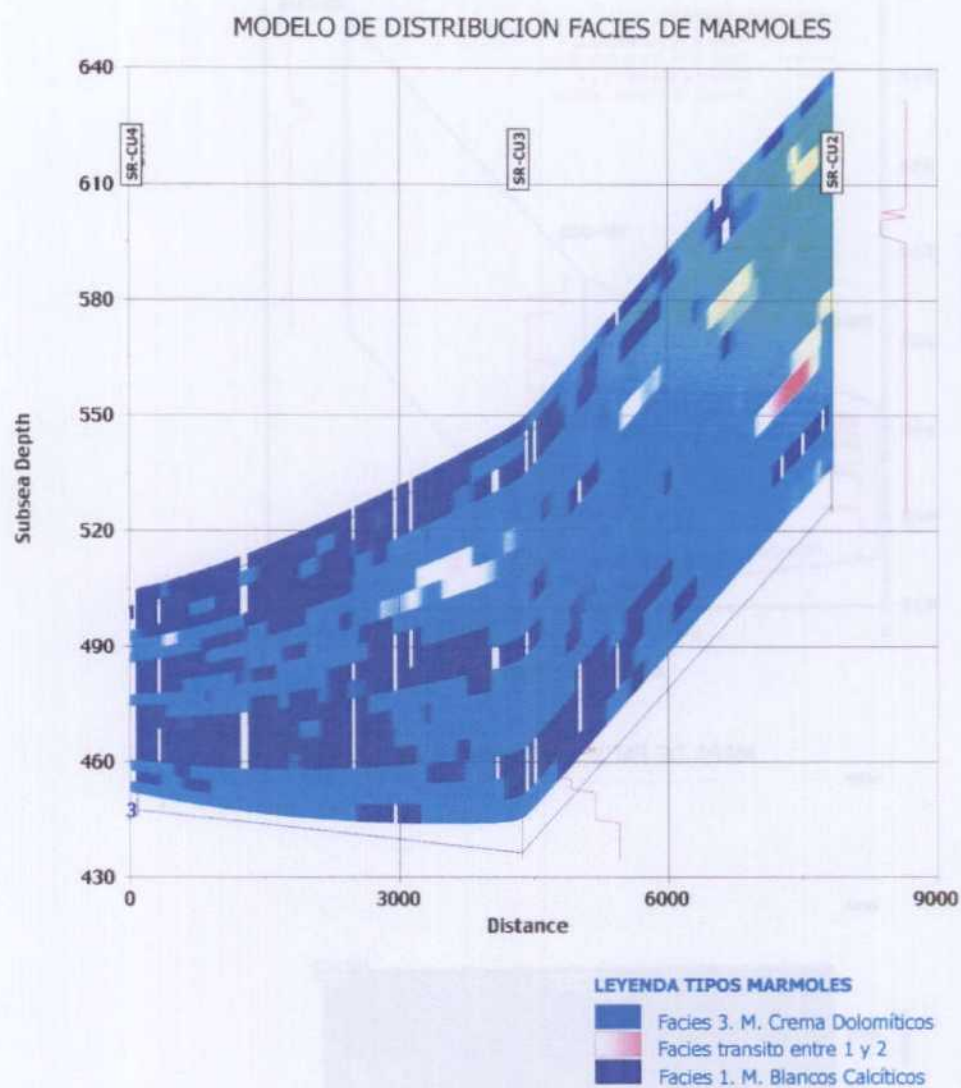


Fig. 7.15. Correlación litológica a lo largo del perfil SR-CU4/SR-CU3/SR-CU2, obtenida a partir de la modelización geoestadística.

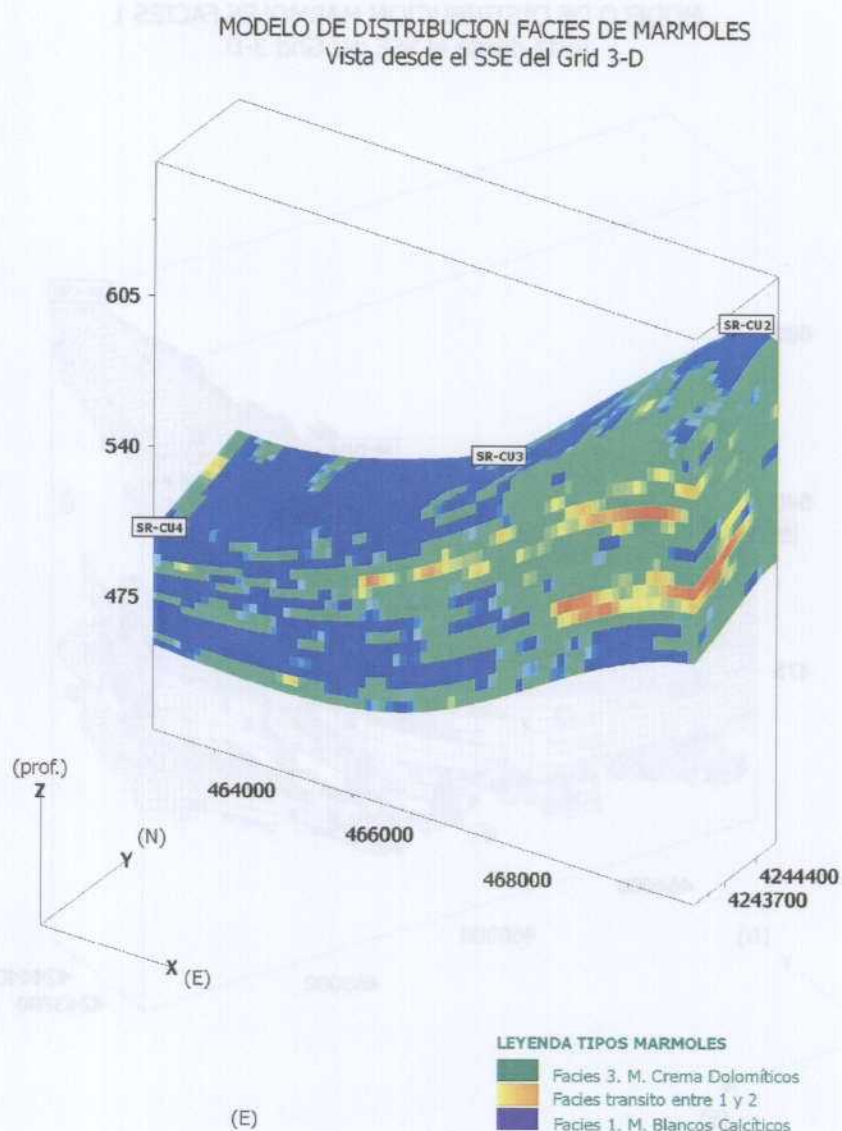
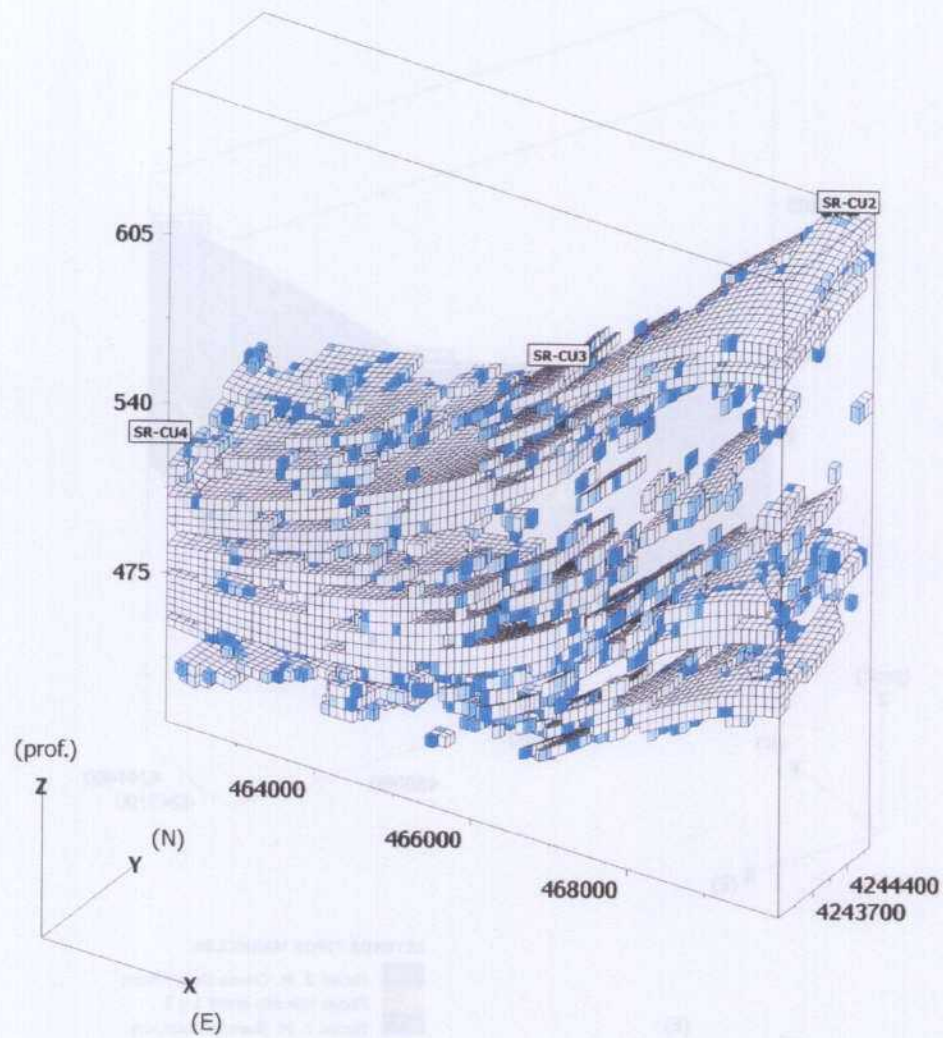


Fig. 7.16. Vista desde el SSE del *grid* en 3-D de la distribución de las principales facies de mármoles, resultado de la modelización geoestadística.

MODELO DE DISTRIBUCION MARMOLES FACIES 1
Vista desde el SSE del Grid 3-D



Facies 1: Mármoles blancos bandeados calcíticos

Figura 7.17. Vista desde el SSE de las celdas del *grid* en 3-D correspondientes a los mármoles de la Facies 1.

8.- ENSAYOS TECNOLÓGICOS. FASE 2.

8.1. INTRODUCCIÓN

En los tramos más continuos y homogéneos de los tipos marmóreos atravesados por los sondeos realizados, se llevo a cabo un muestreo selectivo.

Las muestras fueron sometidas a los correspondientes trenes de ensayos, con objeto de estudiar sus propiedades fisico-mecánicas y confirmar así su aptitud preliminar para el uso pretendido.

La situación de las muestras y los resultados de los ensayos se han incluido en las columnas de los sondeos representadas en los Anexos 12.2. y 12.3.

Se han tomado las siguientes muestras a las siguientes profundidades y de las variedades de mármoles abajo descritas:

SONDEO/MUESTRA	PROFUNDIDAD/ESPESOR	TIPOLOGÍA
S-2 M-1	55,80-61,20 m (5,4 m).	Mármol dolomítico crema.
S-2 M-2	107,10-112,80 m (5,7 m).	Mármol dolomítico crema.
S-3 M-1	39,30-39,72; 43,36-44,62; 45,60-46,12 (2,2 m).	Mármol dolomítico ocre- crema
S-3 M-2	55,35-58,20 m (2,85 m).	Mármol calcítico blanco fajeado
S-3 M-3	60,95-64, 50-m (3,55 m).	Mármol dolomítico crema
S-4 M-1	31,90-34,70 m (2,8 m).	Mármol calcítico blanco fajeado

Los ensayo realizados y las normas utilizadas fueron:

- Absorción y peso específico aparente en mármoles y rocas ornamentales. UNE 22 182
- Resistencia a las heladas en mármoles y calizas ornamentales. UNE 22 184
- Resistencia a la compresión en mármoles y calizas ornamentales UNE 22 185
- Microdureza Knoop en mármoles y calizas ornamentales UNE 22 188
- Resistencia a los cambios térmicos en pizarras ornamentales, placas y losas UNE 22 197
- Coordenadas cromáticas (fuera del alcance de la acreditación)
- Plaqueta pulida

En los apartados incluidos a continuación se establece una comparación de los resultados obtenidos en los ensayos con los valores de esos mismos ensayos en productos comerciales similares, tales como el mármol Anasol y el mármol Amarillo Macael.

8.2. ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE

Se ha realizado sobre probetas de 15x8x1,5 cm con una cara pulida.

MUESTRA	PROF/TIPO	PESO ESPECIF. APARENTE	% ABSORCIÓN
Amarillo Macael	Mármol dolomítico	2,66	0,31
Anasol	Mármol calcítico	2,71	0,15
S-2 M-1	55,80-61,20 m (5,4 m). Mármol dolomítico crema.	2,7	0,7
S-2 M-2	107,10-112,80 m (5,7 m). Mármol dolomítico crema.	2,7	0,8
S-3 M-1	39,30-39,72; 43,36-44,62; 45,60-46,12 (2,2 m). Mármol dolomítico ocre-crema	2,8	0,7
S-3 M-2	55,35-58,20 m (2,85 m). Mármol calcítico blanco fajeado	2,8	0,7
S-3 M-3	60,95-64, 50-m (3,55 m). Mármol dolomítico crema	2,8	1,5
S-4 M-1	31,90-34,70 m (2,8 m). Mármol calcítico blanco fajeado	2,8	0,4

Los valores observados de absorción son bastante más altos que los de las piedras de referencia y algo más bajos en las rocas calcíticas que en las dolomíticas. Los resultados están en consonancia con los obtenidos en muestras de superficie de la 1ª Fase de investigación.

Estos datos reflejan posiblemente porosidad de disolución en el macizo rocoso atravesado, ya reflejado en la testificación por la frecuencia de coqueras y huecos de disolución en las rocas investigadas.

8.3. RESISTENCIA A LAS HELADAS

Estos ensayos se han realizado sobre una sola probeta de 15 x 8 x 1.5 cm, con una cara pulida.

MUESTRA	PROF/TIPO	%
Amarillo Macael	Mármol dolomítico	menor de 0.1
Anasol	Mármol calcítico	menor de 0.1
S-2 M-1	55,80-61,20 m (5,4 m). Mármol dolomítico crema.	menor de 0.1
S-2 M-2	107,10-112,80 m (5,7 m). Mármol dolomítico crema.	0,15
S-3 M-1	39,30-39,72; 43,36-44,62; 45,60-46,12 (2,2 m). Mármol dolomítico ocre-crema	menor de 0.1
S-3 M-2	55,35-58,20 m (2,85 m). Mármol calcítico blanco fajeado	0,18
S-3 M-3	60,95-64, 50-m (3,55 m). Mármol dolomítico crema	menor de 0.1
S-4 M-1	31,90-34,70 m (2,8 m). Mármol calcítico blanco fajeado	menor de 0.1

Todos los materiales ensayados presentaron una alteración inapreciable.

8.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

MUESTRA	PROF/TIPO	MPa
Amarillo Macael	Mármol dolomítico	136
Anasol	Mármol calcítico	79
S-2 M-1	55,80-61,20 m (5,4 m). Mármol dolomítico crema.	182
S-2 M-2	107,10-112,80 m (5,7 m). Mármol dolomítico crema.	146
S-3 M-1	39,30-39,72; 43,36-44,62; 45,60-46,12 (2,2 m). Mármol dolomítico ocre-crema	130
S-3 M-2	55,35-58,20 m (2,85 m). Mármol calcítico blanco fajeado	130
S-3 M-3	60,95-64, 50-m (3,55 m). Mármol dolomítico crema	118
S-4 M-1	31,90-34,70 m (2,8 m). Mármol calcítico blanco fajeado	146

Los valores obtenidos para muestras de mármoles dolomíticos de la zona investigada presentan valores por lo general superiores o muy superiores a los de referencia.

8.5. RESISTENCIA AL CHOQUE

Este ensayo se ha realizado sólo sobre probetas del tipo 12x5x1 cm debido a la imposibilidad de conseguir probetas de 20x20x3 cm dado que las muestras proceden de los testigos de los sondeos.

MUESTRA	PROF/TIPO	cm
S-2 M-1	55,80-61,20 m (5,4 m). Mármol dolomítico crema.	11,3
S-2 M-2	107,10-112,80 m (5,7 m). Mármol dolomítico crema.	10
S-3 M-1	39,30-39,72; 43,36-44,62; 45,60-46,12 (2,2 m). Mármol dolomítico ocre-crema	11,3
S-3 M-2	55,35-58,20 m (2,85 m). Mármol calcítico blanco fajeado	13,8
S-3 M-3	60,95-64, 50-m (3,55 m). Mármol dolomítico crema	10
S-4 M-1	31,90-34,70 m (2,8 m). Mármol calcítico blanco fajeado	8,8

Dado que no es posible comparar estos datos con los de referencia al ser de diferente tamaño las plaquetas utilizadas de las que indica la norma, sólo se expresan estos valores como comparación entre los propios materiales investigados. Los mármoles dolomíticos presentan un mejor comportamiento frente al choque que los materiales calcíticos fajeados.

8.6. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Las muestras utilizadas no se han ajustado a las dimensiones establecidas en la norma debido a proceder de los testigos de los sondeos.

MUESTRA	PROF/TIPO	MPa
Amarillo Macael	Mármol dolomítico	9
Anasol	Mármol calcítico	28
S-2 M-1	55,80-61,20 m (5,4 m). Mármol dolomítico crema.	9
S-2 M-2	107,10-112,80 m (5,7 m). Mármol dolomítico crema.	11,6
S-3 M-1	39,30-39,72; 43,36-44,62; 45,60-46,12 (2,2 m). Mármol dolomítico ocre-crema	8,1
S-3 M-2	55,35-58,20 m (2,85 m). Mármol calcítico blanco fajeado	2,7
S-3 M-3	60,95-64, 50-m (3,55 m). Mármol dolomítico crema	5,5
S-4 M-1	31,90-34,70 m (2,8 m). Mármol calcítico blanco fajeado	-

De los resultados obtenidos y salvando el problema de las dimensiones de las muestras empleadas, se desprende que la resistencia a la flexión de los mármoles dolomíticos es similar a los productos comerciales, mientras que las muestras de mármoles calcíticos presentan valores muy inferiores a los de la muestra de referencia.

8.7. COORDENADAS CROMÁTICAS

Este ensayo se ha realizado con objeto de conocer las variaciones de color de los materiales antes y después del ensayo choque térmico. Permite hacer una previsión del comportamiento a la intemperie de los materiales tratados. Son valores medios de seis medidas por probeta.

S-2 M-1	55,80-61,20 m (5,4 m). Mármol dolomítico crema.		
	L*	a*	b*
Ch. Térmico (antes)	57.0	8.5	23.8
Ch. Térmico (después)	57.9	8.2	24.3
<i>Diferencia</i>	0.9	0.3	0.5

S-2 M-2	107,10-112,80 m (5,7 m). Mármol dolomítico crema.		
	L*	a*	b*
Ch. Térmico (antes)	58.6	7.8	21.4
Ch. Térmico (después)	58.8	7.6	22.5
<i>Diferencia</i>	0.2	0.2	1.1

S-3 M-1	39,30-39,72; 43,36-44,62; 45,60-46,12 (2,2 m). Mármol dolomítico ocre-crema		
	L*	a*	b*
Ch. Térmico (antes)	60.6	8.5	22.3
Ch. Térmico (después)	62.5	8.4	21.9
<i>Diferencia</i>	1.9	0.1	0.4

S-3 M-2	55,35-58,20 m (2,85 m). Mármol calcítico blanco fajeado		
	L*	a*	b*
Ch. Térmico (antes)	76.8	-0.2	1.0
Ch. Térmico (después)	77.1	0.1	5.5
<i>Diferencia</i>	0.3	0.2	4.5

S-3 M-3	60,95-64, 50-m (3,55 m). Mármol dolomítico crema		
	L*	a*	b*
Ch. Térmico (antes)	68.0	4.7	16.5
Ch. Térmico (después)	68.4	5.0	17.2
<i>Diferencia</i>	0.4	0.3	0.7

S-4 M-1	31,90-34,70 m (2,8 m). Mármol calcítico blanco fajeado		
	L*	a*	b*
Ch. Térmico (antes)	71.6	-0.2	2.4
Ch. Térmico (después)	62.7	0.1	2.0
<i>Diferencia</i>	8.9	0.3	0.4

MUESTRA	DIFERENCIAS		
	L*	a*	b*
S-2 M-1	0.9	0.3	0.5
S-2 M-2	0.2	0.2	1.1
S-3 M-1	1.9	0.1	0.4
S-3 M-2	0.3	0.2	4.5
S-3 M-3	0.4	0.3	0.7
S-4 M-1	8.9	0.3	0.4

El resultado de los ensayos muestra que casi todos los mármoles presentan variaciones en los parámetros cromáticos medidos después del ensayo de choque térmico, pero los son en porcentajes muy pequeños. En algunos casos, como el del mármol fajeado del sondeo 4 (Zona de La Despreciada), la propia variación cromática del material hace que los resultados sean dispares.

8.8. PLAQUETAS PULIDAS

De las muestras tomadas se ha realizado las correspondientes plaquetas pulidas para comprobar la calidad y aptitud al pulido de los materiales.

El cuadro incluido a continuación es un resumen de los resultados de dichas plaquetas cuyas imágenes y originales se incluyen en el Anexo 12.6.

MUESTRA	PROF/TIPO	OBSERVACIONES
S-2 M-1	55,80-61,20 m (5,4 m). Mármol dolomítico crema.	Pulido excelente. Aspecto comercial muy bueno. Crema Jaén
S-2 M-2	107,10-112,80 m (5,7 m). Mármol dolomítico crema.	Pulido excelente. Aspecto comercial muy bueno. Crema Jaén
S-3 M-1	39,30-39,72; 43,36-44,62; 45,60-46,12 (2,2 m). Mármol dolomítico ocre-crema	Pulido excelente. Aspecto comercial bueno
S-3 M-2	55,35-58,20 m (2,85 m). Mármol calcítico blanco fajeado	Pulido excelente. Aspecto comercial bueno
S-3 M-3	60,95-64, 50-m (3,55 m). Mármol dolomítico crema	Pulido excelente. Aspecto comercial bueno
S-4 M-1	31,90-34,70 m (2,8 m). Mármol calcítico blanco fajeado	Pulido excelente. Aspecto comercial bueno

8.9. CONCLUSIONES

De los resultados de los ensayos tecnológicos sobre muestras tomadas en los sondeos realizados en la zona investigada, se puede concluir que tal y como ya se había apreciado en los ensayos de muestras superficiales, se confirma la grandes diferencias entre las propiedades fisico-mecánicas de los mármoles dolomíticos y de los mármoles calcáreos y similares a los valores de los que se dispone de mármoles de referencia.

La mayoría de los ensayos realizados sobre muestras de testigos no se ajustan exactamente a las normas de referencia debido a las dimensiones máximas del testigo del que se ha dispuesto, por lo que las conclusiones deben tomarse como orientativas del comportamiento de las rocas ensayadas.

Así los valores observados de absorción son bastante más altos en las muestras de los sondeos que los de las piedras de referencia y algo más bajos en las rocas calcíticas que en las dolomíticas. Los resultados están en consonancia con los obtenidos en muestras de superficie de la 1ª Fase de investigación.

Estos datos reflejan posiblemente porosidad de disolución en el macizo rocoso atravesado, ya reflejado en la testificación por la frecuencia de coqueras y huecos de disolución en las rocas investigadas.

En general todos los materiales ensayados presentaron una alteración inapreciable tras el ensayo de resistencia a las heladas.

Los valores obtenidos de resistencia a la compresión para muestras de mármoles dolomíticos de la zona investigada presentan valores por lo general superiores o muy superiores a los de referencia.

Tal y como se ha comentado, no es posible comparar los datos del ensayo de resistencia al choque con los de referencia al ser de diferente tamaño las plaquetas utilizadas de las que indica la norma, sólo se han expresado los valores como comparación entre los propios materiales investigados. Los mármoles dolomíticos presentan un mejor comportamiento frente al choque que los materiales calcíticos fajeados.

De los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión y salvando el problema de las dimensiones de las muestras empleadas, se desprende que la resistencia a la flexión de los mármoles dolomíticos es similar a los productos comerciales, mientras que las muestras de mármoles calcíticos presentan valores muy inferiores a los de la muestra de referencia.

El resultado de los ensayos de parámetros cromáticos antes y después del choque térmico muestra que casi todos los mármoles presentan variaciones en los parámetros cromáticos medidos después del ensayo de choque térmico, pero los son en porcentajes muy pequeños. En algunos casos, como el del mármol fajeado del sondeo 4 (Zona de La Despreciada), la propia variación cromática del material hace que los resultados sean dispares.

Las plaquetas pulidas realizadas demuestran que los materiales ensayados tienen una excelente aptitud al pulido y que su aspecto comercial es bueno a muy bueno en particular los mármoles dolomíticos crema. Se propone para estos materiales la posible denominación de "Crema Jaén".

En conclusión, de los resultados de los ensayos realizados sobre muestras de los sondeos se puede deducir que los materiales dolomíticos presentan por lo general un comportamiento físico-mecánico aceptable y comparable con productos del mercado, mientras que los materiales calcíticos presentan propiedades bastante inferiores a las de los productos comerciales.

9. EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RECURSOS

Si bien la campaña de sondeos se diseñó para localizar un volumen de roca potencialmente explotable, ya que se trató de sondeos de exploración y no de sondeos para evaluar volumen explotable, que podría ser el objetivo de una campaña de sondeos en malla más cerrada en alguna de las zonas localizadas en este proyecto, se incluye aquí una evaluación preliminar de los recursos de mármol ornamental en la zona de La Ballestera, por ser esta la que dispone de un derecho minero vigente y estar en terrenos accesibles desde el punto de vista medioambiental.

Como ya se ha mencionado en el apartado 7.2.6. el volumen estimado de recursos de mármol en la zona de influencia de los sondeos S-4 a S-2 de roca de la Facies 1 (mármoles bandeados calcíticos) se ha estimado en 572 955 264 m³. Dado que la densidad media de estos materiales es de 2,8 t/m³, se puede concluir que existen en la zona investigada 1 604 Mt de dicha facies. El volumen de la Facies 2 (mármoles dolomíticos crema) estimado por el mismo procedimiento geoestadísticos es de 177 847 168 m³, es decir con una densidad de 2,7 t/m³, de la facies 2 existen alrededor de 480 Mt.

Naturalmente estos volúmenes no son de roca explotable, sino de recurso disponible. La aptitud para la apertura de una explotación concreta deberá establecerse con labores mineras complementarias.

Ya se ha comentado en el apartado de los ensayos, que los materiales calcíticos en general no cumplen las especificaciones mínimas de calidad, al menos en los puntos donde se han muestreado y ensayado. Los mármoles dolomíticos crema, sin embargo, tienen un comportamiento físico-mecánico aceptable y comparable con productos similares del mercado.

Por todo ello es recomendable centrar las investigaciones en la Facies 2 que presenta mejores aptitudes para una explotación rentable.

En la zona de Colmenar de la Ballestera se ha realizado una estimación por el método de secciones entre los sondeos 1 y 2, ya que, como se ha demostrado este afloramiento es el más favorable desde un punto de vista geomecánico para la explotación de los mármoles de la Facies 2.

Se ha considerado un tramo explotable de 50 m de mármoles de la Facies 2 y 3 de acuerdo con la testificación geológico-mecánica de los sondeos 1 y 2.

El volumen de reservas explotables se estima entre los sondeos 1 y 2 en 2 136 775 m³ equivalentes a **5,7 Mt** de mármoles dolomíticos crema (Facies 2 y 3).

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio ha sido realizado en el marco del Convenio Marco de Asistencia Técnica suscrito por el ITGE y la Excma. Diputación Provincial de Jaén de fecha 27 de octubre de 1981 y el Convenio Específico para el Desarrollo del Programa de Asistencia Técnica del ITGE a la Excma. Diputación Provincial de Jaén (Junio 1998-1999-2000).

El objetivo de este trabajo era investigar la Formación Caliza Urbana, consistente en un nivel marmóreo aflorante al norte de la Provincia de Jaén en los términos municipales de Aldeaquemada, Vilches, Navas de San Juan y Santisteban del Puerto, para establecer la disposición geológica del yacimiento de mármoles y su variabilidad en la horizontal y en la vertical, y caracterizarlo para evaluar su posible aptitud para su empleo como roca ornamental.

Para conseguir dicho objetivo se planificó una serie de trabajos en dos etapas.

En una primera fase se realizaron los siguientes trabajos:

- Recopilación, ordenación y tratamiento de la información geológico-minera:
- Estudio del dominio minero en la zona de interés
- Investigación preliminar de los afloramientos de mármoles. Preselección de zonas y solicitud de permiso de investigación
- Seguimiento fotogeológico de las formaciones favorables a escala 1:18.000
- Cartografía geológico-minera. Se realizó la cartografía geológica y estructural de un total de 3 hojas 1:10 000, que ocupan 3 362 Ha en los municipios de Aldeaquemada, Vilches, Navas de San Juan y Santisteban del Puerto.
- Levantamiento de perfiles litológico-estructurales
- Estudio fotogeológico de la fracturación
- Muestreo selectivo y ensayos. En esta primera fase se realizaron y estudiaron un total de 32 láminas delgadas, 20 plaquetas pulidas, 9 análisis por difracción de rayos X y 9 análisis por fluorescencia de rayos X. Se llevaron a cabo también 11 baterías de ensayos tecnológicos, con 10 ensayos por batería (un total de 110 ensayos).

En una segunda fase se ejecutaron los siguientes trabajos:

- Campaña de sondeos. Se realizaron un total de 5 sondeos en diferentes puntos de la zona cartografiada y con las siguientes características:
 - Sondeo 1. Colmenar de la Ballestera. 61,4 m. Inclinado.
 - Sondeo 2. Colmenar de la Ballestera. 114,30 m. Inclinado.
 - Sondeo 3. El Casar-Rio Guarrizas. 136,55 m. Vertical.
 - Sondeo 4. Camino zona La Despreciada. 55 m. Inclinado.

- Sondeo 5. Cantera La Despreciada. 55 m. Inclinado.
- Testificación de sondeos y muestreo selectivo.
- Ensayos tecnológicos. Se ha realizado un total de 6 baterías de ensayos tecnológicos sobre muestras de los testigos de los sondeos 2, 3 y 4, con un total de 69 ensayos.
- Redacción de la memoria y documentos auxiliares.

La Formación Caliza Urbana es una formación de edad Ordovícico Superior, cuyos afloramientos aparecen de manera discontinua al norte de la Provincia de Jaén, siguiendo la macroestructura geológica general.

La potencia de la *Caliza Urbana* es muy variable debido a la existencia de una discordancia erosiva a techo, desapareciendo lateralmente sin aparentes cambios de facies. En el sector estudiado, la potencia observada oscila entre 0 y 20 m.

Los afloramientos de la *Formación Caliza Urbana* aparecen dispersos en la zona meridional de la Hoja de Aldeaquemada, en sectores diversos como el Río Guarrizas, el arroyo de Los Tejos, el arroyo de Venero, el cerro de las Minas, etc. Dentro de la Hoja se localizan también afloramientos en su extremo NE, en el sector del arroyo de Los Canjorros-Río Guadalén.

De todos los afloramientos existentes se investigaron los siguientes en la 1ª fase del proyecto:

- Afloramiento I: Cantera La Despreciada;
- Afloramiento II: El Casar-Río Guarrizas;
- Afloramiento III: Puntal Agrio;
- Afloramiento IV: Arroyo de Los Tejos;
- Afloramiento V: La Ballesterá;
- Afloramiento VI: Casa de Los Tejos;
- Afloramiento VII: Sierra Ventosa; y
- Afloramiento VIII: Arroyo La Alamedilla.

En general, la *Formación Caliza Urbana* aparece en todos ellos formando cuerpos lenticulares de entre 5 y 40 m de espesor, y variable extensión lateral, que llega a ser de orden kilométrico. Estas relaciones son debidas a la existencia a techo del nivel carbonatado de una discordancia erosiva, que ha eliminado parte de su espesor original.

Litológicamente la Caliza Urbana está constituida por calizas marmóreas detríticas muy recrystalizadas (calcarenitas), en ocasiones bioclásticas (biocalcarenitas), de color gris a gris-blanco y aspecto para los bancos masivo, en estratos de espesor centimétrico-decimétrico y, localmente, métrico.

De manera muy frecuente aparecen dolomitizadas en grado y extensión variable pudiendo llegar a afectar prácticamente de forma total a todo el nivel carbonatado, como es el caso de los Afloramientos de El Casar-Río Guarrizas, o La Ballesterá. En varios sectores, la dolomitización afecta preferentemente

los estratos situados estratigráficamente a techo de la serie, aunque se han observado frentes de dolomitización de geometría más irregular, o con un desarrollo vertical, afectando a todos los niveles carbonatados.

La dolomitización da lugar a una transformación mineralógica y textural completa de las calizas, dando lugar a dolomitas calcíticas (50-90% dolomía) y dolomías (90-100% dolomía), de tonos ocres y amarillos, menos frecuentemente rosados, de tamaño de grano medio a grueso. De forma característica, las dolomías presentan bandas oquerosas debido a la creación de huecos durante el proceso, que resultan posteriormente rellenados por agregados de cristales romboidales de dolomía de gran tamaño. Probablemente, la dolomitización estuvo relacionada con el movimiento de fluidos a través de la zona de mezcla de aguas meteóricas y marinas, dentro de la zona freática de la plataforma carbonatada donde tuvo lugar el depósito previo de los carbonatos.

Desde el punto de vista estructural la zona estudiada se localiza en el sector meridional de la Zona Centro-Ibérica y presenta estructuras correspondientes a la 1ª Fase de deformación hercínica, consistentes en pliegues ONO-ESE a gran escala, vergentes al S, que llevan asociada la formación de una esquistosidad S1 de plano axial penetrativa y una lineación de intersección L1 subhorizontal. La zona estudiada queda situada dentro de un sinclinal compuesto de F1 de escala kilométrica.

Las estructuras formadas posteriormente son zonas de cizalla dúctil-frágiles y fracturas frágiles, que se relacionan con una 2ª Fase de deformación hercínica consistente en un acortamiento regional E-O. Se producen además pliegues transversales, de dirección norteada, que originan una interferencia de plegamiento del tipo de domos y cubetas. En la zona estudiada esta fase produce ondulaciones en las zonas de charnela de las grandes estructuras de F1, inmersiones contrarias para sus ejes al ONO y ESE y, principalmente, cizallamientos N60°E-N70°E dextrales que intersectan y desplazan los pliegues D1.

La evolución estructural continua con una 3ª Fase de deformación hercínica/tardi-hercínica, relacionada con un episodio de acortamiento NNE-SSO a N-S, que origina un sistema de fallas subverticales conjugadas. Este episodio es el de mayor desarrollo e importancia en la formación de estructuras frágiles en la zona estudiada a todas las escalas. Asociadamente, intruye un conjunto de diques y filones rellenos de cuarzo, baritina, apatito, carbonatos y óxidos de Fe-Mn.

Durante los trabajos de cartografía y muestreo de la primera fase se realizó una primera valoración de la fracturación de los afloramientos estudiados que dio el siguiente resultado:

Índice de Fracturación obtenido en las estaciones.			
Estación	Litología	IF-Total	J _v
Cantera La Despreciada	Calizas marmoreas	0,37	0.05
El Casar-Río Guarrizas	Dolomías marmoreas	1,11	1.36
Puntal Agrio	Calizas marmóreas	0,38	0.05
Arroyo de Los Tejos	Calizas marmóreas	1,23	1.86
La Ballesterá	Dolomías marmóreas	1,18	1.64
Sierra Ventosa	Dolomías marmóreas	0,61	0.22
Arroyo La Alamedilla	Dolomías marmóreas	0,94	0.83

La fracturación medida es inferior a 2 fracturas por metro lineal en todos los afloramientos, que equivale a un índice de fracturación inferior a 2, por lo que, en principio sería posible la obtención de bloques comerciales medianos a grandes.

De esa primera fase, las muestras obtenidas en afloramientos fueron sometidas a una serie de ensayos tecnológicos sobre las diferentes tipologías identificadas.

De los resultados de los ensayos tecnológicos sobre dichas muestras, se pudo concluir que las propiedades físico-mecánicas de los mármoles dolomíticos y los mármoles calcáreos eran muy dispares pero similares a los valores de los que se utilizaron de mármoles de referencia.

De los afloramientos investigados y en base a todo lo anterior y a consideraciones de accesibilidad, se seleccionaron los siguientes para profundizar las investigaciones en la segunda fase del proyecto y ejecutar la campaña de sondeos:

- Afloramiento I: Cantera de La Despreciada;
- Afloramiento II: El Casar-Río Guarrizas;
- Afloramiento V: La Ballesterá;

Se realizaron un total de 5 sondeos con las siguientes características:

- Sondeo 1. Colmenar de la Ballesterá. 61,4 m. Inclinado.
- Sondeo 2. Colmenar de la Ballesterá. 114,30 m. Inclinado.
- Sondeo 3. El Casar-Río Guarrizas. 136,55 m. Vertical.
- Sondeo 4. Camino zona La Despreciada. 55 m. Inclinado.
- Sondeo 5. Cantera La Despreciada. 55 m. Inclinado

En las columnas de sondeos obtenidos de la *Formación Caliza Urbana* se han reconocido cuatro facies generales de mármoles y calizas marmóreas. Estas facies son:

- Facies 1. Mármoles blancos, bandeados, calcíticos.
- Facies 2. Mármoles ocre y cremas, oquerosos, dolomíticos.
- Facies 3. Mármoles tostados y ocre oscuros, muy oquerosos, con abundantes rellenos drúsicos calcíticos (coqueras)

- Facies 4. Mármoles microbandeados, blanco-verdosos, con fósiles e intraclastos, calcíticos y dolomíticos

El sondeo S-1 (La Ballestera) está formado de base a techo por unos 6-8 m de la Facies 2 de mármoles, sobre los que se superponen 15-20 m de la Facies 1, con algunas pasadas intercaladas de la Facies 2.

El sondeo S-2 (La Ballestera) está esencialmente formado por 90-100 m de la Facies 2 de mármoles, en ramos bastante masiva y homogénea, en la que se intercalan tramos de 1-5 m de potencia de la Facies 1.

El sondeo S-3 (Zona el Casar-Rio Guarrizas) resulta ser litológicamente bastante heterogéneo. Se inicia a la base con 7-8 m de la Facies 3 de mármoles, siguen unos 80 m de alternancias de las Facies 1 y 2, generalmente en tramos de potencia métrica, y finaliza a techo con 8-10 m de la Facies 1, bajo unos 25 m de pizarras negras de la *Formación Chavera*.

El sondeo S-4 (Camino, zona de La Despreciada) está constituido por unos 45-50 m de mármoles de la Facies 1, en sectores de aspecto muy bandeado, en otro más blanco masivo, en el que se intercalan tramos de 1-3 m de la Facies 2.

El sondeo S-5 (Cantera La Despreciada) está constituido por sólo 16 m de intercalaciones de mármoles de la Facies 1 y 2, pasando rápidamente a pizarras verdes de la base de la serie. A techo presenta un manto de 5 m de rocas volcánicas muy alteradas sobre el que aparece un suelo antrópico (escombrera de la cantera) y un coluvión también con 5 m de espesor.

Los resultados de la zonación litológico-estructural realizada en los testigos de la campaña de sondeos han permitido proponer el afloramiento de La Ballestera, perforado por el S-2, como el más favorable desde un punto de vista geomecánico para la explotación de los mármoles de la Facies 2.

Se ha realizado un estudio de la distribución espacial de las dos principales facies de mármoles distinguidas en la zona estudiada por modelización geoestadística en dos (2-D) y tres dimensiones (3-D). La modelización permite también el realizar una correlación lateral de estas dos facies de mármoles distintas entre los sondeos, visualizar su estructura en 3-D (previamente al plegamiento de F1 Hercínica) y cuantificar el volumen de reservas aproximado para cada facies

De esta forma, se ha estimado entre los sondeos S-4 y S-2 un volumen de roca de la Facies 1 de 572 955 264 m³. El volumen de la Facies 2 calculado siguiendo un proceso similar es de 177 847 168 m³.

De las muestras obtenidas por medio de los sondeos se realizaron una nueva serie de ensayos tecnológicos para caracterizar los materiales marmóreos. De los resultados de los ensayos realizados se puede deducir que los materiales dolomíticos presentan por lo general un comportamiento físico-mecánico aceptable y comparable con productos del mercado, mientras que los

materiales calcíticos presentan propiedades bastante inferiores a las de los productos comerciales. Las plaquetas pulidas realizadas demuestran que los materiales ensayados tienen una excelente aptitud al pulido y que su aspecto comercial es bueno a muy bueno en particular los mármoles dolomíticos crema. Se propone para estos materiales la posible denominación de "Crema Jaén".

En la zona de Colmenar de la Ballestera se ha realizado una estimación por el método de secciones entre los sondeos 1 y 2, ya que, como demuestra la investigación por sondeos este afloramiento es el más favorable desde un punto de vista geomecánico para la explotación de los mármoles de la Facies 2 (mármoles dolomíticos crema).

Se ha considerado un tramo explotable de 50 m de mármoles de la Facies 2 y 3 de acuerdo con la testificación geológico-mecánica de los sondeos 1 y 2.

El volumen de reservas potencialmente explotables se estima entre los sondeos 1 y 2 en 2 136 775 m³ equivalentes a **5,7 Mt** de mármoles dolomíticos crema (Facies 2 y 3).

Con objeto de confirmar a escala minera las conclusiones de este estudio, se recomienda la realización de una campaña de sondeos en malla cerrada en la zona seleccionada, así como en otras posibles zonas de explotación (El Casar-Rio Guarrizas) donde existen abundantes recursos de materiales marmóreos similares de la Facies 2.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Almela, A., Alvarado, M., Coma, J.E., Felgueroso, C., Quintero, I. (1962). Estudio geológico de la región de Almadén. Bol. Inst. Geol. Min. de España. T. 73, p.193-327.
- Alvarez Nava, H. y 14 otros (1988). Unidades Litoestratigráficas de los materiales Precámbricos-Cámbricos en la mitad suroriental de la Zona Centro-Ibérica. II Congr. Geol. Esp. Comun. 1: 19-22.
- Amor, J.M. & Ortega, E. (1987).- Memoria de la hoja 809 (Tirteafuera) del Mapa Geológico Nacional a Escala 1:50.000. Magna (2ª serie). IGME. Madrid.
- Anonimo, 1994. Mármoles y otras piedras naturales. Federación Española de la Piedra Natural, Madrid. 199 pp.
- Ancochea, E. (1983). Evolución espacial y temporal del volcanismo reciente de España Central. Tesis Doctoral. Univ. Complutense. Madrid. 675 pp.
- Bouyx, E. (1970).- Contribution à l'étude des Formations Anteordoviciennes de la Meseta Méridionale (Ciudad Real et Badajoz). Mem. Inst. Geol. y Min. 73, 263 p.
- Crespo Lara, V. (1972).- La Reserva del Valle de Alcudia y su contexto geológico-minero en Sierra Morena Central. Bol. Inst. Geol. Min. de España. T. LXXXIII-II p. 174-180.
- Deutsch, C.V. y Journel, A.G., 1992. GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University Press, New York, NY.
- Díez Balda, M.A.; Vegas, R.; y González Lodeiro, F., 1990. IV.2 Central Iberian Zone, Autochthonous Sequences. 2. Structure. In: R.D. Dalmeyer y E. Martínez García (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Springer-Verlag, pp. 173-188.
- Díez Balda, M.A., Ayarza, P. & Martínez Catalán, J.R., 1992. El cizallamiento dúctil subhorizontal de la segunda fase hercínica al sur de Salamanca: engrosamiento y colapso extensional. III Congr. Geol. España. Simp. 2: 365-374.
- Díez Balda, M.A., Martínez Catalán, J.R., Villar Alonso, P., Escuder Viruete, J. y Ayarza, P. (1992). Cizallamientos dúctiles a escala regional en la provincia de Salamanca". III Congr. Geol. de España. Excursiones, 262-278. Salamanca.
- Escuder Viruete, J., Lorenzo Alvarez, S., Almagro, J. (1995). Estudio Geológico-Estructural e Hidrogeológico de un Plutón Granítico en el Sector Meridional de la Zona Centro-Ibérica. El Plutón Granodiorítico de Fontanosas. Informe Enresa, 148 pp.
- Díez Balda, M.A. & Vegas, R. (1990).- La estructura del Dominio de los pliegues verticales de la Zona Centro-Ibérica. En: "Paleozoico Inferior de Ibero-América". Gutierrez-Marco J.C. y col. (Eds.). p.523-534.
- Galindo Zaldívar, J., 1990. Geometría de las deformaciones neógenas en Sierra Nevada (Cordilleras Béticas). Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 249 pp.
- García Sansegundo, J.; Lorenzo Alvarez, S.; Ortega Gironés, E. (1987). Memoria de la hoja 808 (Almadén) del Mapa Geológico Nacional a Escala 1:50.000. Magna (2ª serie). IGME. Madrid.

- Gil Cid, M.D. y col. (1976).- Estratigrafía y paleontología de las calizas cámbricas de Los Navalucillos (Toledo). *Tecniterrae* 13, p. 11-19.
- Gómez de Llarena, J. (1916).- Bosquejo geológico geográfico de los Montes de Toledo. *Trabajos del Museo Nacional de Ciencias Naturales (Ser. Geol.)*. 15, 74 p.
- Gutierrez Marco, J.C., San José Lancha, M.A., Pieren Pidal, A.P. (1990). Post-Cambrian Palaeozoic Stratigraphy. Pre-Mesozoic Geology of Iberia. R.D. Dallmeyer & E. Martínez García (Eds.). Springer-Verlag, 160-171.
- Gutierrez Marco, J.C. y Rábano, I. (1987). Trilobites y Graptolitos de las lumaquelas terminales de los Bancos mixtos (Ordovícico superior de la Zona Centro-Ibérica): Elementos nuevo o poco conocidos. *Bol. Geol. Y Min.* 98: 647-669.
- Julivert, M., Fontbote, J.M., Ribeiro, A. & Conde, L., 1979. Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares E. 1:1.000.000. IGME, España.
- Julivert, M. y col. (1972).- Memoria explicativa del mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. (Escala 1:1.000.000) IGME. 113 p. Madrid.
- Leutwein, F., Saupé, F., Sonet, J. y Bouyx, E. (1970). Première mesure géochronologique en Sierra Morena: La granodiorite de Fontanosas (Province de Coudad Real, Espagne): *Geol. Mijnb.* 49: 297-304.
- Lillo, J. y otros siete (1997). Memoria Geológica de la Hoja de Aldeaquemada nº 863. ITGE, 143 pp.
- Lombardero, M., y Quereda, J.M., 1990, La Piedra Natural para la construcción. 1115-1150.
- Lombardero, M., y García Guinea, J. 1990. La Piedra Natural Española y su uso en arquitectura. 15pp.
- Lotze, F. (1945). Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotekt. Forsch.* 6, p.78-92. (Traducción: "Publicaciones Extranjeras sobre Geología de España, 5, p. 149-166).
- Lotze, F. (1956). Über Sardischen Bewegungen in Spanien und ihre Beziehungen zur assyntischen Faltung. *Geotectonic Symposium Hans Stille.* p. 129-139.
- Lotze, F. (1961). Stratigraphie, in Lotze, F. and Sdzuy, K. "Das Kambrium Spaniens"; *Akad. Wissensch. Lit. Mainz., Abh. Math. Naturw. Kl.*, v. 6, p. 285-498. (Traducido por J. Gómez de Llarena. *Mem. Inst. Geol. y Min. de España*, 75).
- McDougall, P.J., Rebelo, A. y Romano, M. (1987). Fans y fans-deltas-precursors to the Armorican Quartzite (ordovician) in westwern Iberia. *Geol. Mag.* 124: 347-359.
- Naval, A. e Iglesias, M. (1981). Mapa y Memoria explicativa de la Hoja nº 56 (Oza de los Ríos) del Mapa Geológico Nacional a E. 1:50.000, IGME, Madrid.
- Nozal Martín, F. Robles Casas, R. (1988). Series y correlación de los materiales anteordovícicos en los Montes de Toledo y el Sur de Salamanca. *II Congr. Geol. España, SGE, Granada*, pp. 139-143.
- Nozal Martín, F., obles Casas, R., Santamaría Casanovas, J. (1989). Estratigrafía de los materiales precámbricos en el sector central del Anticlinal de Ibor. Localización de la discordancia intra-Alcudiense (Zona Centro-Ibérica). *II Congr. Geol. Esp. Comun.*, 1: 135-138.

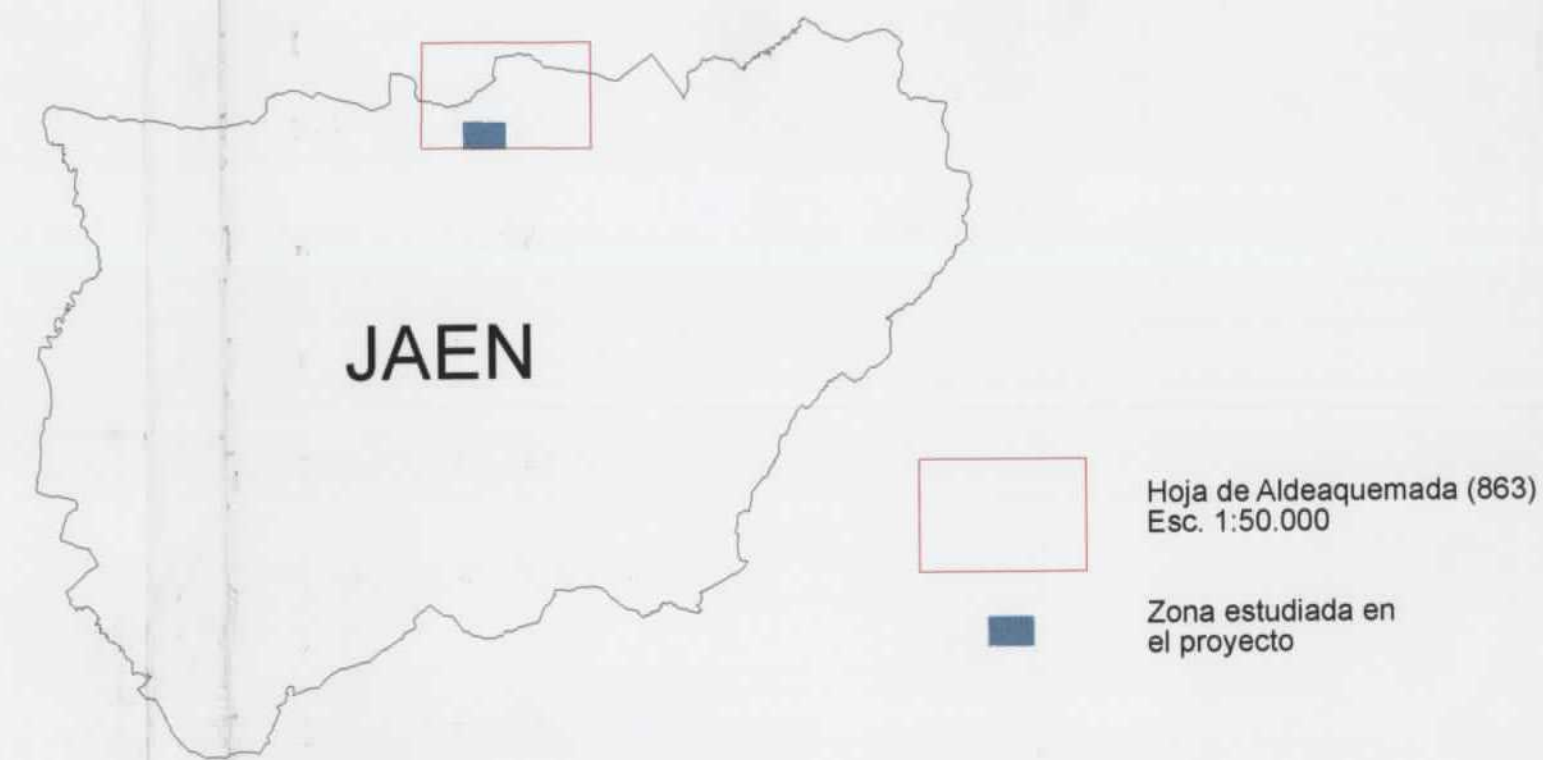
- Ortega, F. y González Lodeiro, F., 1986. La discordancia intra-Alcudiense en el dominio meridional de la Zona Centro-Ibérica. *Brev. Geol. Astúrica*, 27: 27-32.
- Ortega, E. (1988). Geology and metallogeny of the Almadén area, Centroiberian Zone, Spain. 2nd Remote Sensing European Workshop. Publicaciones de la CEE.
- Palero, F. J. (1993). Tectónica pre-hercínica de las series infraordovícicas del Anticlinal de Alcudia y la discordancia intraprecámbrica en su parte oriental (sector meridional de la Zona Centro-Ibérica). *Bol. Geol. Y Min.* 104 (3): 227-242.
- Pineda Velasco, A. (1987). La Caliza Urbana (Ordovícico superior) y sus tramos volcanoclásticos en el subsuelo del norte de El Centenillo (Jaén). *Bol. Geol. Y Min.* 98: 780-793.
- Portero García, J.M., Dabrio Gonzalez, C.J. (1988). Evolución tectosedimentaria del Ordovícico y Silúrico de los Montes de Toledo meridionales y Campo de Calatrava. *II Congr. Geol. Esp. Comun.* 1: 161-164.
- Puigdefábregas, C. (1981).- Estudio paleogeográfico del Precámbrico de la región de Almadén. Informe interno. MAYASA.
- Rábano, I. (1989). Trilobites del Ordovícico Medio del sector meridional de la Zona Centro-Ibérica Exspanola. Parte IV: Phacopina, Scutelluina, Odontopleurida y Lchida. *Bol. Geol. Y Min.* 100 (6): 971-1032.
- Regueiro, M., Quereda, J.M^a., Lombardero, M., y Fdez. Leyva, C. 1995. Introducción al inventario de la piedra de cantera utilizada en monumentos españoles. 59 pp.
- Richter, P. (1967). Stratigraphie und Tektonik in der Sierra de San Andrés (östliche Sierra Morea, Spanien). *Münster. Forsch. Geol. Paläont.* 3: 1-144.
- Roiz, J.M. (1979). La estructura y la sedimentación hercínica, en especial el Precámbrico superior, en la región de Ciudad Real - Puertollano. Tesis doctoral. Univ. Complutense, Madrid, 256 p.
- San José, M.A. de (1984, public. 1986).- Los materiales anteordovícicos del anticlinal de Navalpino. *Cuad. Geol. Ibérica*, 9, p. 81-117.
- San José, M.A. de (1992).- El Paleozoico Inferior de la Zona Centroibérica meridional. En: "Paleozoico Inferior de Ibero-América". Gutierrez-Marco, J.C. y col. (Eds), p. 505-521.
- Saupé, F. (1971). La série ordovicienne et silurienne d'Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne) *Bur. Recherches Géol. Min. (París) Mem.* ,v. 73, p. 355-365.
- Saupé, F. (1990). Geology of the Almadén Mercury Deposit, Province of Ciudad Real, Spain. *Economic Geology*, vol. 85, p.482-510.
- Saupé, F., Dunoyer de Segonzac, G. y Teichmüller, M. (1977). Etude du metamorphisme régional par la cristallinité de l'illite et la réflectance de la materie organique dans la zone du gisement de mercure d'Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne): *Sci. Terre (Naacy)*, 21: 251-269.
- Sousa, M.B. da, 1982. Litoestratigrafía e estrutura do "Complexo Xisto-Grauváquico ante-ordovícico" -Grupo do Douro (nordeste de Portugal).Univ. de Coimbra. 222p.

- Steiger, R.H. y Jaeger, E. (1977). Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry: Earth Planet. Sci. Letters, 36: 359-362.
- Tamain, G. (1972). Recherches géologiques et minières en Sierra Morena orientale (Espagne). These Univ. de Paris Sud (Centre d'Orsay). 648 p.
- Tamain, G. (1975). El Alcudiense y la Orogénesis Cadomiense en el Sur de la Meseta Ibérica (España). Bol. R. Soc. Esp. Hist. Natural, Madrid. 437-464.
- Teixeira, C. (1955). Notas sobre geología de Portugal. O Complexo Xisto Grauwauquico Ante-Ordoviciano. (ed: Autor). Empreita Lit. Fluminense, Lisboa, p. 1-50.
- Teixeira, C., 1955. Notas sobre a geologia de Portugal. Vol. 1. Formações antemesozoicas. Lisboa.
- Toyos, J.M., Taboada, J., Lombardero, M., Romero, J.A., y Menéndez, A.. (1994). Estudio de las discontinuidades en yacimientos de roca ornamental. Boletín Geológico y Minero, 105, 110-118.
- Villar Alonso, P., Escuder Viruete, J. y Martínez Catalán, J.R., 1992. La zona de cizalla de Juzbado-Penalva do Castelo en el sector español. III Congr. Geol. España. Simp. 2: 446-456.

12. ANEXOS

ANEXO 12.1

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA



LEYENDA

CUATERNARIO	
23	Fondos de valle y terrazas
22	Coluviones
DEVÓNICO	
18	Alternancia de pizarras y areniscas
17	Cuarcitas de Base
16	Pizarras negras y areniscas
15	Pizarras ampolíticas
14	Cuarcita de Criadero
SILÚRICO	
13	Pizarras de Chavera
12c	Caliza Urbana
12b	Bancos mixtos
12a	Pizarras Cantera
11	Cuarcita Botella
10a	Areniscas de los Rasos
10	Alternancia pizarras, areniscas y cuarcitas
9	Esquistos del Río
ORDOVÍCICO	
D	Diques de Diabasa
	Diques de Barita
	Diques de Cuarzo

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

CONTACTO CONCORDANTE	CONTACTO DISCORDANTE
CONTACTO MECÁNICO	FALLA CONCORDIA
FALLA SUPUESTA	FALLA CON INDICACIÓN DE HUNDIMIENTO
FALLA CON INDICACIÓN DE MOVIMIENTO DESTROGIRA	FALLA CON INDICACIÓN DE MOVIMIENTO LEVOGIRA
FALLA CON INDICACIÓN DE MOVIMIENTO LEVOGIRA SUPUESTA	ANTICLINAL
ANTICLINAL SUPUESTO	ANTICLINAL CON SENTIDO DE INMERSIÓN
SINCLINAL	SINCLINAL SUPUESTO
SINCLINAL CON SENTIDO DE INMERSIÓN	SINCLINAL TUMBADO
ESTRATIFICACIÓN SUBVERTICAL	ESTRATIFICACIÓN INVERTIDA
ESTRATIFICACIÓN	PRIMERA ESQUISTOSIDAD
LINEACIÓN DE INTERSECCIÓN	COLUVIAL
CANTERA INACTIVA	ENSAYO

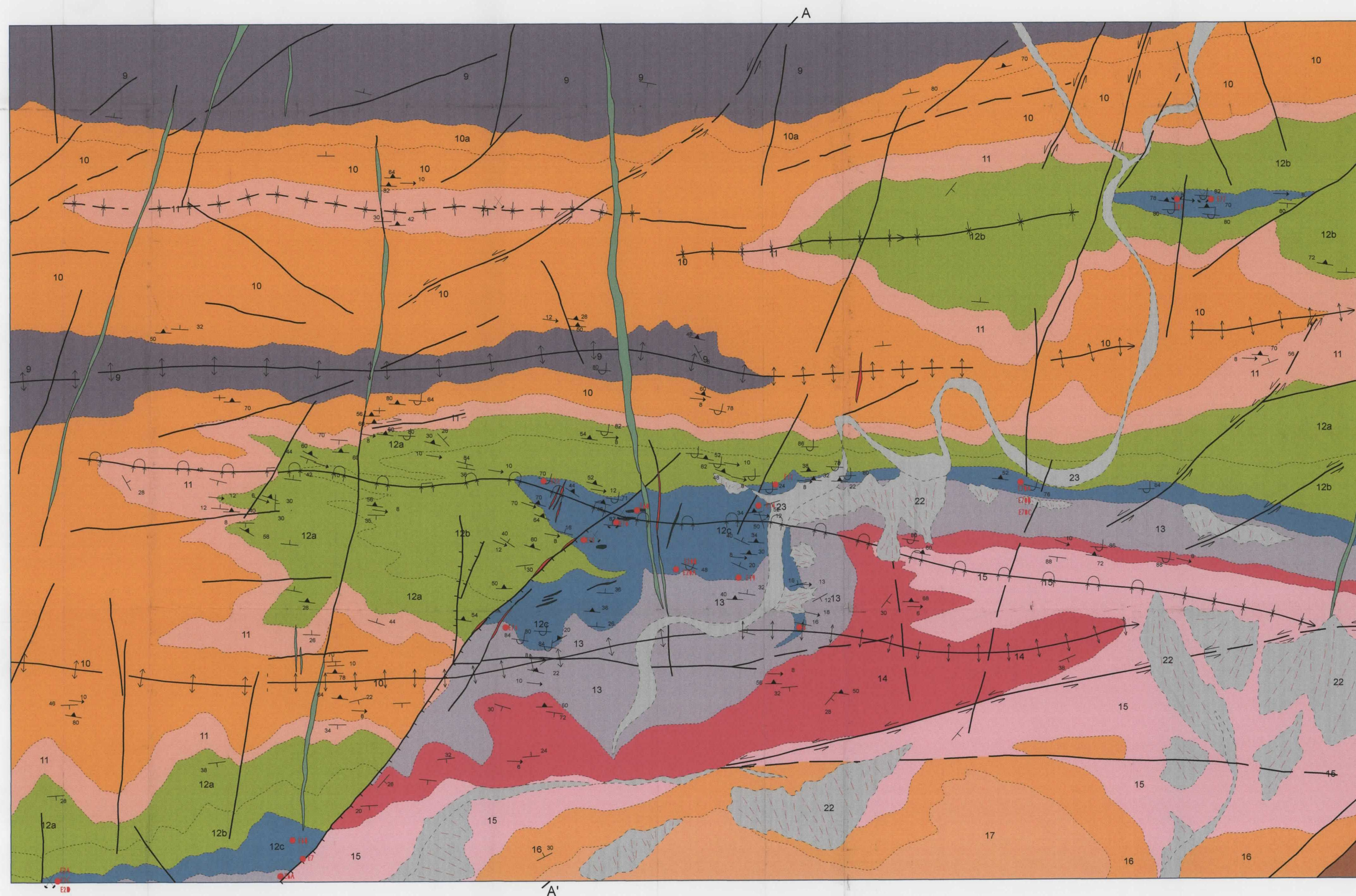


PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FORMACIÓN
CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAEN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL

MAPA GEOLOGICO-ESTRUCTURAL DEL SECTOR ORIENTAL

AUTOR: J. Escuder M. Regueiro	FECHA: Diciembre 1999	ESCALA: 1:10.000	PLANO NUM.: 1
-------------------------------------	--------------------------	---------------------	------------------

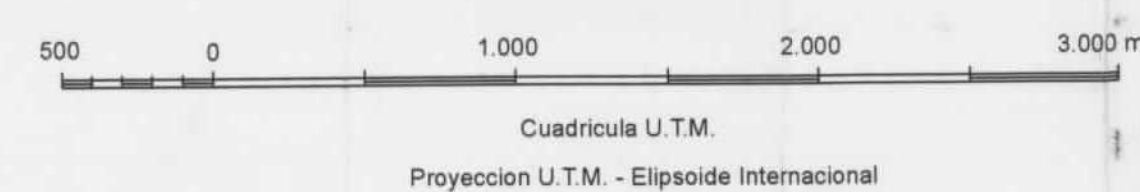
TRATAMIENTO S.T.G.: M. Teresa Orozco
Jesús Sánchez



ENSAYOS

E5A LD	E5E LD
E5C LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX	E5D LD
E5D LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX	E5B LD
E5A LD	E7BA LD
E5B LD	E7BB LD
E7 LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX	E7CC LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX
E7C LD PP AB PE PO CT HD CL MK	E7A LD
E7A LD	E7B LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX
E7B LD	E7D LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX
E7C LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX	E7E LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX
E7D LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX	E7F LD PP AB PE PO CT HD CL MK DRX FRX
E7E LD	E7G LD

Escala 1:10.000



Cuadrícula U.T.M.
Proyección U.T.M. - Elipsoide Internacional



LEYENDA

CUATERNARIO

23 Fondos de valle y terrazas

22 Coluviones

DEVÓNICO

18 Alternancia de pizarras y areniscas

17 Cuarcita de Base

SILÚRICO

16 Pizarras negras y areniscas

15 Pizarras ampolíticas

14 Cuarcita de Criadero

ORDOVÍCICO

13 Pizarras de Chavera

12c Caliza Urbana

12b Bancos mixtos

12a Pizarras Cantera

11 Cuarcita Botella

10 Alternancia pizarras, areniscas y cuarcitas

9 Esquistos del Río

ROCAS ÍGNEAS

D Diques de Diabasa

Q Diques de Cuarzo

B Diques de Barita

SÍMBOLOS CONVENCIONALES



ENSAYOS

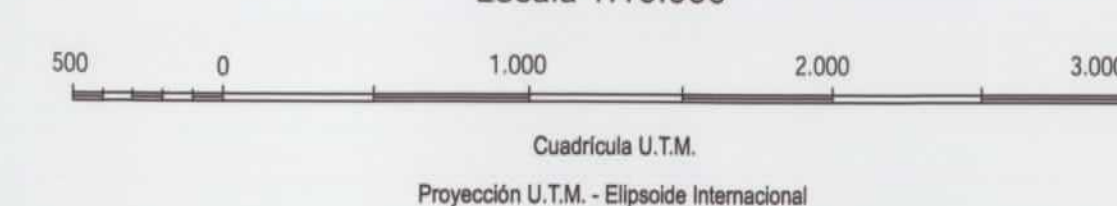
E82 LD

E83A LD PP AB PE PO CT HD CL MK PRX FRX

E83B LD PP AB PE PO CT HD CL MK PRX FRX

E86 LD

Escala 1:10.000



Instituto Geológico y Minero de España

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FORMACIÓN CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAEN, PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL

MAPA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DEL SECTOR ORIENTAL

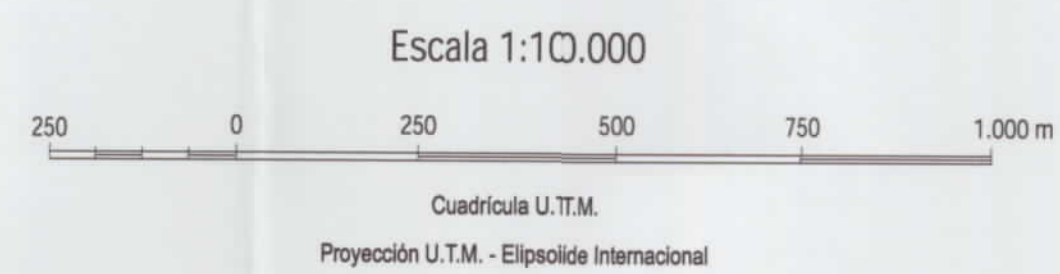
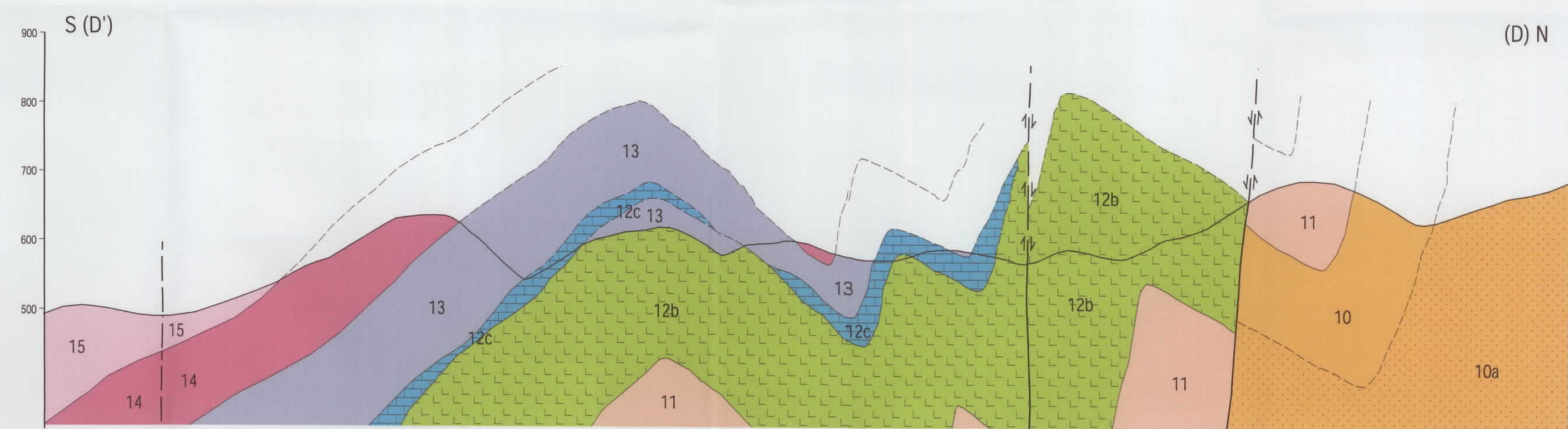
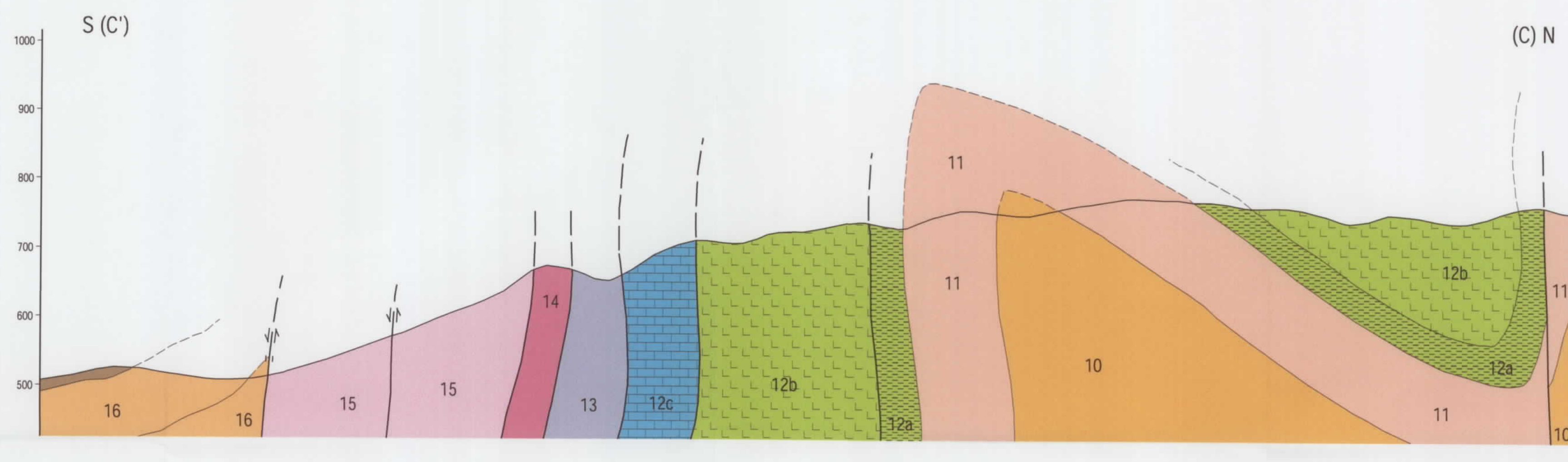
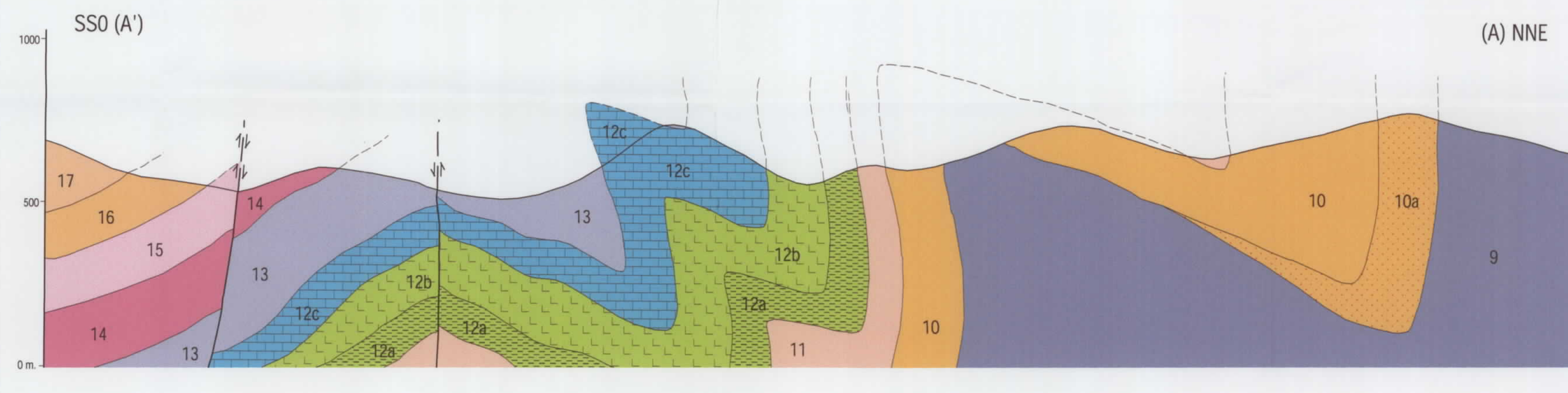
AUTORES:
Javier Escuder
M. Regueiro

TRATAMIENTO S.I.G.:
M. Teresa Orozco
Jesús Baeza

FECHA:
Diciembre 1999

ESCALA:
1:10.000

PLANO NUM.:
2



LEYENDA

CUATERNARIO

23 Fondos de valle y terrazas

22 Coluviones

DEVÓNICO

18 Alternancia de pizarras y areniscas

17 Cuarcita de Base

SILÚRICO

16 Pizarras negras y areniscas

15 Pizarras ampelíticas

14 Cuarcita de Criadero

ORDOVÍCIO

13 Pizarras de Chavera

12c Caliza Urbana

12b Bancos mixtos

12a Pizarras Cantera

11 Cuarcita Botella

10 Alternancia pizarras, areniscas y cuarcitas

9 Esquistos del Río

ROCAS ÍGNEAS

D Diques de Diabasa

Q Diques de Cuarzo

B Diques de Barita



Instituto Geológico
y Minero de España

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FORMACIÓN
CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL

CORTES GEOLÓGICOS

AUTORES:
Javier Escuder
M. Regueiro

TRATAMIENTO S.I.G.:
M. Teresa Orozco
Jesús Baeza

FECHA:
Diciembre 1999

ESCALA:
1:10.000

PLANO NUM.:
3

ANEXO 12.2

COLUMNAS DE LOS SONDEOS

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 1

X UTM: 469900
Y UTM: 4244750
Cota: 630
Inicio: Enero-2001
Fin: Febrero-2001
Dirección: N28°E
Inclinación: 26°

Área de estudio: FORMACIÓN CALIZA URBANA

Autonomía: **ANDALUCÍA**

Provincia: JAÉN

Término municipal: **ALDEAQUEMADA**

Hoja 1/50.000: 863

Responsables de la toma de datos:

Javier Escuder Viruete

Manuel Requeiro y González-Barros

Fecha de testificación: 16/03/2001

Longitud final (m): -64.6



1 de 2

IF: índice de fracturación

Leyenda: A: absorción (%)

PEA: peso específico aparente (g/cm³)
 PU: resistencia a las heladas (%)

RHE

RC: resistencia a la compresión (MPa)

RF: resistencia a la flexión (MPa)

RCT: resistencia a los cambios térmicos

Resistencia a los cambios térmicos

CC coordenadas cromáticas (antes-depois)

MK: microdureza Knoop

Prof. (m)	Recup.		RQD		IF	20	Caja	Litología	Descripción	Alterac.	Ensayos tecnológicos								Muestra		Prof. (m)
	0%	100%	0%	100%							0	I	VI	A	FEA	RH	RC	RF	RCh	RCI	
0																					0
1																					1
2																					2
3																					3
4																					4
5																					5
6																					6
7																					7
8																					8
9																					9
10																					10
11																					11
12																					12
13																					13
14																					14
15																					15
16																					16
17																					17
18																					18
19																					19
20																					20
21																					21
22																					22
23																					23
24																					24
25																					25
26																					26
27																					27
28																					28
29																					29
30																					30
31																					31
32																					32
33																					33
34																					34
35																					35
36																					36
37																					37
38																					38
39																					39

**PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 1

X UTM: 469900
Y UTM: 4244750
Cota: 630
Inicio: Enero-2001
Fin: Febrero-2001
Dirección: N28°E
Inclinación: 26°

Área de estudio: FORMACIÓN CALIZA URBANA
Autonomía: ANDALUCÍA
Provincia: JAÉN
Término municipal: ALDEAQUEMADA
Hoja 1/50.000: 863

Responsables de la toma de datos:
Javier Escuder Viruete
Manuel Requeiro y González-Barros
Fecha de testificación: 16/03/2001
Longitud final (m): -64.6



Leyenda:
IF: índice de fracturación
A: absorción (%)
PEA: peso específico aparente (g/cm³)
Rt: resistencia a las heladas (%)

RC: resistencia a la compresión (MPa)
RF: resistencia a la flexión (MPa)
RCI: resistencia al choque (cm)
RCT: resistencia a los cambios térmicos

CC: coordenadas cromáticas (antes-después)
MK: microdureza Knoop





1 de 5

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código prof.	Prof. (m)
0				1		SUELO CALCÍFICO: de mamoli, desarrollado por carstificación.				0
1										1
2										2
3				2						3
4										4
5										5
6				3						6
7										7
8				4						8
9										9
10				5		PIZARRAS VERDES: con frecuentes huecos hacia la base.				10
11										11
12										12
13				6						13
14										14

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 1	X UTM: 469900	Y UTM: 4244750	Cota: 630	Longitud final (m): -64.6	Inicio: Enero-2001 Fin: Febrero-2001	2 de 5
----------	---------------	----------------	-----------	---------------------------	---	--------

[illegible]

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
31										31
32										32
33										33
34										34
35										35
36										36
37						MARMOL BLANCO: con bandeados calcíticos.				37
38						vena calcítica en facies de mármoles blancos masivos.				38
39										39
40										40
41										41
42										42
43						MARMOL OCRE: oqueroso y dolomítico.				43
44										44
45										45
46						MARMOL BLANCO				46

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 1

X UTM: 469900







Y UTM: 4244750

Cota: 630

Longitud final (m): -64.6


Inicio: Enero-2001
Fin: Febrero-2001

4 de 5

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
47						venas ocre en los mármoles blancos.				47
48										48
49										49
50						MARMOL OCRE				50
51						MARMOL BLANCO				51
52										52
53						MARMOL OCRE				53
54						MARMOL BLANCO				54
55										55
56						MARMOL OCRE				56
57										57
58										58
59						MARMOL BLANCO: fajeado, localmente asociado a minerales rojizos y coquerías.				59
60										60
61										61
62						PIZARRAS NEGRAS (FM. CHAVERA): con diques de cuarzo.				62

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO **1** | X UTM: **469900** Y UTM: **4244750** Cota: **630** | Longitud final (m): **-64.6** | Inicio: **Enero-2001** | Fin: **Febrero-2001** | **5 de 5**

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
63										63
64										64

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 2

X UTM:	4695500
Y UTM:	42448700
Cota:	640
Inicio:	Enero-2001
Fin:	Febrero-2001
Dirección:	N10°E
Inclinación:	20°

Área de estudio: FORMACIÓN CALIZA URBANA

Autonomía: **ANDALUCÍA**

Provincia: JAÉN

Término municipal: **ALDEAQUEMADA**

Hoja 1/50.000: 863

Responsables de la toma de datos:

Javier Escuder Viruete

Manuel Requeiro y González-Barros

Fecha de testificación: 04/04/2001

Longitud final (m): 114.3

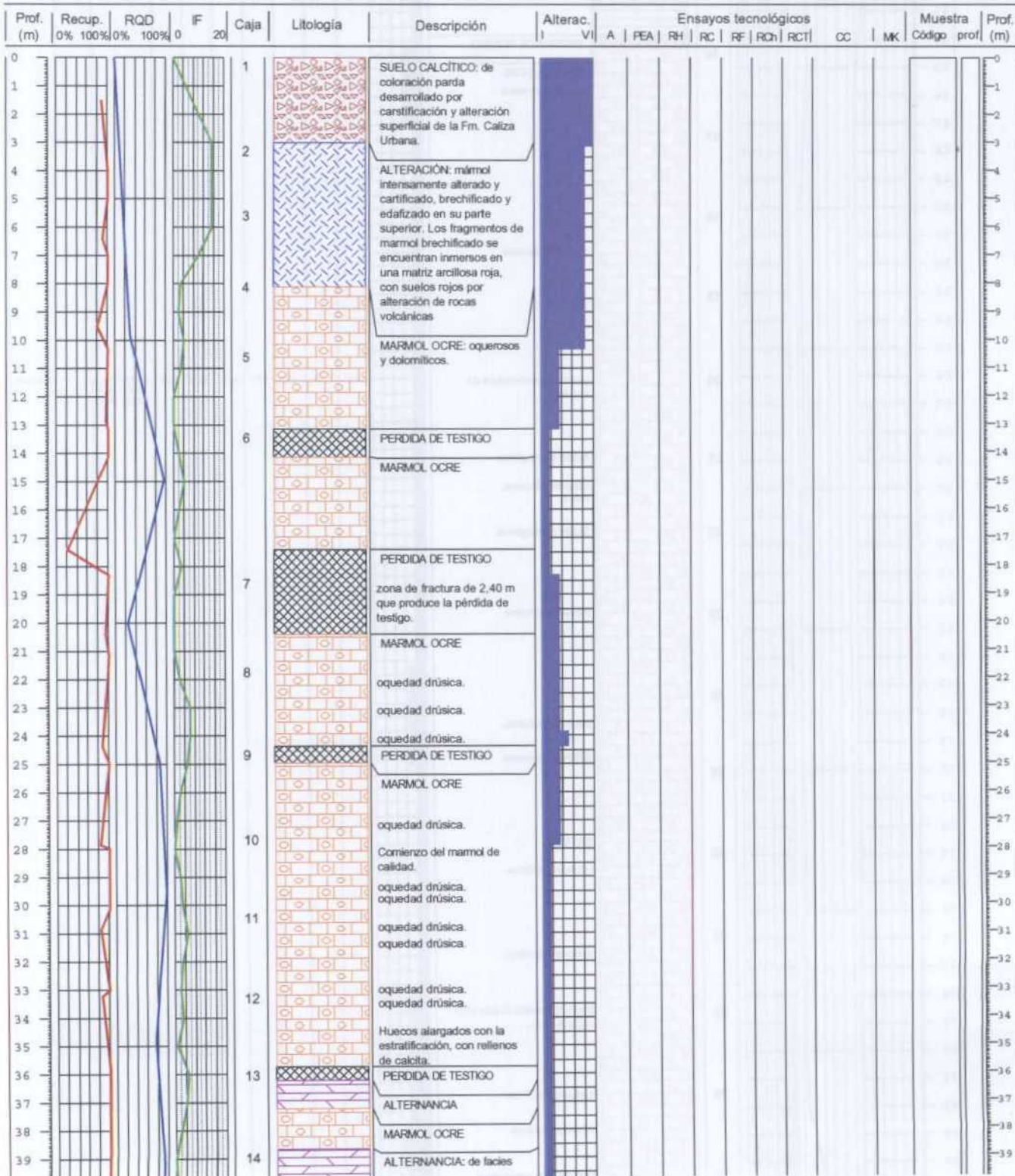


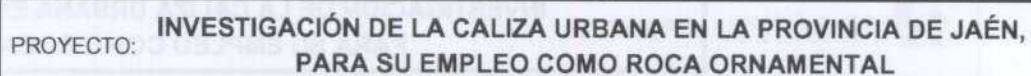
1 de 3

Leyenda: IF: índice de fracturación
A: absorción (%)
PEA: peso específico aparente (g/cm³)
RH: resistencia a las heladas (%)

RC: resistencia a la compresión (MPa)
RF: resistencia a la flexión (MPa)
RCH: resistencia al choque (cm)
RCT: resistencia a los cambios térmicos

CC: coordenadas cromáticas (antes-después)
MK: microdureza Knoop





X UTM: 4695500

Y UTM: 42448700 Cota: 640

Longitud final (m): 114.3

Inicio:	Enero-2001
Fin:	Febrero-2001

2 de 3

[illegible]



SONDEO 2

X UTM: 4695500 Y UTM: 42448700 Cota: 640

Longitud final (m): 114.3

Inicio:	Enero-2001
Fin:	Febrero-2001

3 de 3

[illegible]

PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN, PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL

SONDEO 2

X UTM: 4695500
Y UTM: 42448700
Cota: 640
Inicio: Enero-2001
Fin: Febrero-2001
Dirección: N10°E
Inclinación: 20°

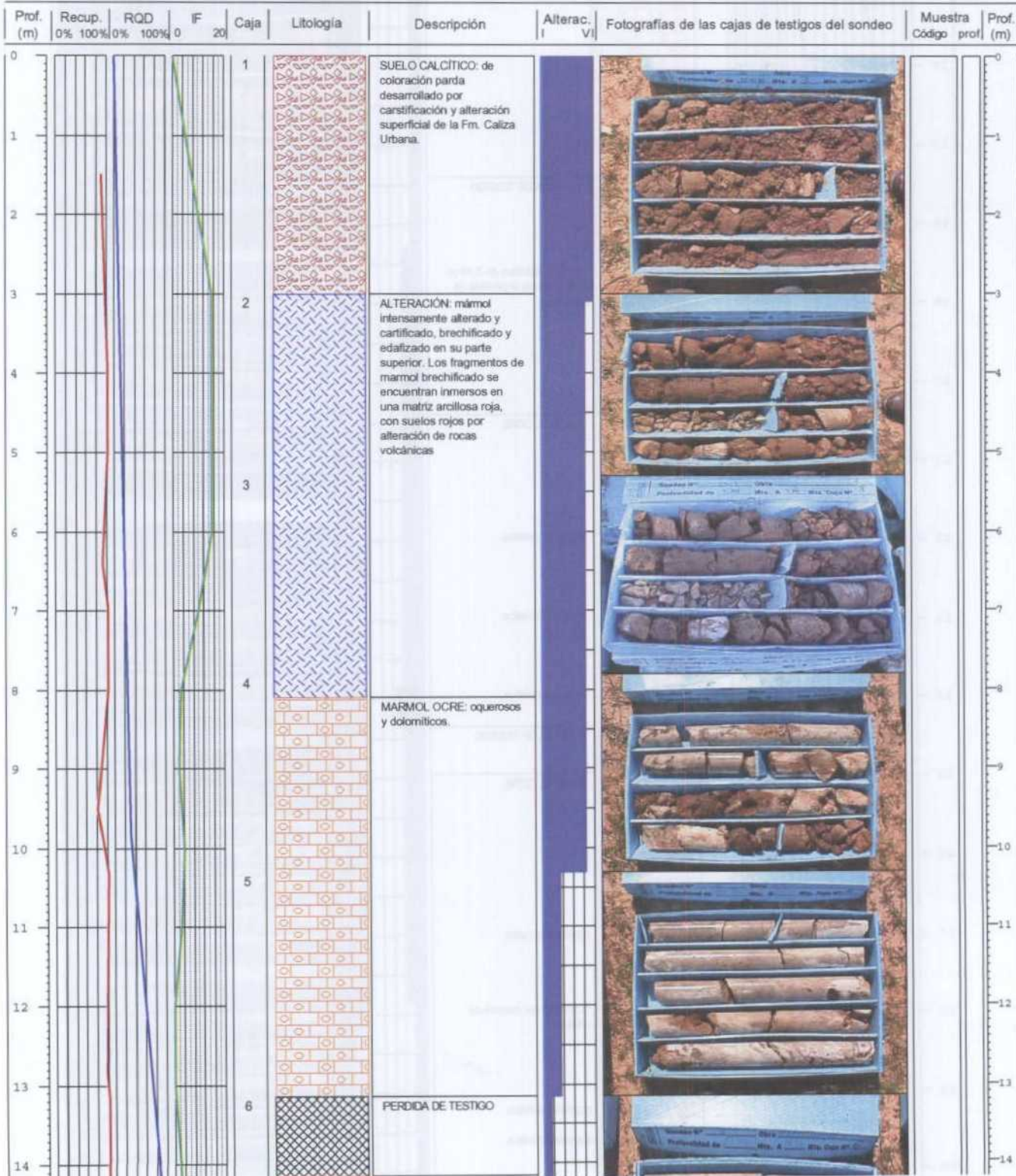
Área de estudio: FORMACIÓN CALIZA URBANA
Autonomía: ANDALUCÍA
Provincia: JAÉN
Término municipal: ALDEAQUEMADA
Hoja 1/50.000: 863

Responsables de la toma de datos:
Javier Escuder Viruete
Manuel Requeiro y González-Barros
Fecha de testificación: 04/04/2001
Longitud final (m): 114.3



Leyenda: IF: índice de fracturación
A: absorción (%)
PEA: peso específico aparente (g/cm³)
RH: resistencia a las heladas (%)
RC: resistencia a la compresión (MPa)
RF: resistencia a la flexión (MPa)
RCH: resistencia al choque (cm)
RCT: resistencia a los cambios térmicos
CC: coordenadas cromáticas (antes-después)
MK: microdureza Knoop

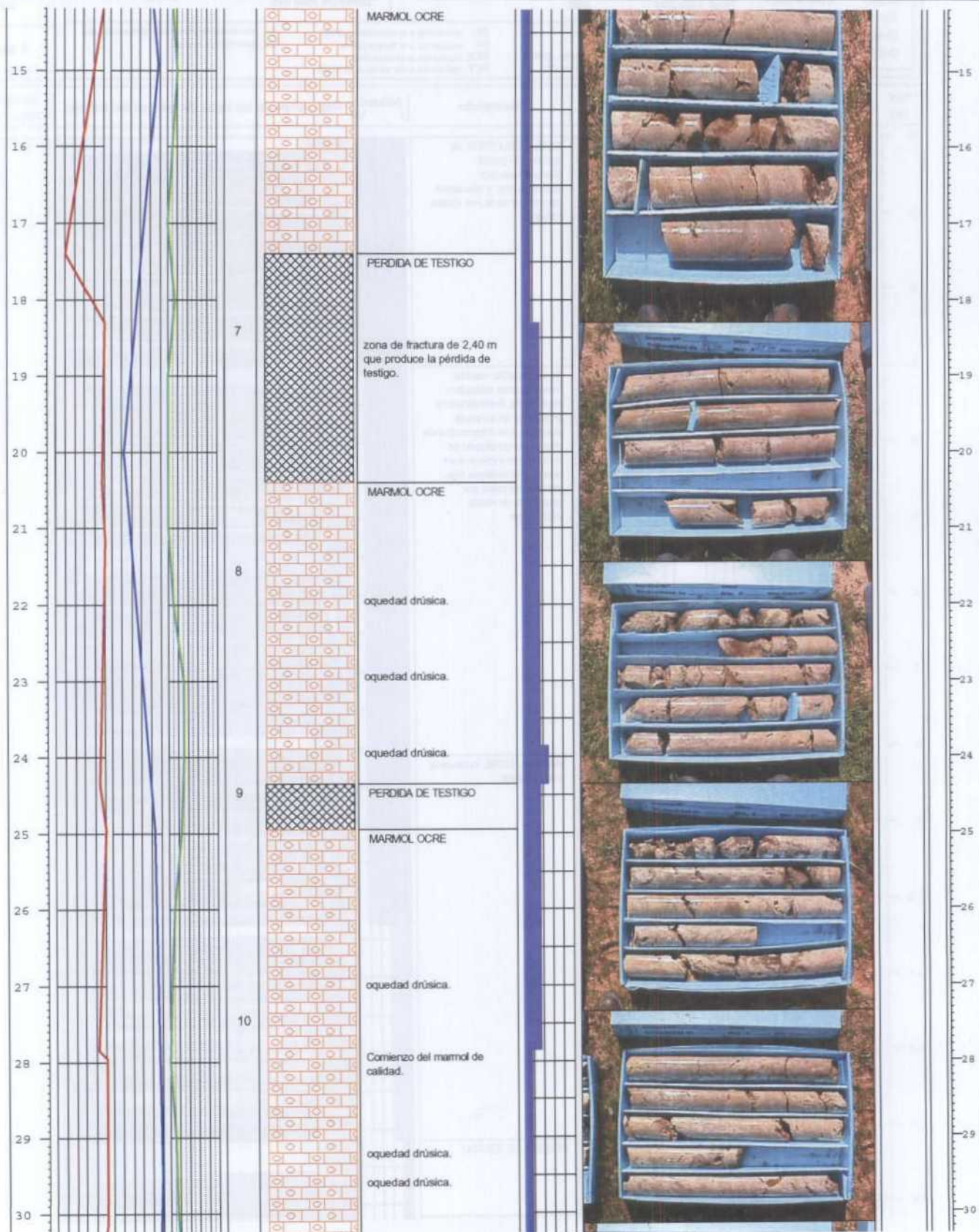
1 de 8



PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

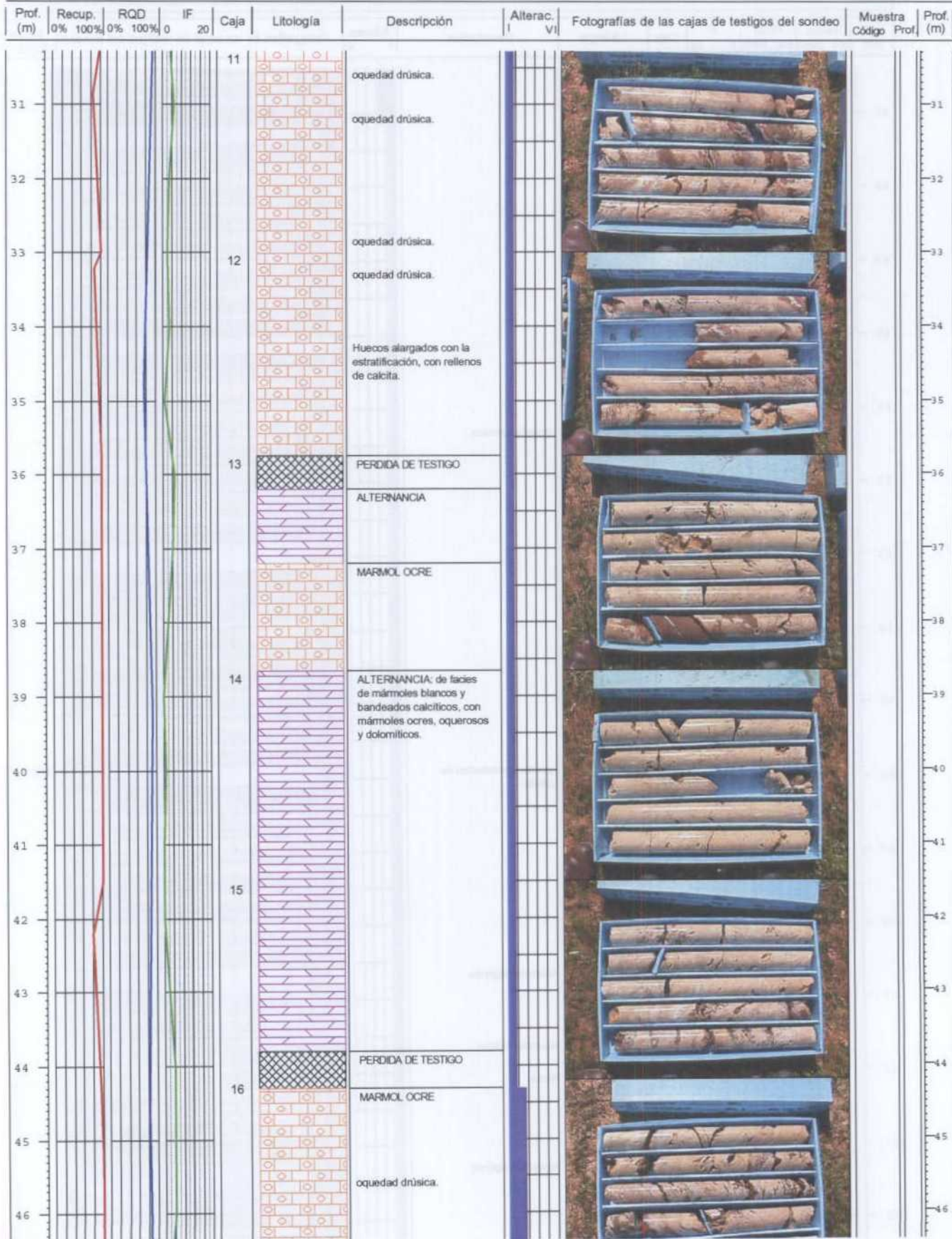
SONDEO 2 | X UTM: 4695500 Y UTM: 42448700 Cota: 640 | Longitud final (m): 114.3 | Inicio: Enero-2001 | Fin: Febrero-2001 | 2 de 8

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
--------------	-------------------	----------------	----------	------	-----------	-------------	------------------	---	-------------------------	--------------



PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 2 | X UTM: 4695500 Y UTM: 42448700 Cota: 640 | Longitud final (m): 114.3 | Inicio: Enero-2001 | Fin: Febrero-2001 | 3 de 8



Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VII	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código	Prof. (m)
47										47
48										48
49										49
50										50
51										51
52						oquedad drúsica.				52
53										53
54										54
55										55
56						grandes romboedros de caliza.				56
57										57
58										58
59						facies homogénea.				59
60						oquedad drúsica.				60
61						foto 4.				61
62						facies homogénea.				62

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 2

X UTM: 4695500

Y UTM: 42448700

Cota: 640

Longitud final (m): 114.3

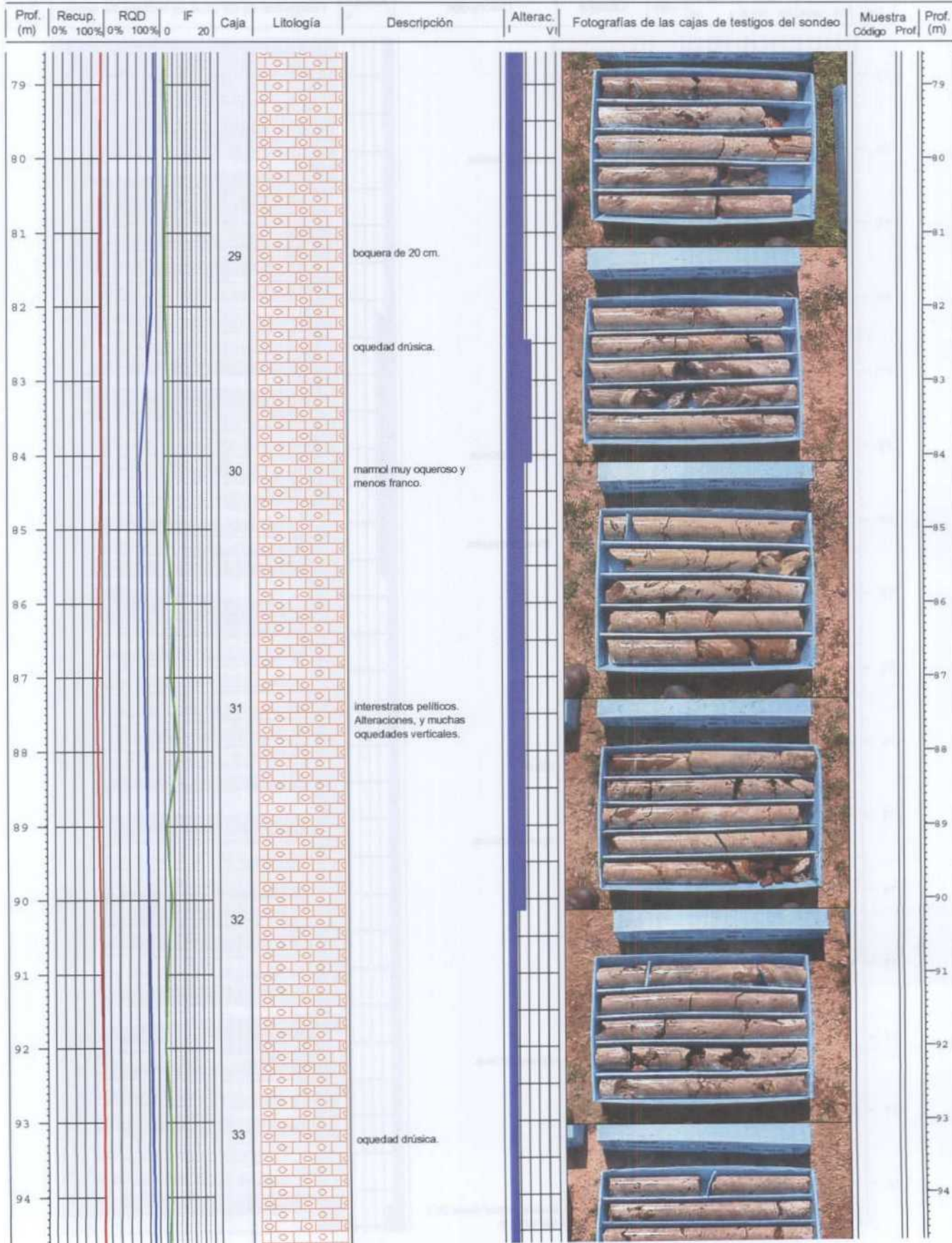
Inicio: Enero-2001
Fin: Febrero-2001

5 de 8

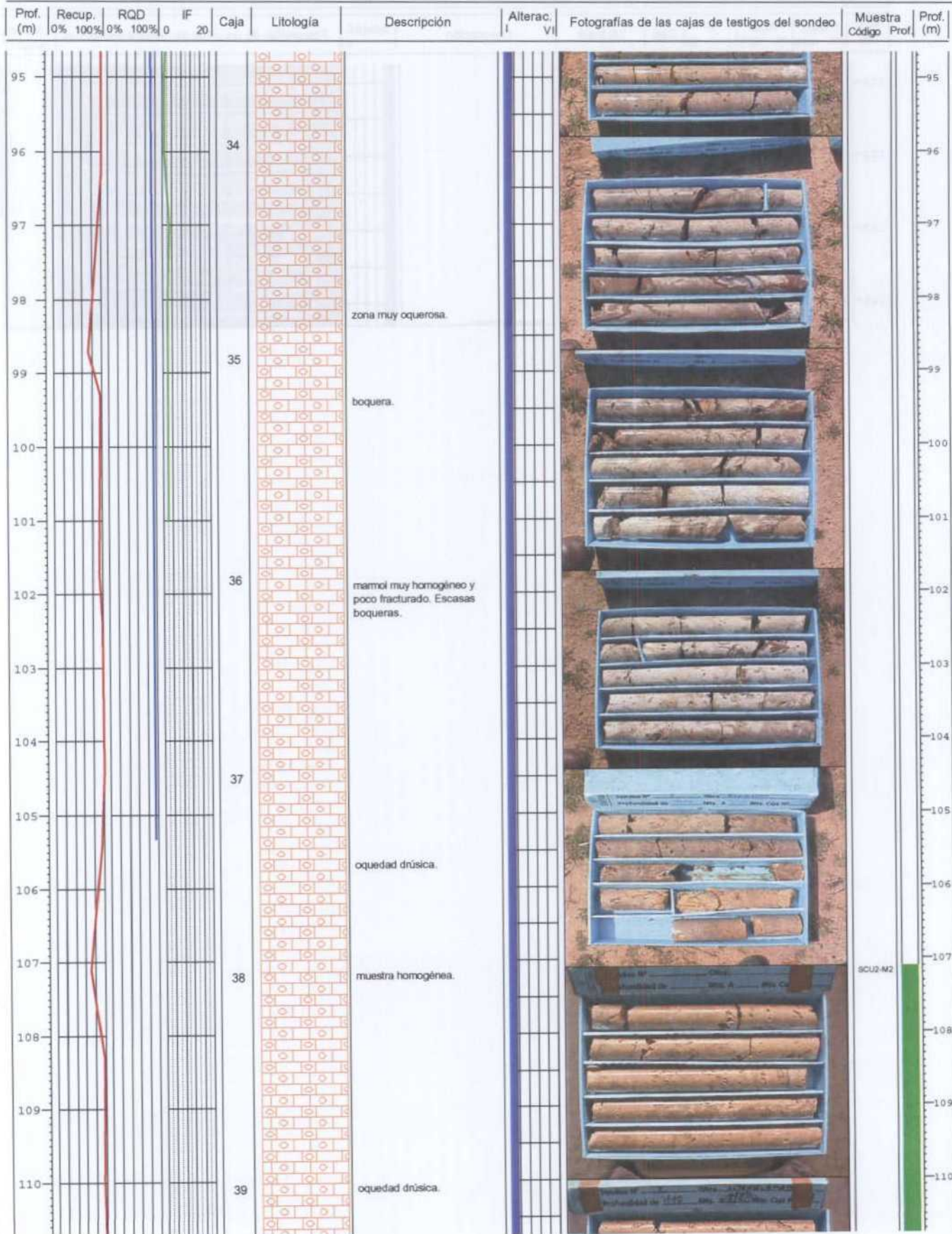
Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
63										63
64				23		oquedad drúsica.				64
65										65
66										66
67				24						67
68						oquedad drúsica.				68
69						20cm de boquera.				69
70				25						70
71										71
72						foto 5.				72
73				26		oquedad drúsica.				73
74										74
75										75
76				27		oquedad drúsica.				76
77										77
78				28		fractura vertical desde 79.5 hasta 81.2 m.				78

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 2 | X UTM: 4695500 Y UTM: 42448700 Cota: 640 | Longitud final (m): 114.3 | Inicio: Enero-2001 | Fin: Febrero-2001 | 6 de 8



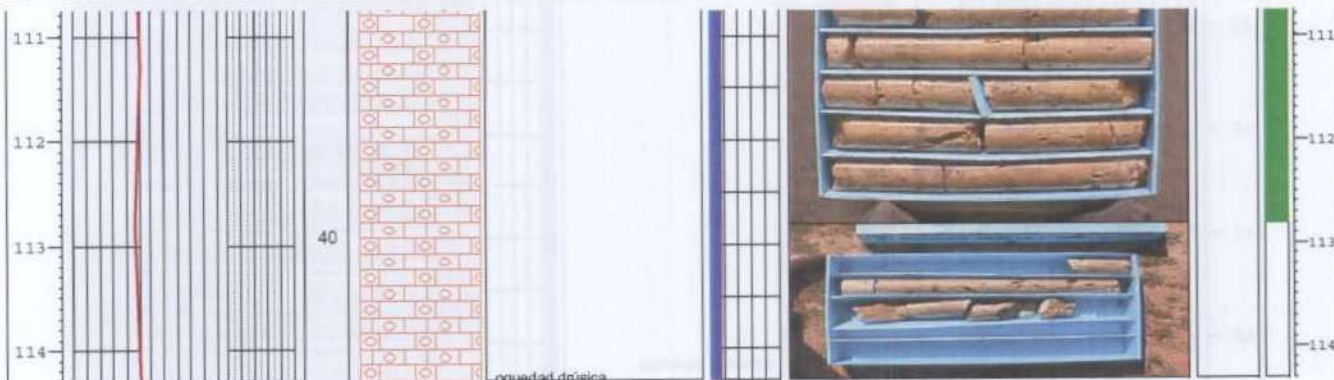
SONDEO **2** | X UTM: **4695500** Y UTM: **42448700** Cota: **640** | Longitud final (m): **114.3** | Inicio: **Enero-2001** | Fin: **Febrero-2001** | **7 de 8**



PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 2 | X UTM: 4695500 Y UTM: 42448700 Cota: 640 | Longitud final (m): 114.3 | Inicio: Enero-2001 | Fin: Febrero-2001 | 8 de 8

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
111										111
112										112
113										113
114										114



PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 3

X UTM:	466085
Y UTM:	4255650
Cota:	570
Inicio:	Enero-2001
Fin:	Febrero-2001
Dirección:	N10°E
Inclinación:	20

Área de estudio: FORMACIÓN CALIZA URBANA

Autonomía: **ANDALUCÍA**Provincia: **JAÉN**

Término municipal: **ALDEAQUEMADA**

Hoja 1/50.000: 863

Responsables de la toma de datos:

Javier Escuder Viruete

Manuel Requeiro y González-Barros

Fecha de testificación: 16/03/2001

Longitud final (m): 136.55



1 de 4

IF: índice de fracturación	RC: resistencia a la compresión (MPa)	CC: coordenadas cromáticas (antes-después)
A: absorción (%)	RF: resistencia a la flexión (MPa)	MK: microdureza Knoop
PEA: peso específico aparente (g/cm ³)	RCH: resistencia al choque (cm)	
RH: resistencia a las heladas (%)	RCT: resistencia a los cambios térmicos	

Prof. (m)	Recup.		RQD		IF	Caja	Litología	Descripción	Alterac.	Ensayos tecnológicos								Muestra		Prof. (m)
	0%	100%	0%	100%						VI	A	FEA	RH	RC	RF	RCh	RCt	CC	MK	
0																				0
1								SUELO CALCÍTICO: de coloración parda desarrollado por alteración de mármoles y pizarras.												1
2																				2
3																				3
4																				4
5								PIZARRAS NEGRAS (FM. CHAVERA)												5
6																				6
7																				7
8																				8
9																				9
10																				10
11																				11
12																				12
13																				13
14																				14
15																				15
16																				16
17								PERDIDA DE TESTIGO												17
18																				18
19																				19
20																				20
21																				21
22																				22
23																				23
24																				24
25								PIZARRAS NEGRAS (FM. CHAVERA)												25
26																				26
27																				27
28								MARMOL BLANCO: con bandeados calcíticos. Mármoles bancos, bandeados por sectores, con oquedades rellenas de óxidos ocre y pátinas, con crecimiento de cristales idiomorfos (centimétricos a milimétricos) de calcita blanca.												28
29																				29
30																				30
31																				31
32																				32
33																				33
34								MARMOL OCRE: oqueroso y dolomítico. Presenta rellenos de dolomita de grano grueso, romboedros de calcita,... Más fragil.												34
35																				35
36																				36
37								MARMOL BLANCO												37
38								MARMOL OCRE												38
39								MARMOL BLANCO												39
								ALTERNANCIA: de facies												

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 3

X UTM: 466085

Y UTM: 4255650

Cota: 570

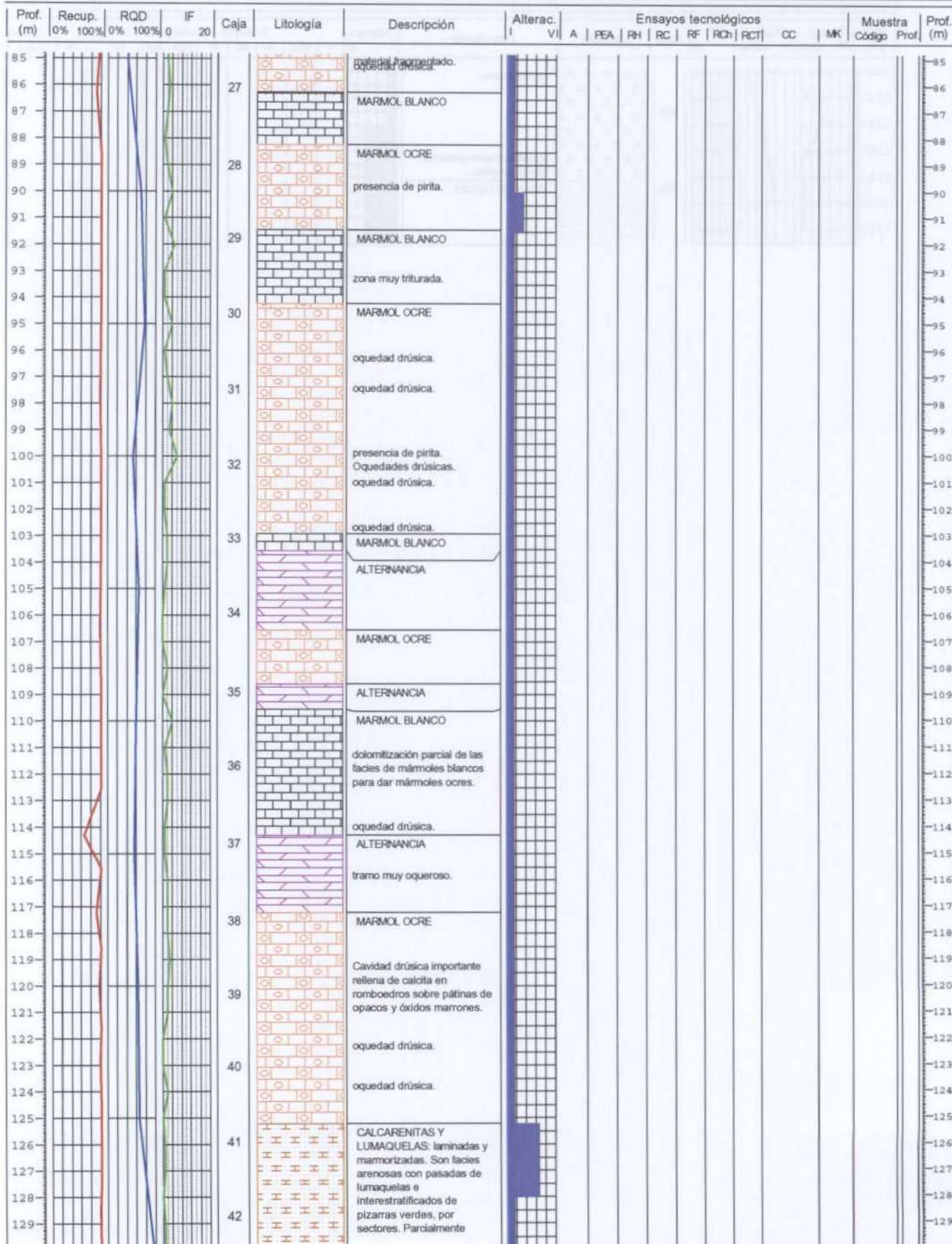
Longitud final (m): 136.55

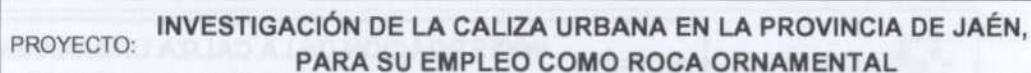
Inicio:
Fin:

Enero-2001
Febrero-2001

2 de 4

[illegible]





X UTM: 466085
Y UTM: 4255650
Cota: 570
Inicio: Enero-2001
Fin: Febrero-2001
Dirección: N10°E
Inclinación: 20

Hoja 1/50.000: 863

Longitud final (m): 136.55



1 de 9

Leyenda: IF: índice de fracturación
A: absorción (%)
PEA: peso específico aparente (g/cm³)
RH: resistencia a las heladas (%)

RC: resistencia a la compresión (MPa)
RF: resistencia a la flexión (MPa)
RCq: resistencia al choque (cm)
RCT: resistencia a los cambios térmicos

CC: coordenadas cromáticas (antes-después)
MK: microdureza Knoop

[illegible]

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VII	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
15										15
16										16
17										17
18										18
19										19
20										20
21										21
22										22
23										23
24										24
25										25
26										26
27										27
28										28
29										29
30										30

7

PERDIDA DE TESTIGO

PIZARRAS NEGRAS (FM.
CHAVERA)

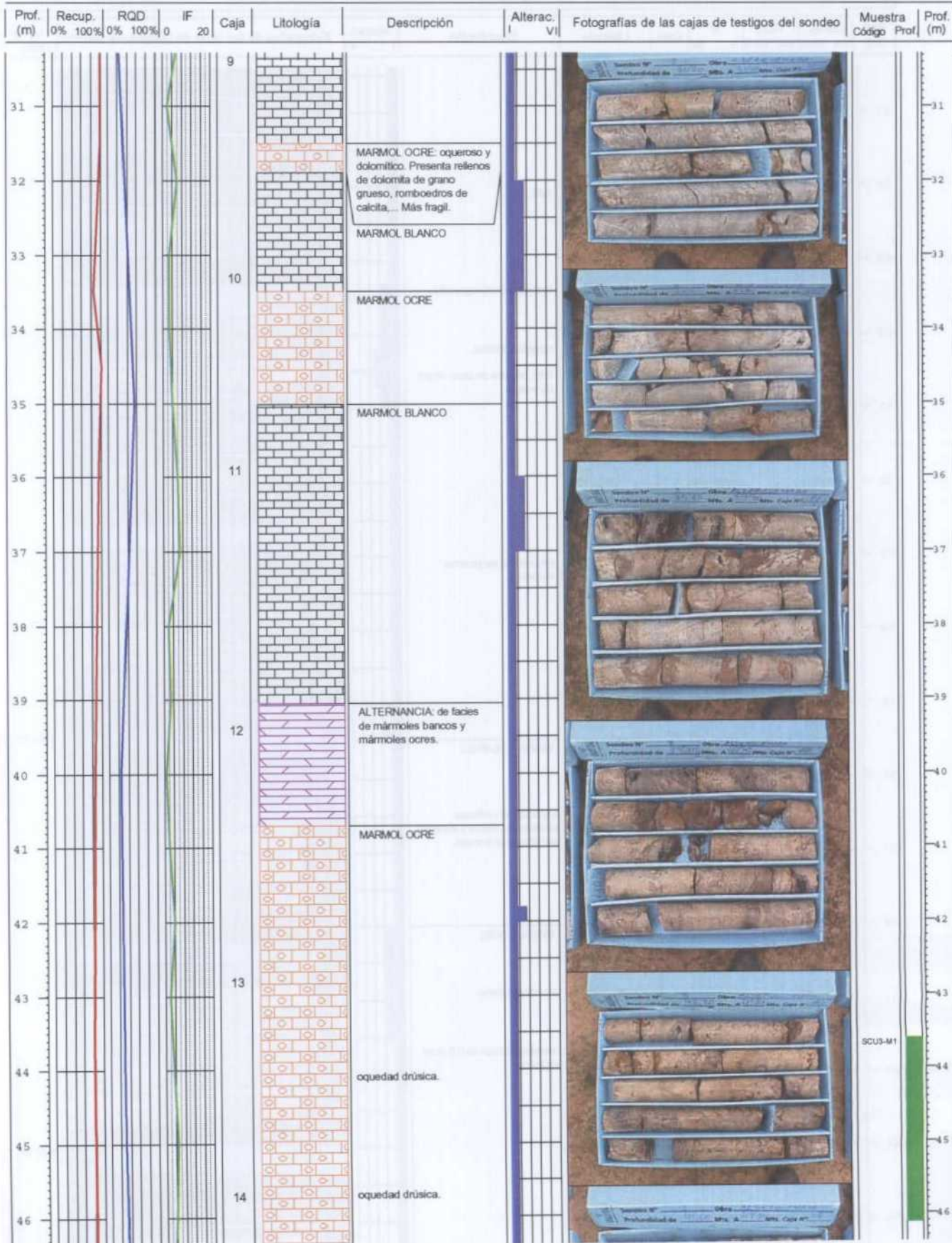
8

MARMOL BLANCO: con
bandeados calcíticos.
Mármoles bancos,
bandeados por sectores,
con oquedades rellenas de
óxidos ocre y pátinas, con
crecimiento de cristales
idiomórficos (centimétricos a
milimétricos) de calcita
blanca.



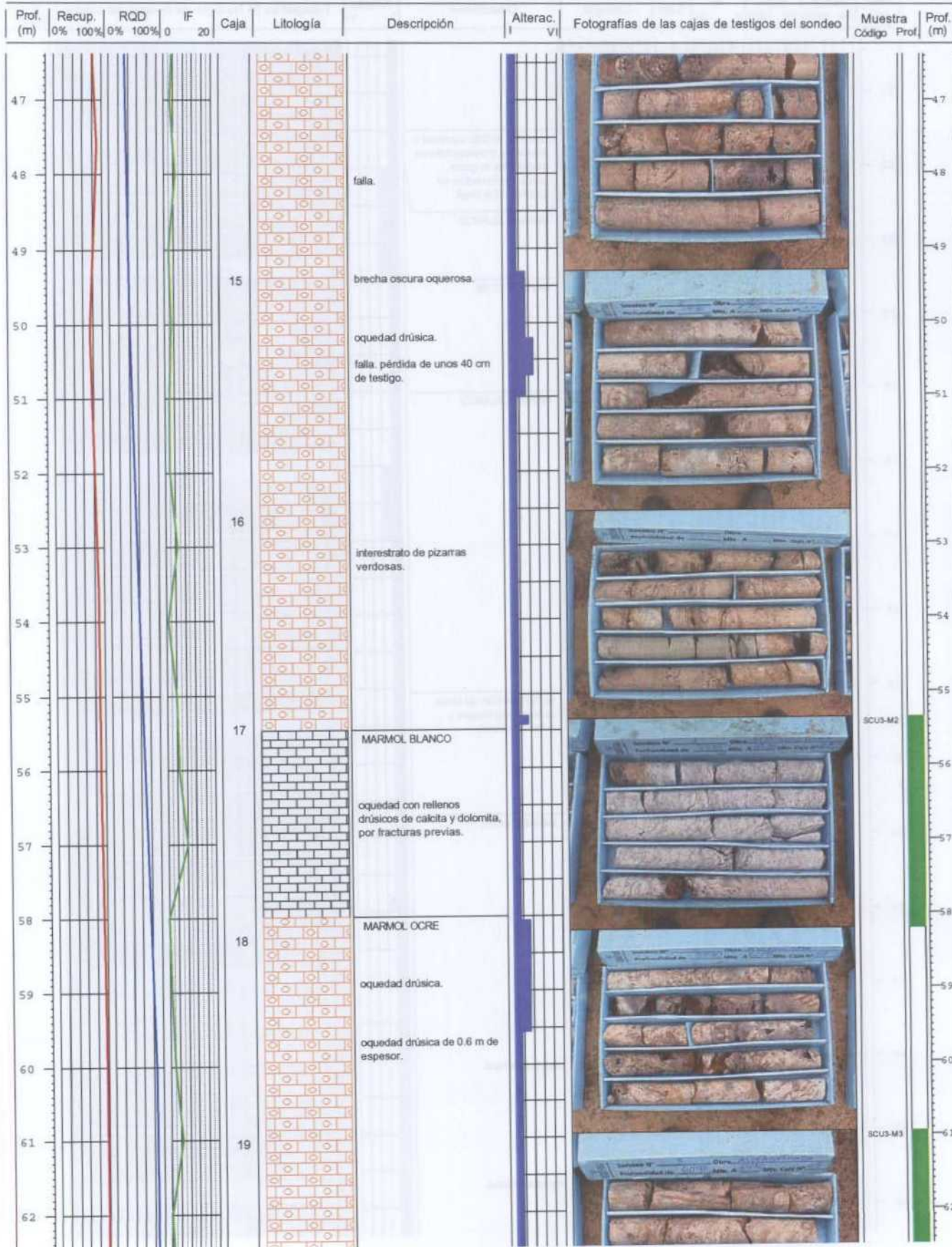
PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO **3** | X UTM: 466085 | Y UTM: 4255650 | Cota: 570 | Longitud final (m): 136.55 | Inicio: Enero-2001 | Fin: Febrero-2001 | 3 de 9



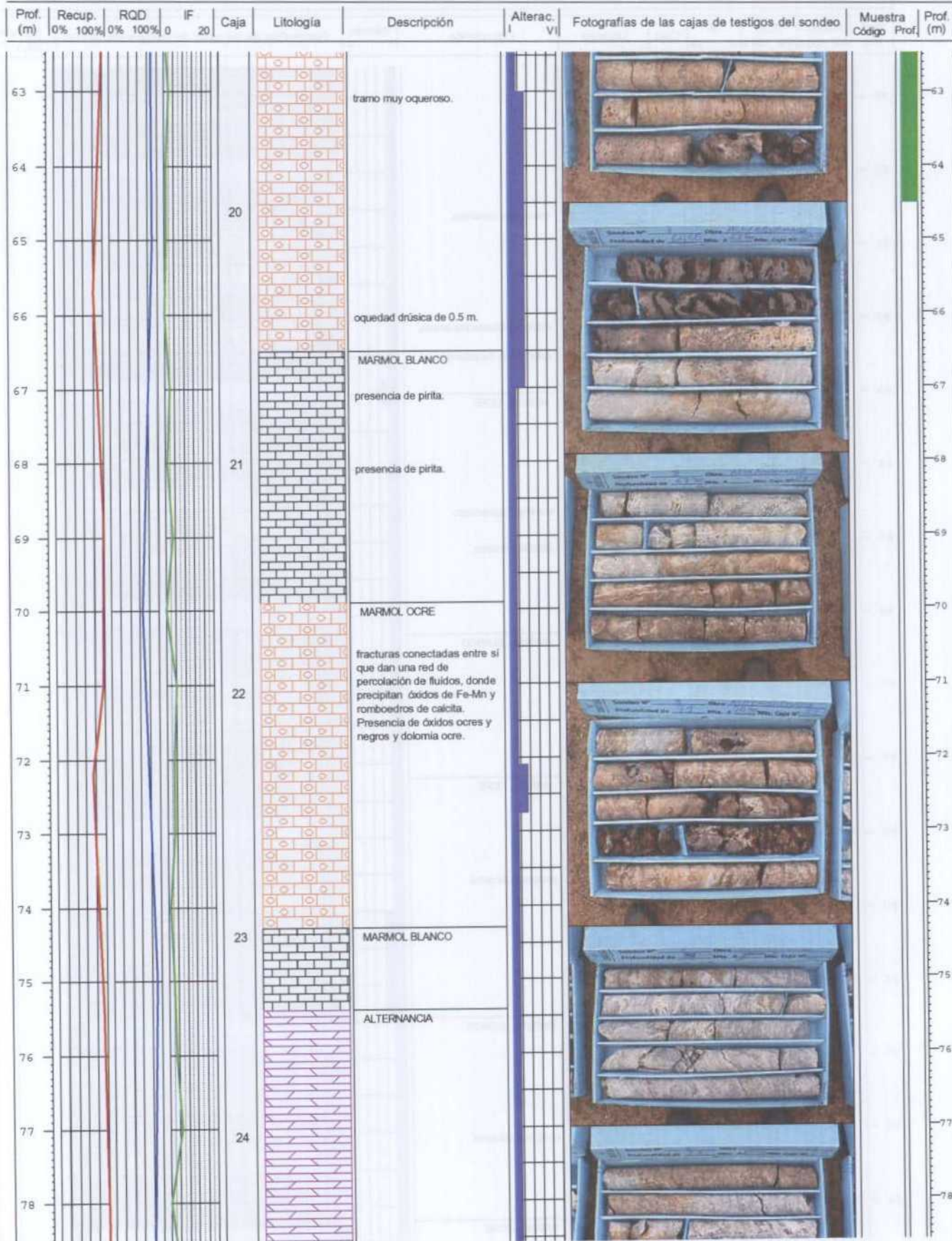
PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL

SONDEO 3	X UTM: 466085	Y UTM: 4255650	Cota: 570	Longitud final (m): 136.55	Inicio: Enero-2001	4 de 9
----------	---------------	----------------	-----------	----------------------------	-----------------------	--------



PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 3	X UTM: 466085	Y UTM: 4255650	Cota: 570	Longitud final (m): 136.55	Inicio: Enero-2001 Fin: Febrero-2001	5 de 9
----------	---------------	----------------	-----------	----------------------------	---	--------



PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO **3** | X UTM: **466085** | Y UTM: **4255650** | Cota: **570** | Longitud final (m): **136.55** | Inicio: **Enero-2001** | Fin: **Febrero-2001** | **6 de 9**

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
79										79
80				25		tramo muy oqueroso.				80
81										81
82						oquedad drústica importante.				82
						interestrato de pizarras.				
83				26		MARMOL OCRE				83
84						material fragmentado.				84
85						oquedad drústica.				85
86				27		MARMOL BLANCO				86
87										87
88										88
89				28		MARMOL OCRE				89
90						presencia de pirita.				90
91										91
92				29		MARMOL BLANCO				92
93						zona muy triturada.				93
94				30		MARMOL OCRE				94

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO **3** | X UTM: **466085** Y UTM: **4255650** Cota: **570** | Longitud final (m): **136.55** | Inicio: **Enero-2001** | Fin: **Febrero-2001** | **7 de 9**

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
95										95
96						oquedad drúsica.				96
97				31		oquedad drúsica.				97
98										98
99						presencia de pirita. Oquedades drúsicas.				99
100				32		oquedad drúsica.				100
101										101
102						oquedad drúsica.				102
103				33		MARMOL BLANCO				103
104						ALTERNANCIA				104
105				34						105
106						MARMOL OCRE				106
107										107
108										108
109				35		ALTERNANCIA				109
110						MARMOL BLANCO				110

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO **3** | X UTM: **466085** | Y UTM: **4255650** | Cota: **570** | Longitud final (m): **136.55** | Inicio: **Enero-2001** | Fin: **Febrero-2001** | **8 de 9**

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
111						dolomitización parcial de las facies de mármoles blancos para dar mármoles ocre.				111
112										112
113										113
114						oquedad drúscica.				114
115						ALTERNANCIA				115
116						tramo muy oqueroso.				116
117										117
118						MARMOL OCRE				118
119						Cavidad drúscica importante rellena de calcita en romboedros sobre pátinas de opacos y óxidos marrones.				119
120										120
121										121
122						oquedad drúscica.				122
123										123
124						oquedad drúscica.				124
125										125
126						CALCARENITAS Y LUMAQUELAS: laminadas y marmorizadas. Son facies arenosas con pasadas de lumaqueles e interestratificados de pizarras verdes, por sectores. Parcialmente				126

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 3

X UTM: 466085

Y UTM: 4255650

Cota: 570

Longitud final (m): 136.55

Inicio:	Enero-2001
Fin:	Febrero-2001

9 de 9

[illegible]

PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL

SONDEO 4

X UTM: 462150
Y UTM: 4243050
Cota: 500
Inicio: Enero-2001
Fin: Febrero-2001
Dirección: -
Inclinación: 0°

Área de estudio:	FORMACIÓN CALIZA URBANA
Autonomía:	ANDALUCÍA
Provincia:	JAÉN
Término municipal:	ALDEAQUEMADA
Hoja 1/50.000:	863

Responsables de la toma de datos:

Javier Escuder Viruete

Manuel Requeiro González-Barros

Fecha de testificación: 04/04/2001

Longitud final (m): 55



1 de 2

Leyenda:	IF: índice de fracturación	RC: resistencia a la compresión (MPa)	CC: coordenadas cromáticas (antes-después)
	A: absorción (%)	RF: resistencia a la flexión (MPa)	MC: microdureza Knoop
	PEA: peso específico aparente (g/cm ³)	RCH: resistencia al choque (cm)	
	RH: resistencia a las heladas (%)	RCT: resistencia a los cambios térmicos	

[illegible]

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 4

X UTM:	462150
Y UTM:	4243050
Cota:	500
Inicio:	Enero-2001
Fin:	Febrero-2001
Dirección:	-
Inclinación:	0°

Área de estudio: FORMACIÓN CALIZA URBANA

Autonomía: **ANDALUCÍA**

Provincia: JAÉN

Término municipal: **ALDEAQUEMADA**

Hoja 1/50.000: 863

Responsables de la toma de datos:

Javier Escuder Viruete

Manuel Requeiro González-Barros

Fecha de testificación: 04/04/2001

Longitud final (m): 55



1 de 4

IF: Índice de fracturación

Leyenda: A: absorción (%)

PEA: peso específico aparente (g/cm³)
 RH: resistencia a las heladas (%)

RC: resistencia a la compresión (MPa)

RF: resistencia a la flexión (MPa)

RCH: resistencia al choque (cm)
RCT: resistencia a los cambios t

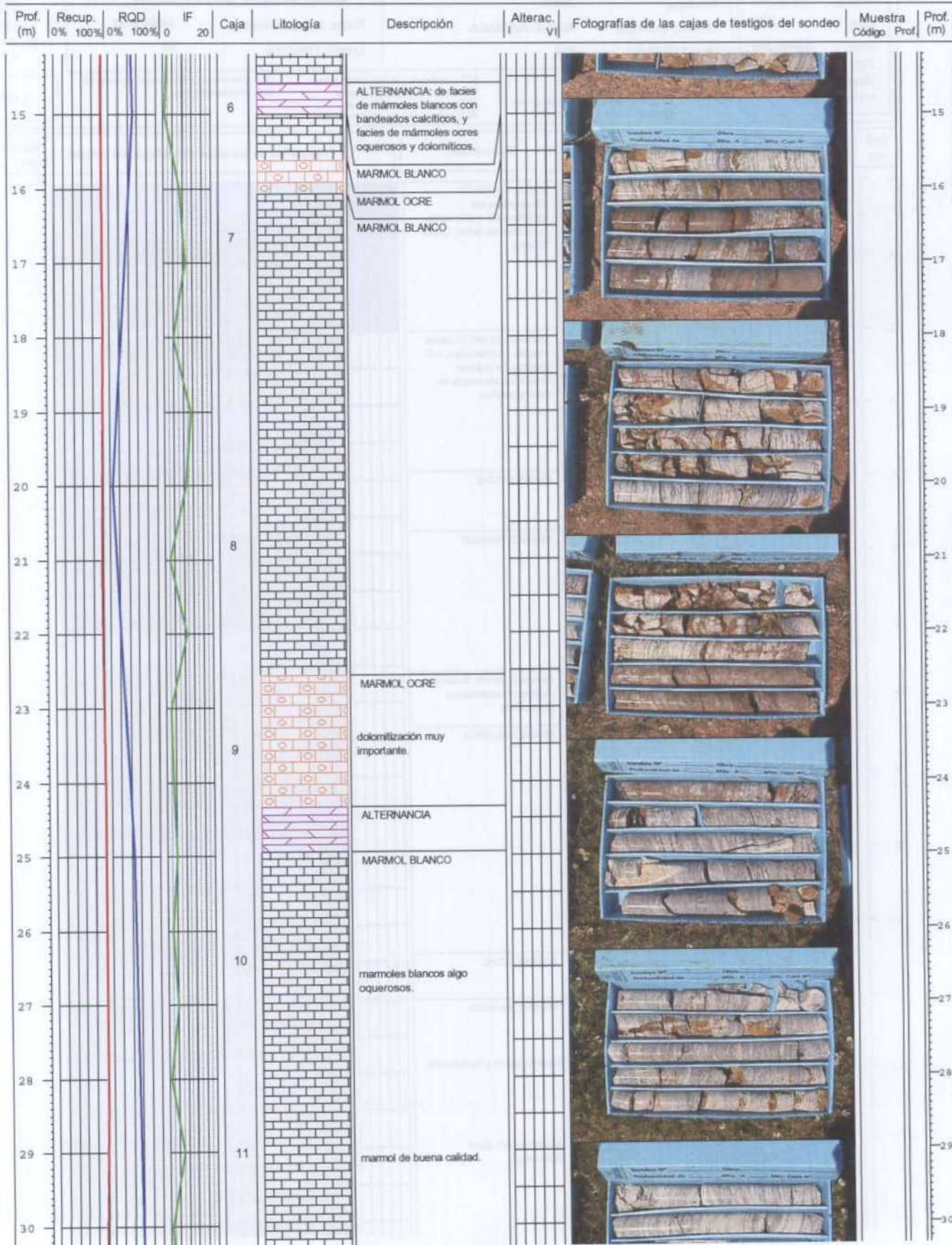
CC: coordenadas cromáticas (antes-después)

MIK: microdurezza Knoop

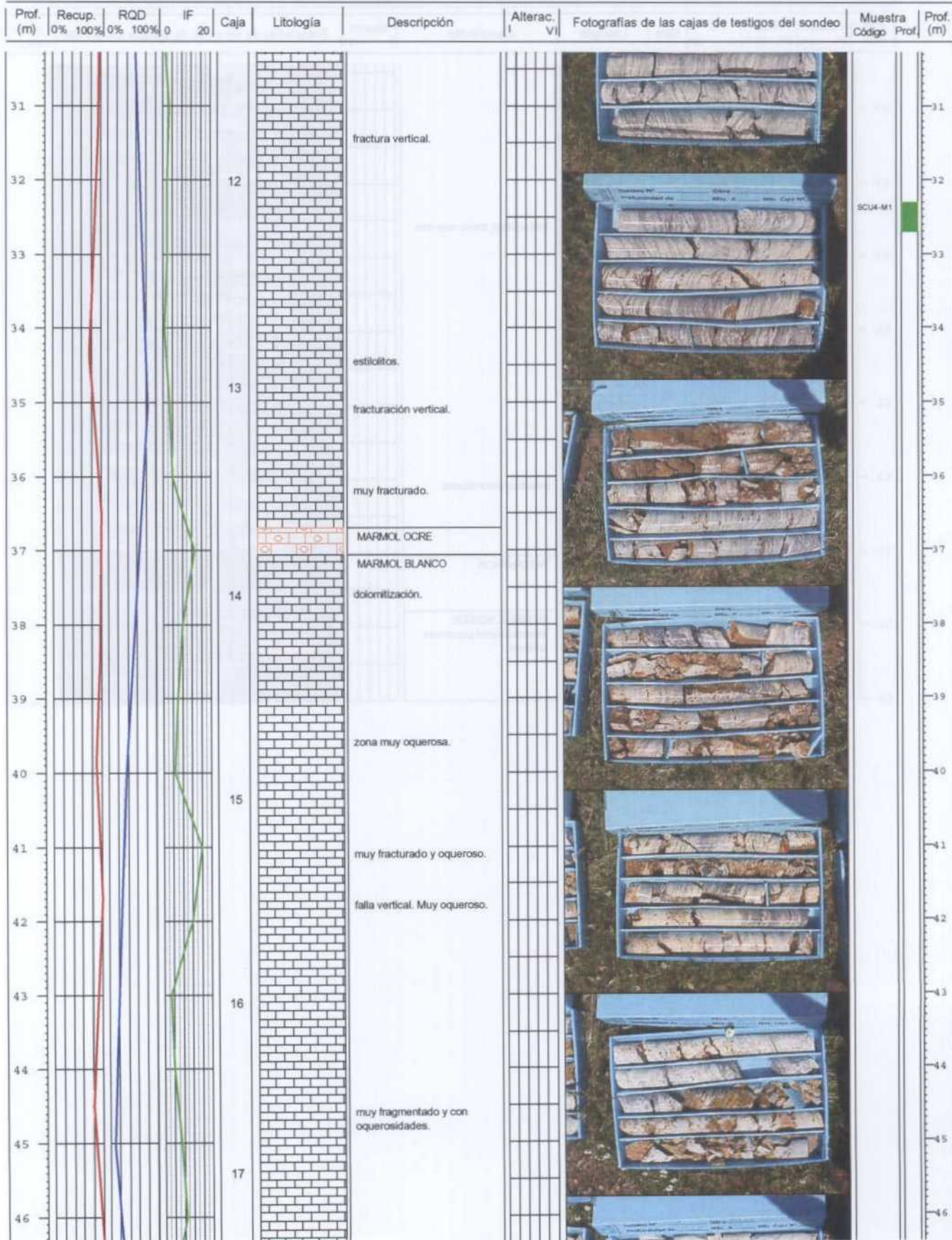
Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código	prof. (m)
0						SUELO CALCÍFICO: desarrollado por carstificación y alteración superficial de la Fm. Caliza Urbana.				0
1										1
2						MARMOL BLANCO: facies bancas y bandeadas, con pasadas de mármol dolomítico abundante en todo el sondeo.				2
3										3
4						MARMOL OCRE				4
5						MARMOL BLANCO				5
6										6
7						MARMOL OCRE: facies de mármoles oquerosos y dolomíticos.				7
8						MARMOL BLANCO				8
9										9
10										10
11						MARMOL OCRE				11
12						MARMOL BLANCO				12
13						dolomitización y fracturación.				13
14						dolomitización, zona fracturada.				14

PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 4	X UTM: 462150	Y UTM: 4243050	Cota: 500	Longitud final (m): 55	Inicio: Enero-2001	2 de 4
					Fin: Febrero-2001	

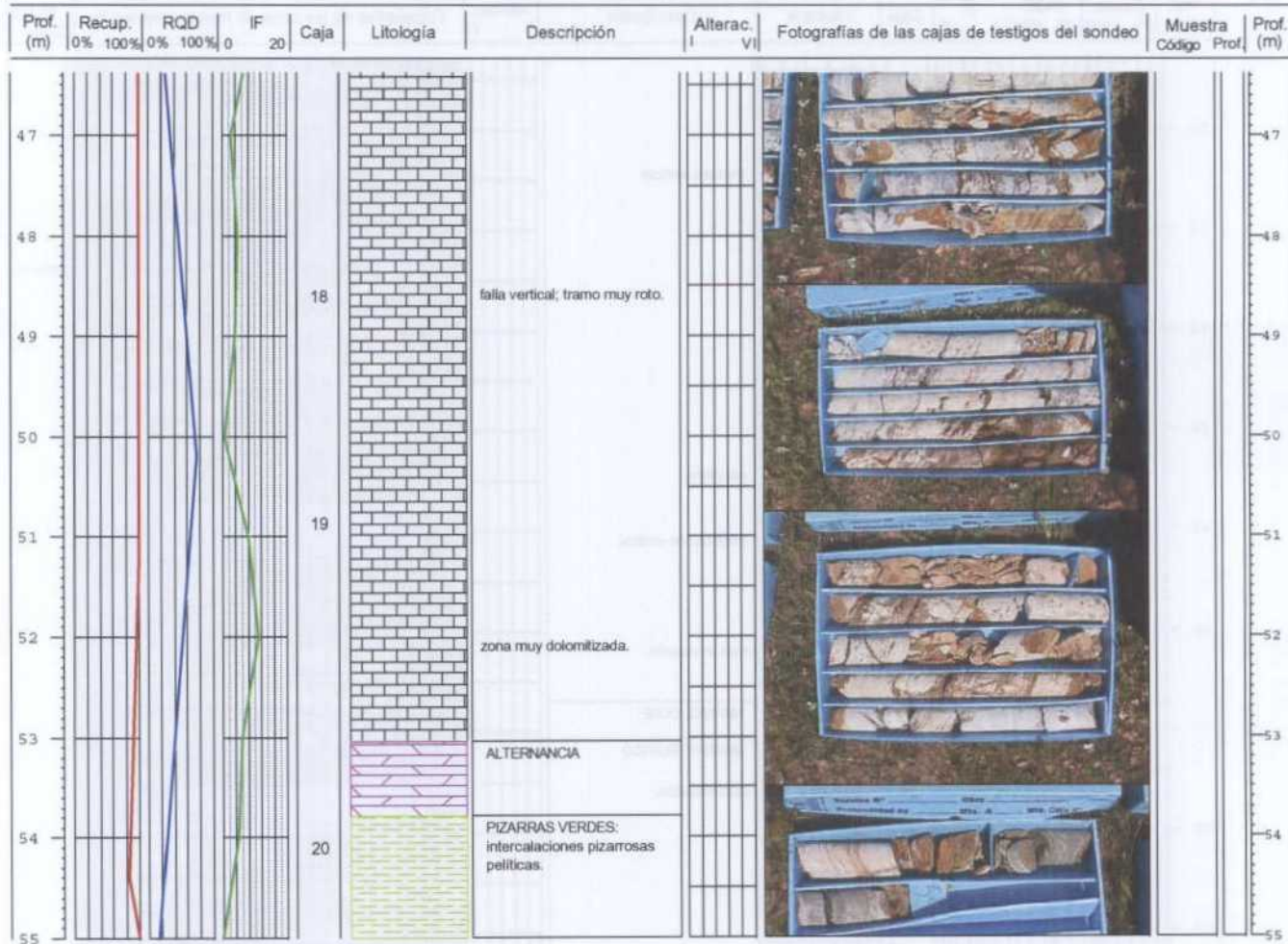


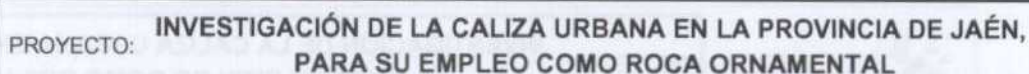
SONDEO 4 | X UTM: 462150 Y UTM: 4243050 Cota: 500 | Longitud final (m): 55 | Inicio: Enero-2001 | Fin: Febrero-2001 | 3 de 4



PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO **4** | X UTM: **462150** Y UTM: **4243050** Cota: **500** | Longitud final (m): **55** | Inicio: **Enero-2001**
Fin: **Febrero-2001** | **4 de 4**





X UTM: 461707
Y UTM: 4242883
Cota: 535
Inicio: Sep.-2001
Fin: Nov.-2001
Dirección: 0°N
Inclinación: 30°

Área de estudio:	FORMACIÓN CALIZA URBANA
Autonomía:	ANDALUCÍA
Provincia:	JAÉN
Término municipal:	ALDEAQUEMADA
Hoja 1/50.000:	863

Responsables de la toma de datos:
Javier Escuder Viruete

Manuel Regueiro y González-Barros

Fecha de testificación: 06/02/2002

Longitud final (m): 55



1 de 2

Leyenda:	F: índice de fracturación	RC: resistencia a la compresión (MPa)	CC: coordenadas cromáticas (antes-después)
	A: absorción (%)	RF: resistencia a la flexión (MPa)	MC: microdureza Knoop
	PEA: peso específico aparente (g/cm ³)	RCH: resistencia al choque (cm)	
	RH: resistencia a las heladas (%)	RCT: resistencia a los cambios térmicos	

[illegible]

PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN, PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL

SONDEO 5

X UTM: **461707**
Y UTM: **4242883**
Cota: **535**
Inicio: **Sep.-2001**
Fin: **Nov.-2001**
Dirección: **0°N**
Inclinación: **30°**






Área de estudio: **FORMACIÓN CALIZA URBANA**
Autonomía: **ANDALUCÍA**
Provincia: **JAÉN**
Término municipal: **ALDEAQUEMADA**
Hoja 1/50.000: **863**

Responsables de la toma de datos:
Javier Escuder Viruete
Manuel Regueiro y González-Barros
Fecha de testificación: **06/02/2002**
Longitud final (m): **55**



1 de 4

Leyenda: IF: índice de fracturación
A: absorción (%)
PEA: peso específico aparente (g/cm3)
Rt: resistencia a las heladas (%)
RC: resistencia a la compresión (MPa)
RF: resistencia a la flexión (MPa)
RCh: resistencia al choque (cm)
RCT: resistencia a los cambios térmicos
CC: coordenadas cromáticas (antes-después)
MK: microdureza Knoop

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código	Prof. (m)
0				1		SUELO ANTROPICO: Escombreras de pizarras.				0
1										1
2										2
3										3
4						COLUMION				4
5						SUELO CALCÍFICO: alteración de mármoles blancos intensamente karstificados.				5
6				2		ROCAS VOLCANICAS: alteradas.				6
7										7
8										8
9				3						9
10										10
11										11
12				4		MARMOL OCRE: oqueroso y dolomítico.				12
13						Quedada drúsica				13
14				5		Quedada drúsica				14

PROYECTO: INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL

SONDEO 5

X UTM: 461707

Y UTM: 4242883

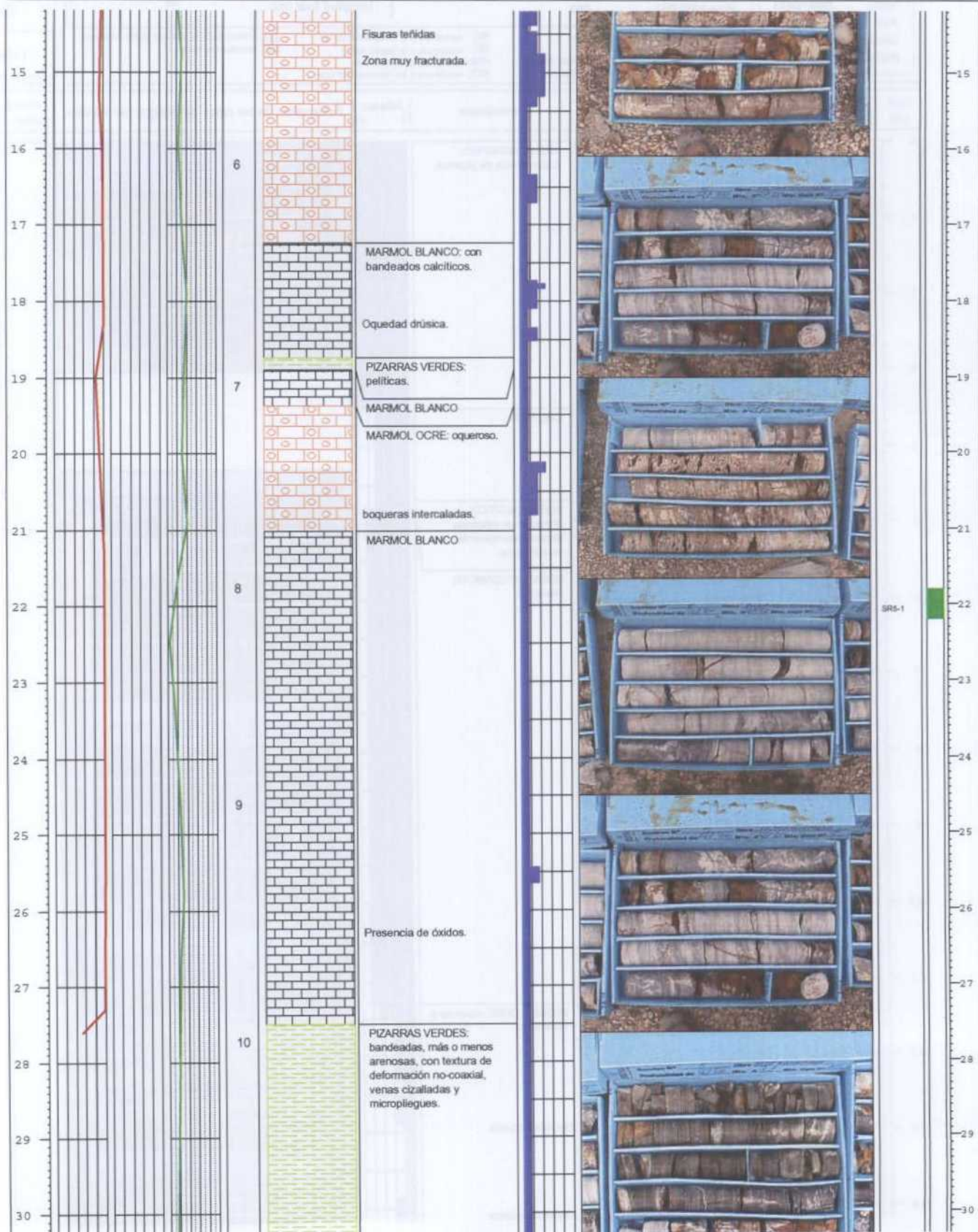
Cota: 535

Longitud final (m): 55

Início:	Sep.-2001
Fim:	Nov.-2001

2 de 4

Prof. (m)	Recup. 0% 100%	RQD 0% 100%	IF 0 20	Caja	Litología	Descripción	Alterac. I VI	Fotografías de las cajas de testigos del sondeo	Muestra Código Prof.	Prof. (m)
--------------	-------------------	----------------	------------	------	-----------	-------------	------------------	---	-------------------------	--------------



PROYECTO: **INVESTIGACIÓN DE LA CALIZA URBANA EN LA PROVINCIA DE JAÉN,
PARA SU EMPLEO COMO ROCA ORNAMENTAL**

SONDEO 5

X UTM: 461707

Y UTM: 4242883

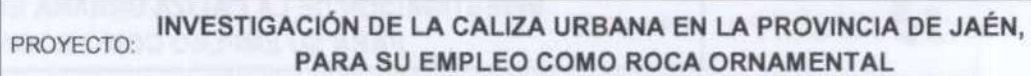
Cota: 535

Longitud final (m): 55

Inicio:	Sep.-2001
Fin:	Nov.-2001

3 de 4

[illegible]



SONDEO 5

X UTM: 461707

Y UTM: 4242883

Cota: 535

Longitud final (m): 55

Inicio:	Sep.-2001
Fine:	Nov.-2001

4 de 4

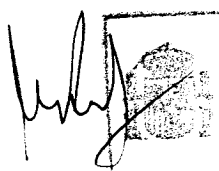
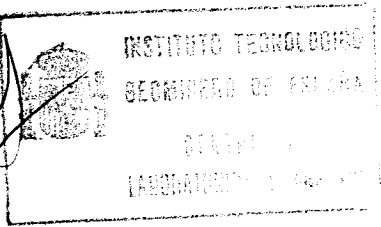
[illegible]

ANEXO 12.3

ENSAYOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DEL ITGE.

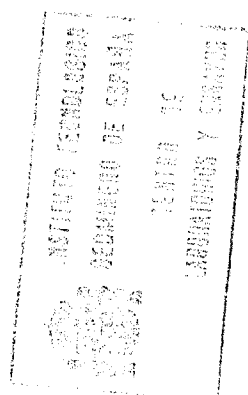
C/LA CALERA, 1. 28760 -TRES CANTOS (MADRID) Tf. 8032200. FAX 8036200

INFORME DE LABORATORIO Nº 99/449		Hoja 1 de 3
Solicitante: Proyecto de Investigación de marmoles en Jaen Dirección:		
Teléfono:		Fax:
Fecha de recepción: 02/03/00 Fechas de ensayo: 09/03-23/03/2000		
Muestreo: A cargo del solicitante		
Procedimiento/s de ensayo: ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X: Fusión con Tetraborato de Litio (0.3:5.5) y medida en equipo Philips PW1404. El Sodio se ha determinado por Absorción Atómica: Fusión con metaborato de Litio y medida en equipo Thermo Jarrell Ash SH-8000 y la Perdida por Calcinación (PPC) se ha efectuado a 950°C ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X. Metodo del polvo cristalino y medida en equipo Philips PW-1700. Tubo de Cobre, monocromador de Grafito y rendija automática.		
Observaciones: Se adjuntan diagramas de DRX		
Los resultados expuestos afectan en exclusiva a las muestras sometidas a ensayo. La reproducción parcial de este informe sólo podrá realizarse con la autorización escrita del Laboratorio del ITGE.		
Fecha: Tres Cantos, 29 de Marzo de 2000  Fdo., Juan Antonio Martín Rubí Coordinador General Laboratorios 		

Las muestras quedarán a disposición del solicitante durante un periodo de tres meses siguientes a la emisión de este informe, a partir de los cuales podrán ser eliminadas.

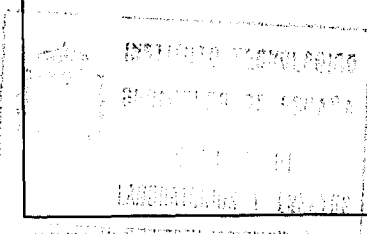
ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Muestra	- Resultados expresados en % -										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	MgO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	P.P.C.
E2-C	0.63	0.21	0.250	54.34	<0.005	0.019	<0.10	1.10	<0.10	<0.07	43.31
E2-D	2.88	0.40	0.269	54.10	0.050	0.053	0.11	0.40	<0.10	<0.07	41.71
E-7	3.19	0.25	2.485	30.59	0.008	0.450	<0.10	18.04	<0.10	<0.07	44.99
E-12	0.38	0.20	2.712	30.73	0.007	0.532	<0.10	18.72	<0.10	<0.07	46.68
E-52	0.23	0.21	1.149	31.15	0.005	0.368	<0.10	20.41	<0.10	<0.07	46.45
E-74	0.26	0.15	3.809	31.22	0.027	1.036	<0.10	17.29	<0.10	<0.07	46.19
E-77	0.51	0.31	0.458	53.84	0.006	0.075	<0.10	2.12	<0.10	<0.07	42.64
E-83-A	0.19	0.17	0.209	56.30	<0.005	0.060	<0.10	0.34	<0.10	<0.07	42.71
E-83-B	0.16	0.25	0.485	31.44	0.006	0.223	<0.10	19.00	<0.10	0.07	48.36



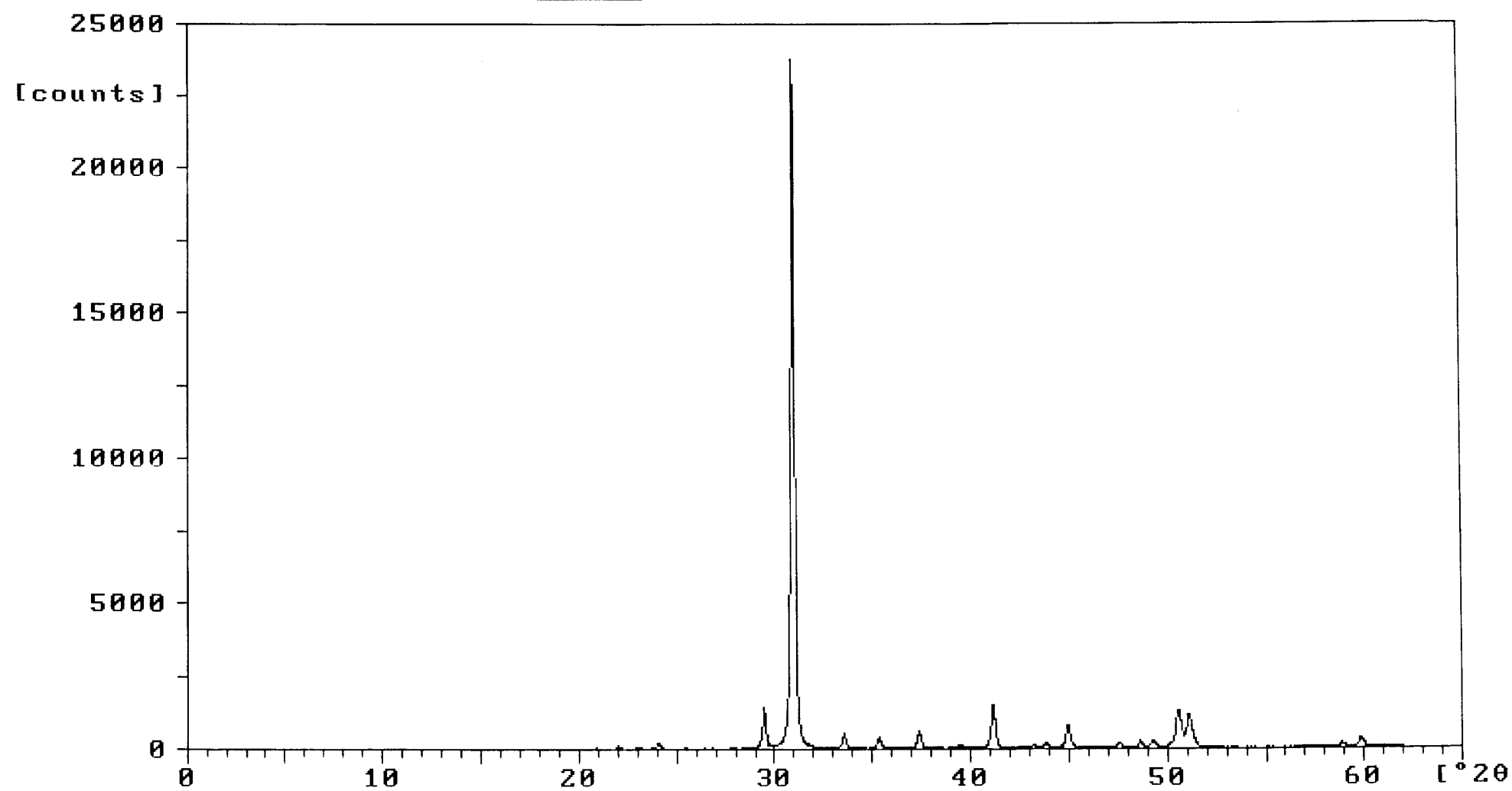
ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X

MUESTRA	MINERAL PRINCIPAL	MINERALES SECUNDARIOS	ACCESORIOS Y TRAZAS
E2-C	CALCITA	-----	DOLOMITA, TRAZAS DE CUARZO Y MICA
E2-D	CALCITA	-----	CUARZO, MICA
E-7	DOLOMITA	-----	CALCITA, CUARZO
E-12	DOLOMITA	-----	CALCITA, TRAZAS DE CUARZO
E-52	DOLOMITA	-----	CALCITA, TRAZAS DE CUARZO
E-77	CALCITA	DOLOMITA	TRAZAS DE CUARZO
E-74	DOLOMITA	-----	CALCITA
E83-A	CALCITA	-----	TRAZAS DE DOLOMITA Y CUARZO
E83-B	DOLOMITA	CALCITA	TRAZAS DE CUARZO



Sample identification: E83-B

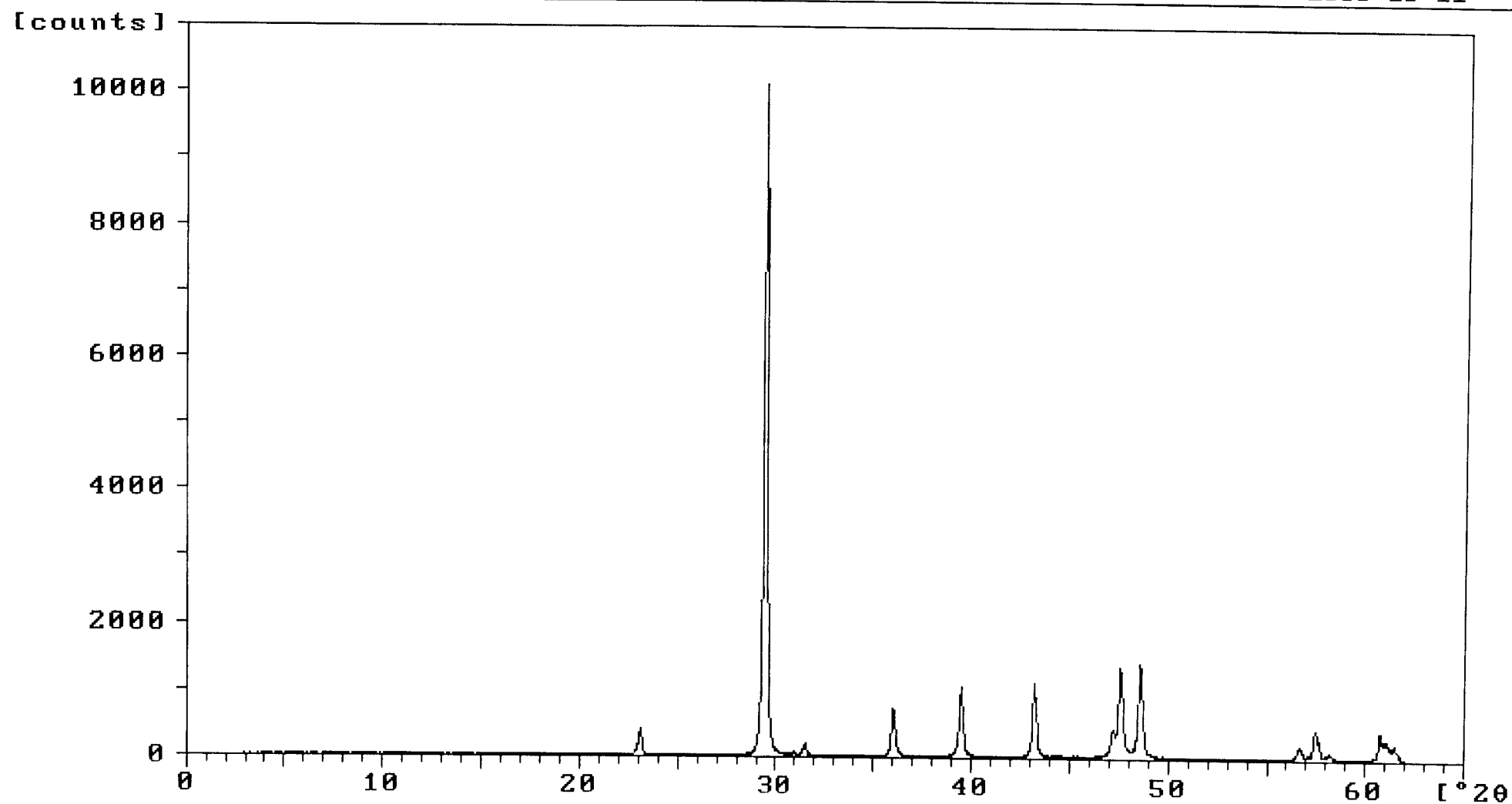
28-Mar-2000 13:13



99449-25.RD

Sample identification: E83-A

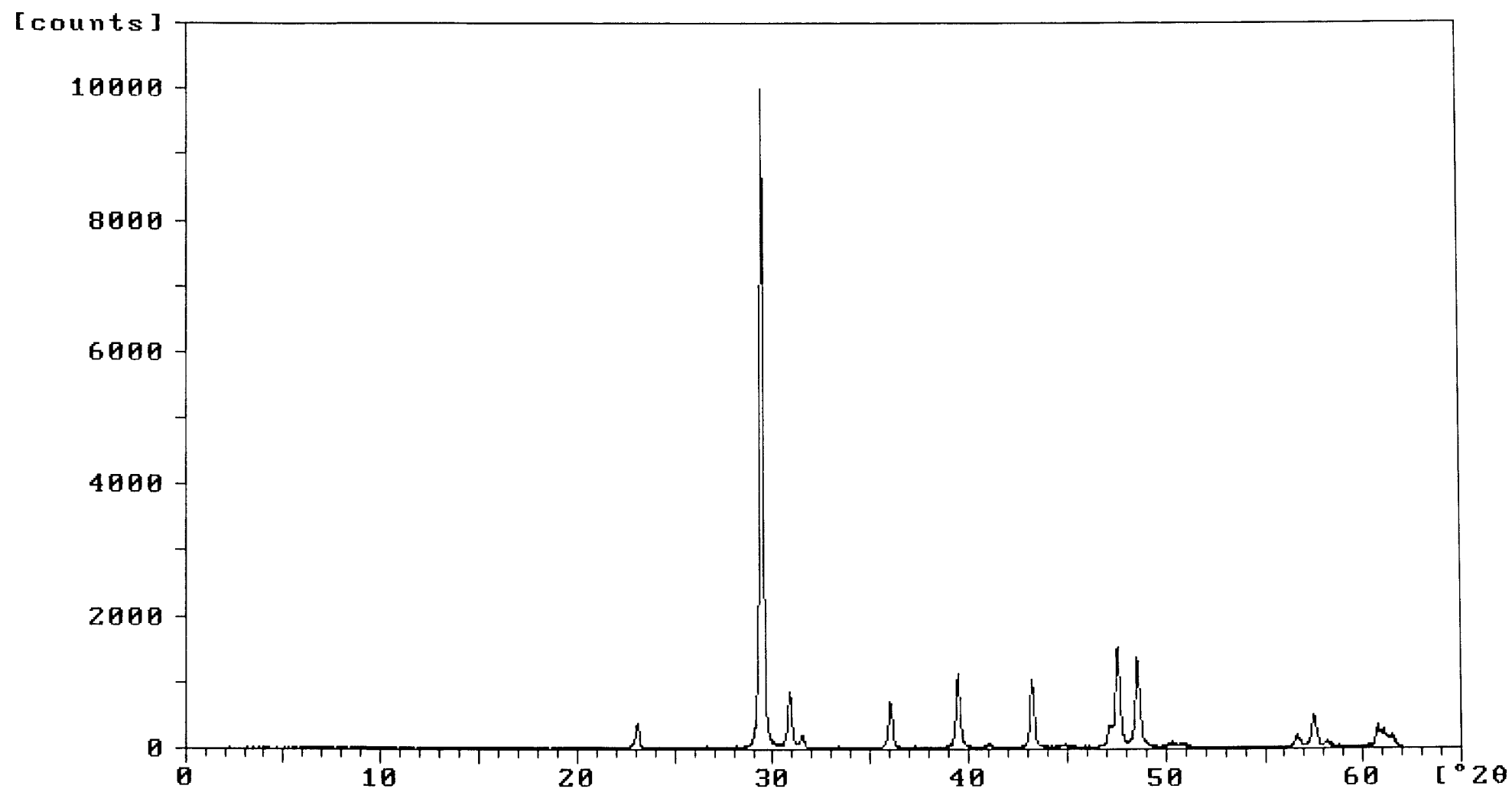
28-Mar-2000 13:11



99449-24.RD

Sample identification: E-77

28-Mar-2000 13:09



99449-20.RD

Sample identification: E-74

28-Mar-2000 13:08

[counts]

20000

15000

10000

5000

0

0

10

20

30

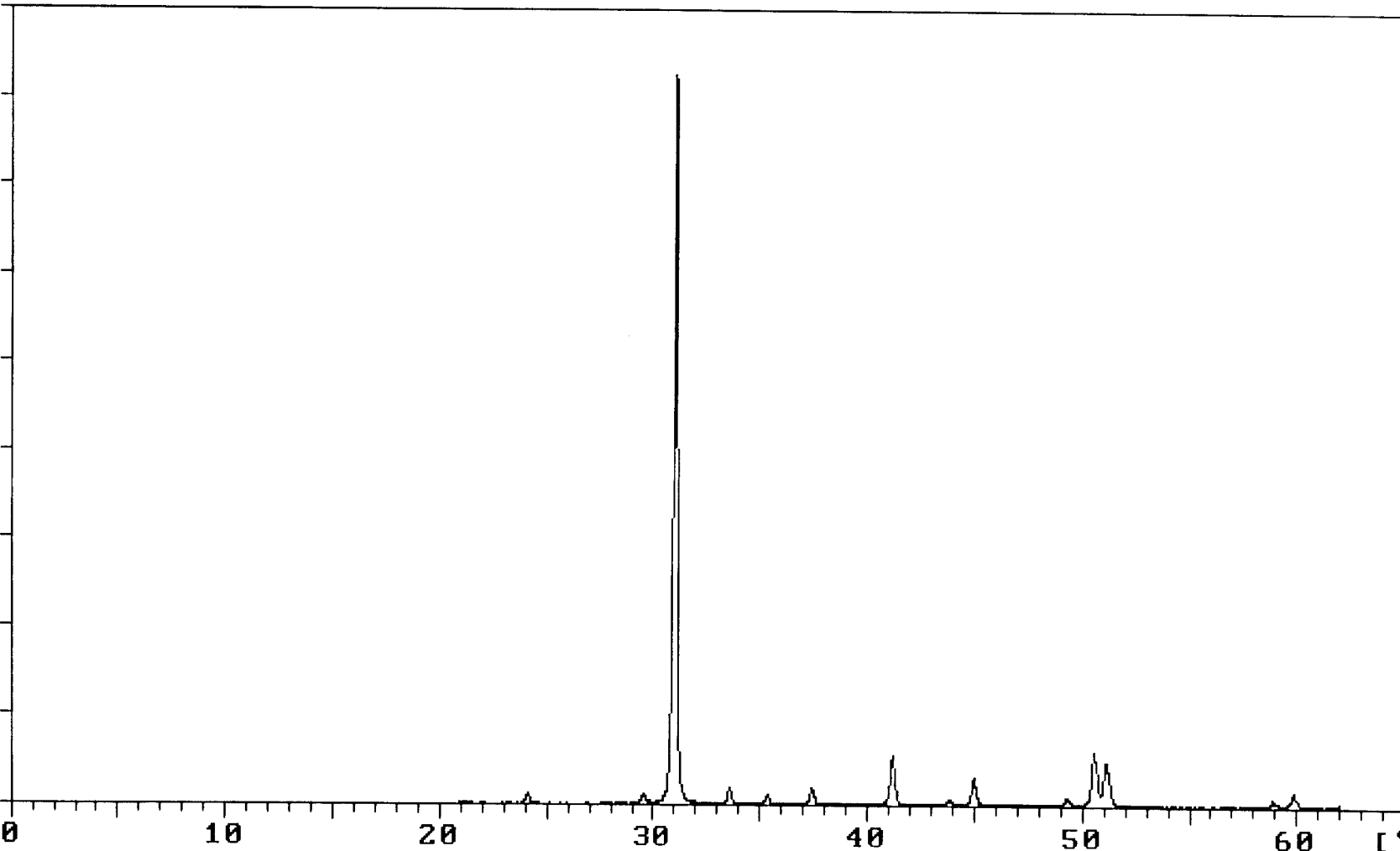
40

50

60

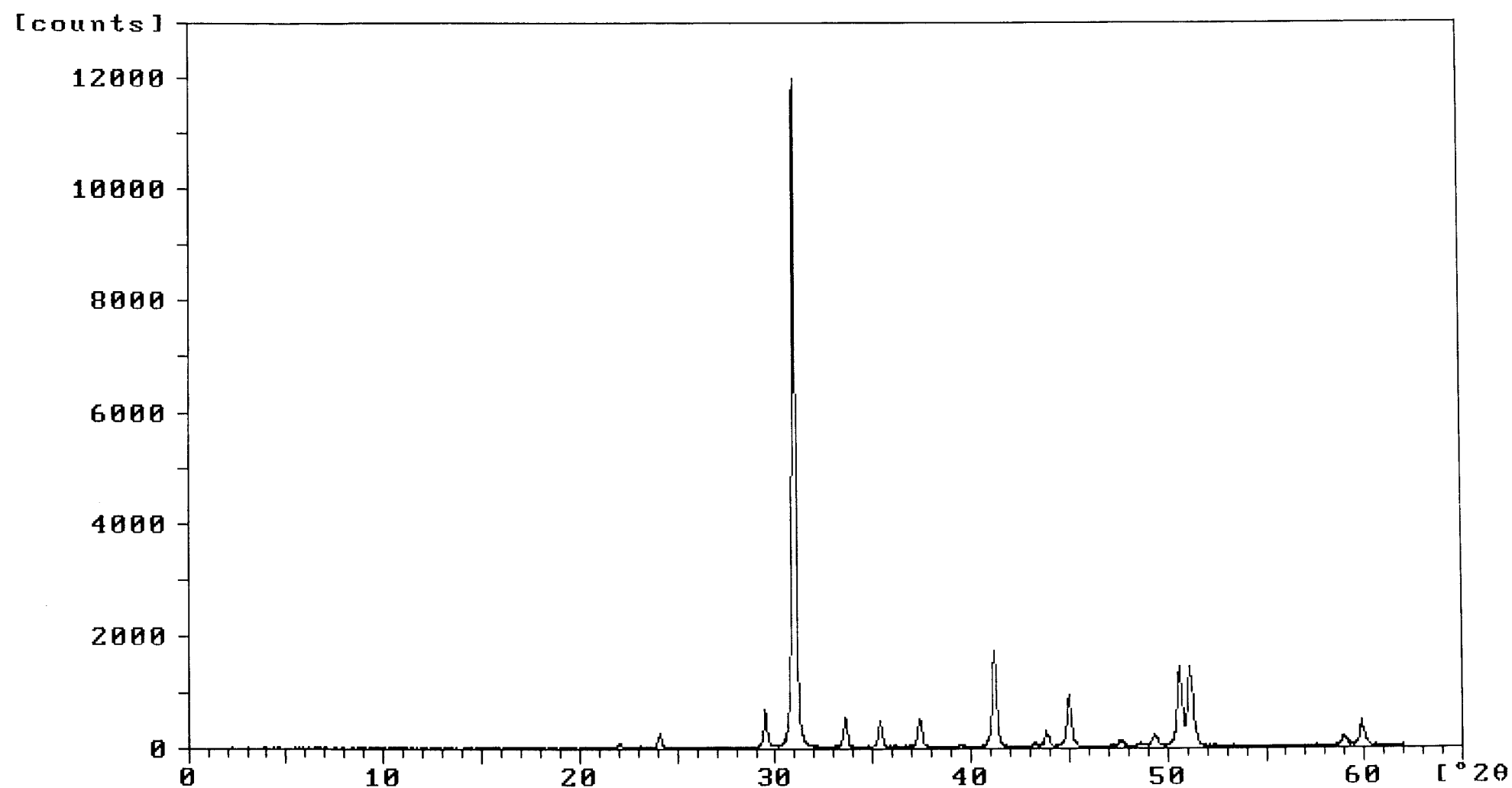
° 2 θ

99449-18.RD



Sample identification: E-52

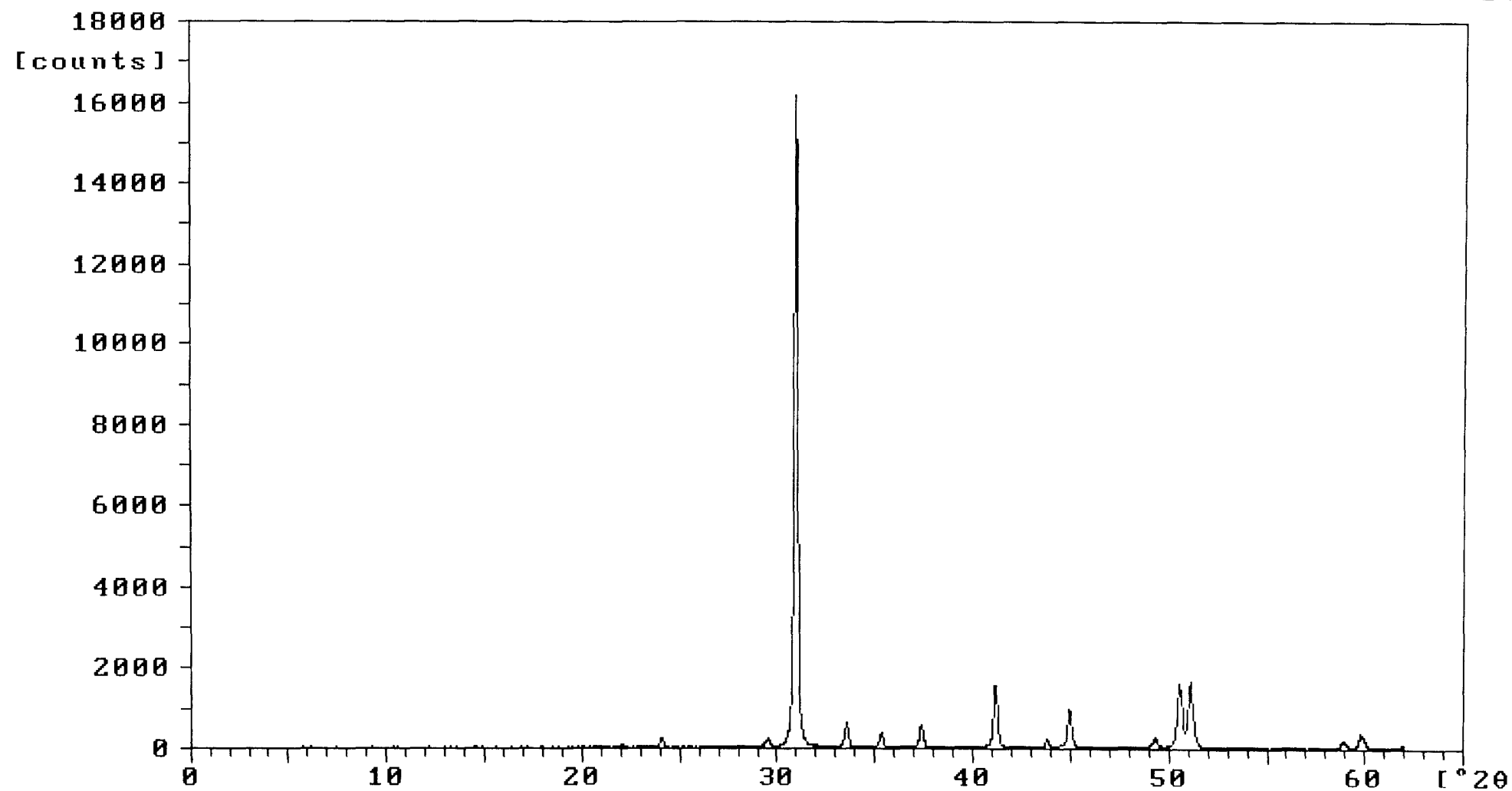
28-Mar-2000 13:07



99449-14.RD

Sample identification: E-12

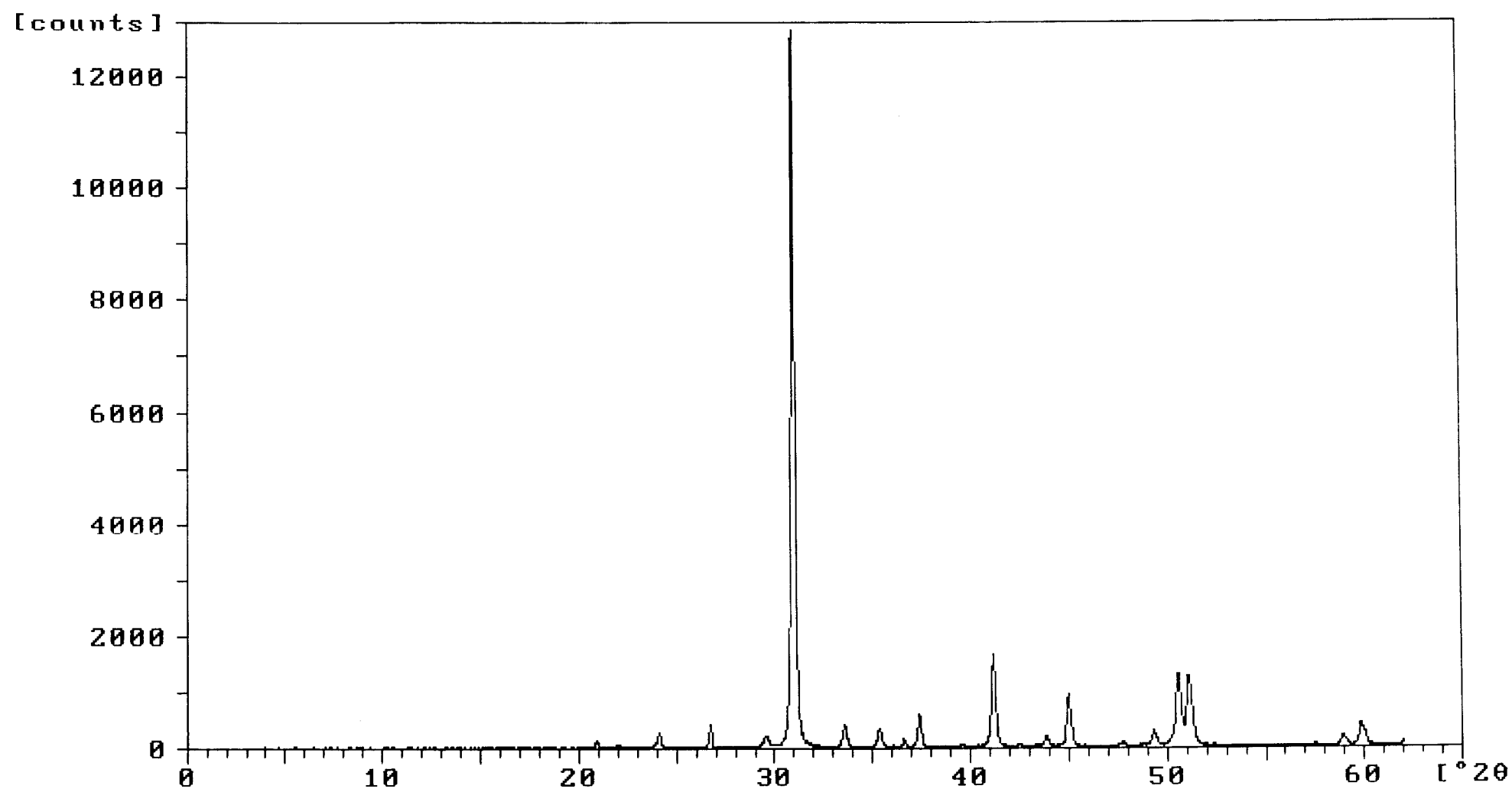
28-Mar-2000 13:05



99449-8.RD

Sample identification: E-7

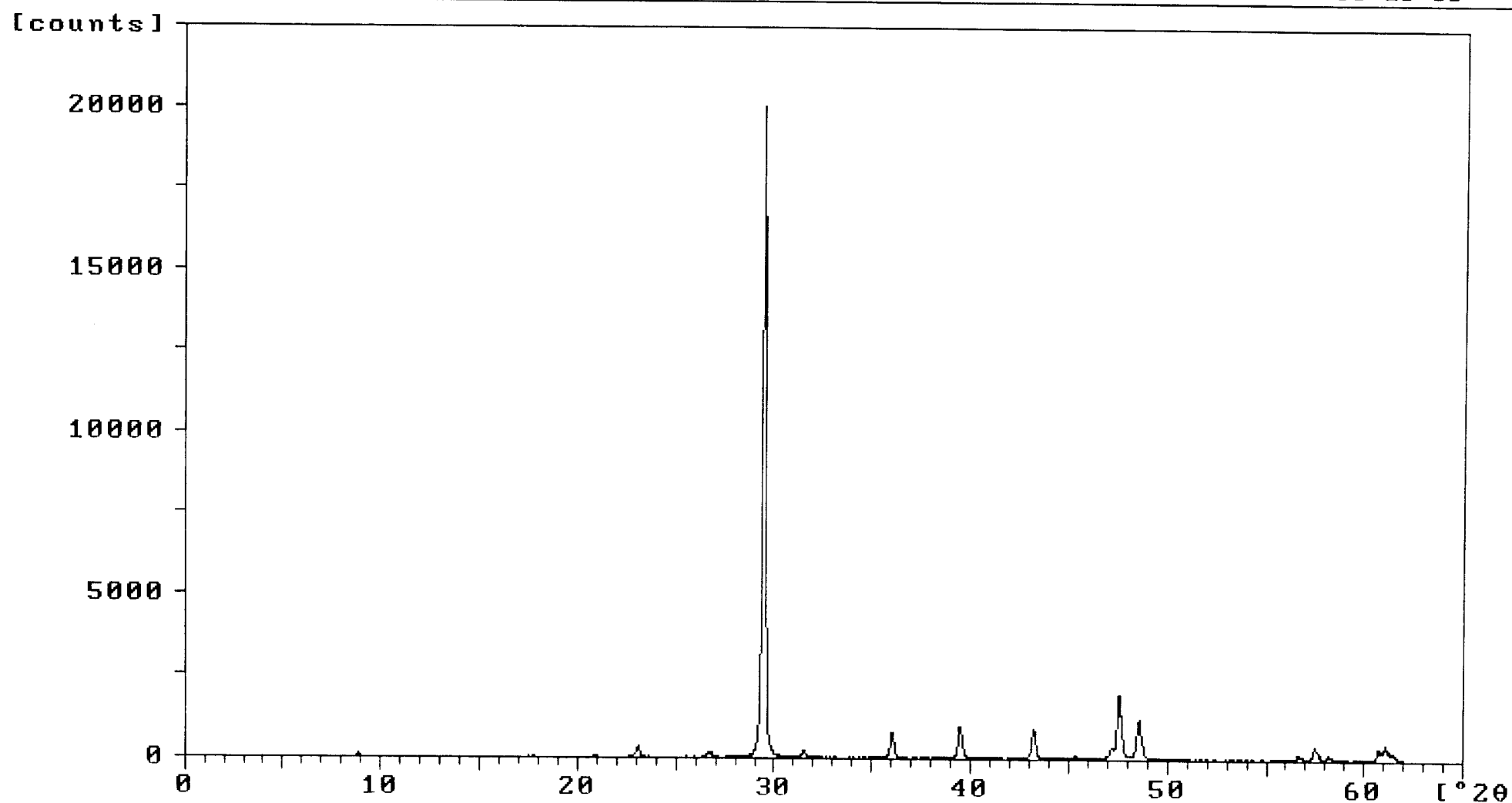
28-Mar-2000 13:04



99449-7.RD

Sample identification: E2-D

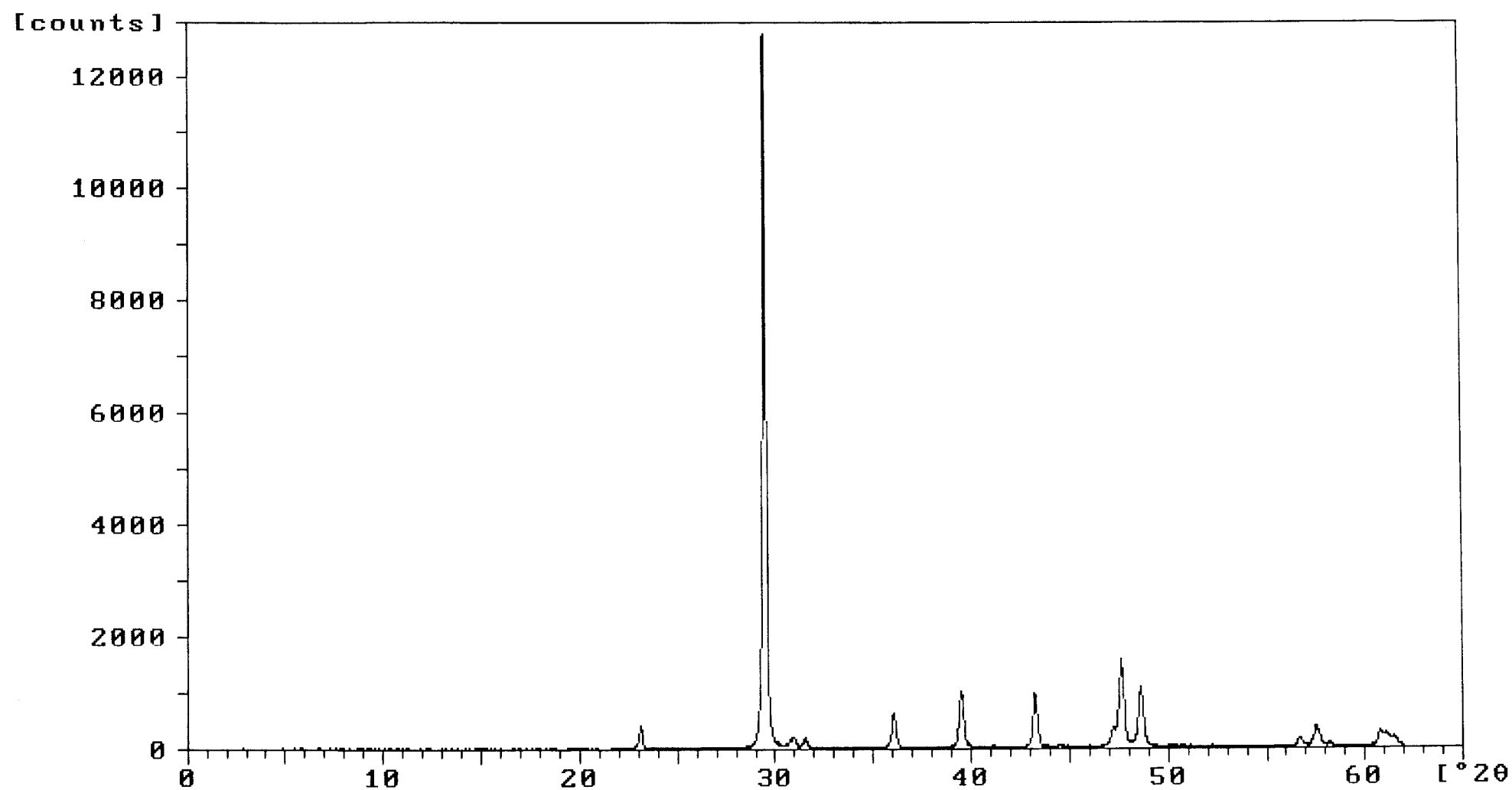
28-Mar-2000 13:03



99449-4.RD

Sample identification: E2-C

28-Mar-2000 13:02



99449-3.RD



MINISTERIO
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

LABORATORIO DEL ITGE

C/ LA CALERA, 1. 28760 –TRES CANTOS (MADRID) Tf. 91 8032200. FAX 91 8036200
Correo electrónico: a.carrascal@itge.mma.es

Laboratorio de ensayo acreditado por la ENAC y el MINER para los ensayos indicados en el Certificado Nº 62/169-2/94 "Piedras naturales para la construcción (Rocas ornamentales)".
Certificado Nº 62/LE-169-1/95 "Aguas naturales".

INFORME DE LABORATORIO Nº 99/449		Hoja 1 de 18
Solicitante: Sr. D. Manuel Regueiro (Dirección de Recursos Minerales) Dirección:		
Teléfono:		Fax:
Fecha recepción: 28-10-98		Fecha/s de ensayo: 30-03 a 09-05-00
Muestreo: Realizado por el solicitante		
Procedimiento/s de ensayo: Se recogen en la pag: 2/18		
Observaciones:		
Los resultados expuestos afectan en exclusiva a las muestras sometidas a ensayo. La reproducción parcial de este informe sólo podrá realizarse con la autorización escrita del Laboratorio del ITGE.		
Fecha: 27 de junio del 2000	<div>Jefe de Lab/Dpto. Fdo: J. Menduïña Fernández</div>	

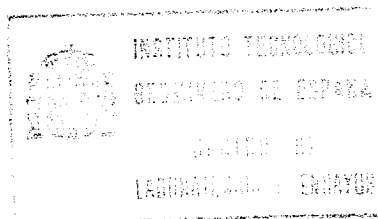
Las muestras quedarán a disposición del solicitante durante un periodo de tres meses siguientes a la emisión de este informe, a partir de los cuales podrán ser eliminadas.

SEDE CENTRAL:
Rios Rosas, 23
28003 MADRID
Teléfono 91 349 5700
Fax 91 442 6216



PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS

- **ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE
MÁRMOLES Y CALIZAS ORNAMENTALES
UNE-22-182**
- **RESISTENCIA A LAS HELADAS
MÁRMOLES Y CALIZAS ORNAMENTALES
UNE-22-184**
- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
MÁRMOLES Y CALIZAS ORNAMENTALES
UNE-22-185**
- **MICRODUREZA KNOOP
MÁRMOLES Y CALIZAS ORNAMENTALES
UNE-22-188**
- **RESISTENCIA A LOS CAMBIOS TÉRMICOS
PIZARRAS ORNAMENTALES PLACAS Y LOSAS
UNE-22-197**
- **COORDENADAS CROMATICAS
(Fuera del alcance de la acreditación)**



Observaciones:

**ABSORCIÓN Y PESO ESPECÍFICO APARENTE
MÁRMOLES Y CALIZAS ORNAMENTALES
UNE-22-182-85**

Se ha realizado sobre probetas de 15 x 8 x 1.5 con una cara pulida

Muestra: E-2-CL

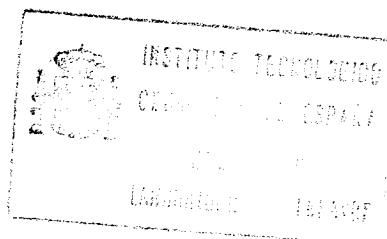
Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.7	2.7	0.2	0.5
2	2.7	2.7	0.2	0.4
VALOR MEDIO	2.7	2.7	0.2	0.4

La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065, la de las medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).

Muestra: E-2-DL

Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.7	2.7	0.2	0.6
2	2.7	2.7	0.2	0.6
VALOR MEDIO	2.7	2.7	0.2	0.6

La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065, la de las medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).



Observaciones:

**Muestra: E-7-L**

Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.8	2.8	0.5	1.5
2	2.8	2.8	0.3	1.0
VALOR MEDIO	2.8	2.8	0.4	1.2

La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065, la de las medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).

Muestra: E-12-L

Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.8	2.8	0.9	2.5
2	2.8	2.7	1.2	3.2
VALOR MEDIO	2.8	2.7	1.1	3.0

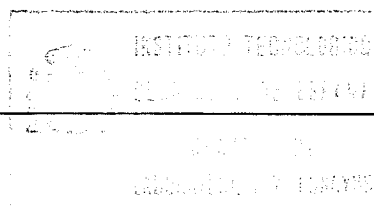
La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065, la de las medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).

Muestra: E-70-CL

Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.7	2.7	0.2	0.6
2	2.7	2.7	0.2	0.5
VALOR MEDIO	2.7	2.7	0.2	0.6

La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065 la de las medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).

Observaciones:



**Muestra: E-74**

Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.8	2.8	1.0	2.8
2	2.8	2.8	0.6	1.6
VALOR MEDIO	2.8	2.8	0.8	2.2

La incertidumbre de la balanza ($K = 1$) es de 0.065 la de las medidas es inferior a 0.1 ($K = 2$).

Muestra: E-76-L

Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.9	2.7	1.5	4.0
2	2.8	2.7	2.0	5.5
VALOR MEDIO	2.8	2.7	1.8	4.8

La incertidumbre de la balanza ($K = 1$) es de 0.065 la de las medidas es inferior a 0.1 ($K = 2$).

Muestra: E-77-L

Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.7	2.7	0.2	0.4
2	2.7	2.7	0.2	0.6
VALOR MEDIO	2.7	2.7	0.2	0.5

La incertidumbre de la balanza ($K = 1$) es de 0.065 la de las medidas es inferior a 0.1 ($K = 2$).

Observaciones:

**Muestra: E-83-AL**

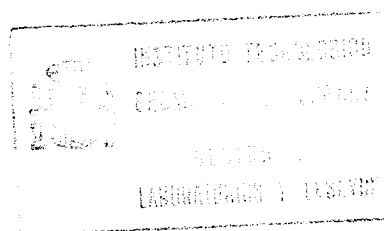
Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.7	2.7	0.4	1.2
2	2.7	2.7	0.4	1.0
VALOR MEDIO	2.7	2.7	0.4	1.1

La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065 la de las medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).

Muestra: E-83-BL

Probeta	P.e.r	P.e.a	% Absor.	% Poros.
1	2.8	2.7	0.5	1.4

La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065 la de las medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).



Observaciones:

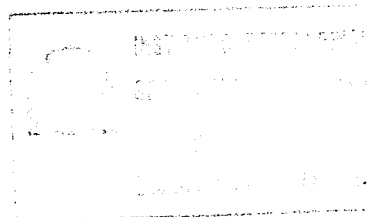


**RESISTENCIA A LAS HELADAS
MÁRMOLES Y CALIZAS ORNAMENTALES
UNE-22-184-85**

Estos ensayos se ha realizado sobre una sola probeta de
15 x 8 x 1.5 cm, (con una cara pulida).

Ref. muestra.	Mh
E-2-CL	menor de 0.1
E-2-DL	menor de 0.1
E-7-L	menor de 0.1
E-12-L	menor de 0.1
E-70-CL	menor de 0.1
E-74	0.2
E-76-L	0.3
E-77-L	menor de 0.1
E-83-AL	menor de 0.1
E-83-BL	ROTA

La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065 la de las
medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).



Observaciones:



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
MÁRMOLES Y CALIZAS ORNAMENTALES
UNE-22-185-85**

Ref. muestra: E-7-L

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	1152.8	22.9	113	2.2
2	1098.2	13.3	108	1.3
R. compre.	1125.5	38.7	110.5	6.7

Las incertidumbres para (K=2).

Ref. muestra: E-74

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	1137.6	4.6	111	0.5
2	814.0	7.4	80	0.7
R. compre.	975.8	167.8	95.5	16.4

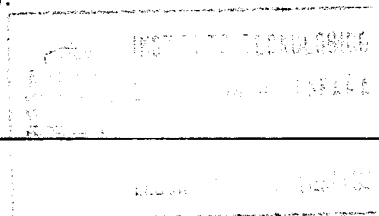
Las incertidumbres para (K=2).

Ref. muestra: E-77-L

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	783.5	6.2	77	1.2
2	767.9	5.3	75	0.5
R. compre.	775.7	12.1	76	1.8

Las incertidumbres para (K=2).

Observaciones:





**MICRODUREZA KNOOP
MÁRMOLES Y CALIZAS ORNAMENTALES
UNE-22-188**

Ref. muestra: E-2-CL

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	11584.4	665.9	1135.3	65.3
2	11048.7	645.7	1082.8	63.3
MK.	11316.5	1613.5	1109.0	158.1

Las incertidumbres para (K=2).

Ref. muestra: E-2-DL

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	12536.1	824.8	1228.5	80.8
2	13633.6	1244.3	1336.1	121.9
MK.	13084.9	3110.4	1282.3	304.8

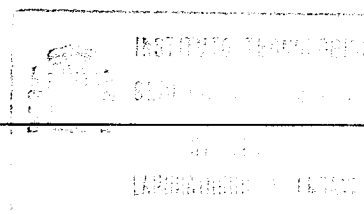
Las incertidumbres para (K=2).

Ref. muestra: E-7-L

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	35911.7	3209.7	3519.4	314.6
2	30837.9	1673.0	3022.1	164.0
MK.	33374.8	10752.1	3270.8	1053.7

Las incertidumbres para (K=2).

Observaciones:





Ref. muestra: E-12-L

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	21283.7	2183.1	2085.8	213.9
2	29204.4	1731.1	2662.1	169.7
MK.	25244.1	14155.4	2473.9	1387.2

Las incertidumbres para (K=2).

Ref. muestra: E-70-CL

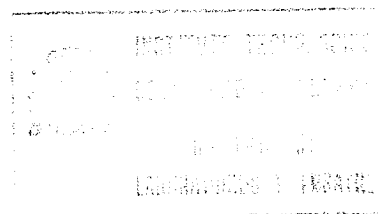
Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	11846.8	1130.4	1161.0	110.8
2	11061.7	956.0	1084.1	93.7
MK.	11454.2	2625.5	1109.0	257.3

Las incertidumbres para (K=2).

Ref. muestra: E-74

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	30818.9	1625.1	3020.3	159.3
2	27205.7	1898.9	2666.2	186.1
MK.	29012.3	7221.6	2843.2	707.7

Las incertidumbres para (K=2).



Observaciones:

Ref. muestra: E-76-L

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	28425.6	3598.1	2784.8	65.3
2	30625.7	2345.1	3001.3	63.3
MK.	29520.7	8118.0	2893.0	795.6

Las incertidumbres para (K=2).

Ref. muestra: E-77-L

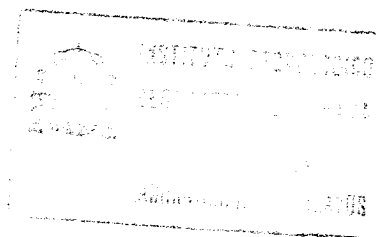
Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	12900.4	737.7	1264.3	72.3
2	15188.3	1535.1	1488.5	150.4
MK.	14044.4	4955.2	1109.0	485.6

Las incertidumbres para (K=2).

Ref. muestra: E-83-AL

Probeta	Kg/cm ²	Incert.	MPa	Incert.
1	10453.9	704.6	1024.5	69.1
2	12388.7	761.8	1214.1	74.7
MK.	11421.3	3624.9	1119.3	355.2

Las incertidumbres para (K=2).



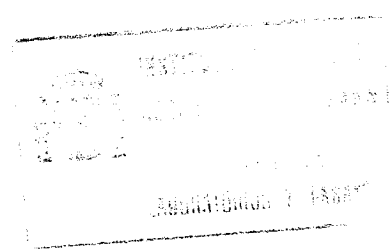
Observaciones:



Ref. muestra: E-83-BL

Probeta	Kg/cm²	Incert.	MPa	Incert.
1	2259839	1639.2	2214.7	160.6
2	30037.9	1805.4	2943.7	176.9
MK.	26318.4	13151.6	2579.2	1288.9

Las incertidumbres para (K=2).



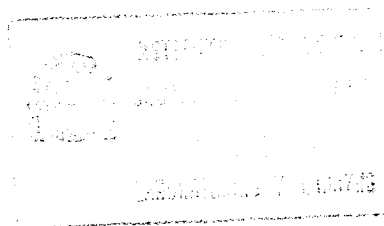
Observaciones:

- **RESISTENCIA A LOS CAMBIOS TÉRMICOS
PIZARRAS ORNAMENTALES PLACAS Y LOSAS
UNE-22-197**

Estos ensayos se ha realizado sobre una sola probeta de 15 x 8 x 1.5 cm, (con una cara pulida).

Ref. muestra.	MChT
E-2-CL	menor de 0.1
E-2-DL	menor de 0.1
E-7-L	menor de 0.1
E-12-L	menor de 0.1
E-70-CL	menor de 0.1
E-74	0.3
E-76-L	0.3
E-77-L	0.1
E-83-AL	menor de 0.1
E-83-BL	0.1

La incertidumbre de la balanza ($K=1$) es de 0.065 la de las medidas es inferior a 0.1 ($K=2$).



Observaciones:

**COORDENADAS CROMATICAS**

Este ensayo esta fuera del alcance de la acreditación de ENAC.

Ref. muestra: E-2-CL

PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	77.1	1.7	5.6
Heladicidad (despues).	75.6	1.0	4.6
Diferencia	1.5	0.7	1.0
Ch.térmico (antes).	74.2	1.3	5.1
Ch.térmico (despues).	68.5	0.4	3.2
Diferencia	5.7	0.9	1.9

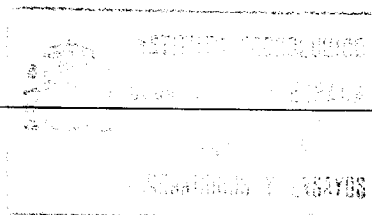
Son valores medios de seis (6) medidas por probeta

Ref. muestra: E-2-DL

PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	87.6	1.2	6.3
Heladicidad (despues).	87.9	0.5	3.5
Diferencia	0.3	0.7	2.8
Ch.térmico (antes).	85.1	1.8	6.9
Ch.térmico (despues).	85.4	0.6	4.3
Diferencia	0.3	1.2	2.6

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta

Observaciones:



Ref. muestra: E-7-L

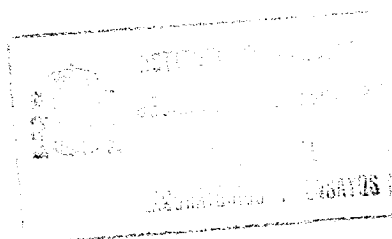
PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	72.2	4.5	13.3
Heladicidad (despues).	71.4	3.8	13.9
Diferencia	0.8	0.7	0.6
Ch.térmico (antes).	66.2	5.8	14.2
Ch.térmico (despues).	67.5	6.0	16.4
Diferencia	1.3	0.2	2.2

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta

Ref. muestra: E-12-L

PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	68.9	6.8	16.4
Heladicidad (despues).	65.7	6.7	17.2
Diferencia	3.2	0.1	0.8
Ch.térmico (antes).	71.1	5.5	14.9
Ch.térmico (despues).	70.1	5.7	16.6
Diferencia	1.0	0.2	0.3

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta



Observaciones:



Ref. muestra: E-70-CL

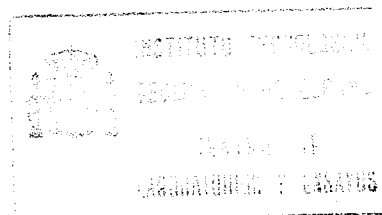
PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	77.7	1.7	6.2
Heladicidad (despues).	77.7	1.7	6.8
Diferencia	0.0	0.0	0.6
Ch.térmico (antes).	78.2	1.9	7.2
Ch.térmico (despues).	75.6	2.3	6.7
Diferencia	2.6	0.4	0.5

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta

Ref. muestra: E-74

PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	57.2	9.4	14.6
Heladicidad (despues).	53.7	9.0	14.1
Diferencia	3.5	0.4	0.1
Ch.térmico (antes).	57.9	7.7	13.6
Ch.térmico (despues).	55.3	7.7	13.9
Diferencia	2.6	0.0	0.3

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta



Observaciones:



Ref. muestra: E-76-L

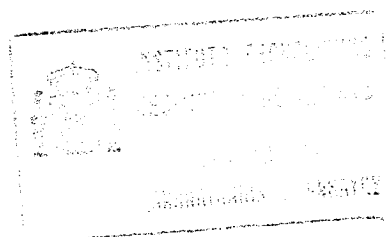
PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	55.9	9.2	14.1
Heladicidad (despues).	51.9	8.1	13.0
Diferencia	4.9	1.1	1.1
Ch.térmico (antes).	62.9	7.3	11.9
Ch.térmico (despues).	59.2	6.9	11.7
Diferencia	3.7	0.4	0.2

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta

Ref. muestra: E-77-L

PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	68.8	2.5	4.4
Heladicidad (despues).	62.7	3.6	6.2
Diferencia	1.9	0.4	1.1
Ch.térmico (antes).	65.7	2.6	4.7
Ch.térmico (despues).	61.1	3.1	5.9
Diferencia	4.6	0.5	1.2

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta



Observaciones:



Ref. muestra: E-83-AL

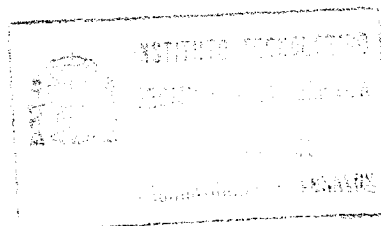
PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	77.6	2.4	6.9
Heladicidad (despues).	77.7	2.3	6.0
Diferencia	0.1	0.1	0.9
Ch.térmico (antes).	80.5	1.5	8.0
Ch.térmico (despues).	75.9	3.1	9.8
Diferencia	4.6	1.6	1.8

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta

Ref. muestra: E-83-BL

PROBETA	L*	a*	b*
Heladicidad (antes).	85.2	0.0	1.5
Heladicidad (despues).	----	---	---
Diferencia	---	---	---
Ch.térmico (antes).	79.9	2.4	9.8
Ch.térmico (despues).	76.5	2.6	8.9
Diferencia	3.4	0.2	0.9

Son valores medios de seis (6) medidas por probeta



Observaciones:



LABORATORIO DEL IGME

C/ LA CALERA, 1. 28760 –TRES CANTOS (MADRID) Tf. 91 8032200. Fax 91 8036200

Correo electrónico: a.carrascal@igme.mct.es

Laboratorio de ensayo acreditado por la ENAC para los ensayos indicados en el Certificado N° 62/169-2/94 "Piedras naturales para la construcción (Rocas ornamentales)".

Certificado N° 62/LE-169-1/95 "Aguas naturales".

INFORME DE LABORATORIO N° 01/169		Hoja 1 de 12
Solicitante: D. Manuel Regueiro. IGME.		
Dirección: c/ Ríos Rosas nº 21		
Teléfono: 91 349 57 00		Fax: 91 442 62 16
Fecha recepción: 29/03/01		Fecha/s de ensayo: 04/01-06/01
Muestreo: Realizado por el solicitante		
Procedimiento/s de ensayo: <ul style="list-style-type: none">- Mármoles y Calizas Ornamentales. Absorción y peso específico aparente. UNE 22-182-85 (Norma anulada)- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a las Heladas. UNE 22-184-85- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la Compresión. UNE 22-185-85. (Norma anulada)- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la Flexión. UNE 22-186-85. (Norma anulada)- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia al Choque. UNE 22-19-85- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a los Cambios Térmicos. UNE 22-193-85 (pizarras). ENSAYO NO ACREDITADO. <ul style="list-style-type: none">- Medida de cordenadas cromáticas. ENSAYO NO ACREDITADO.		
Observaciones:		
Los resultados expuestos afectan en exclusiva a las muestras sometidas a ensayo. La reproducción parcial de este informe sólo podrá realizarse con la autorización escrita del Laboratorio del IGME.		
Fecha: 11/06/01	Jefe de Lab. De Ensayos Tecnológicos  Fdo: Santiago del Barrio Martín	

Las muestras quedarán a disposición del solicitante durante un periodo de tres meses siguientes a la emisión de este informe, a partir de los cuales podrán ser eliminadas.

SEDE CENTRAL:
Ríos Rosas, 23
28003 MADRID
Teléfono 91 349 5700
Fax 91 442 6216

**1 Relación de muestras empleadas en los ensayos.**

Se han recepcionado en el Departamento de Ensayos Tecnológicos del IGME tres cajas que contenían tres muestras de sondeos de mármoles pertenecientes al Proyecto de Investigación de Mármoles de Jaén. Las muestras, compuestas por fragmentos de sondeo de diferentes longitudes, estaban referenciadas como **M-1**, **M-2** y **M-3** del **sondeo 3** del proyecto de referencia.

La correspondencia entre la identificación dada por el cliente y la asignada por el laboratorio es la que se indica a continuación.

Identificación del cliente	Identificación del laboratorio
M-1	01/169-01
M-2	01/169-02
M-3	01/169-03



2 Mármoles y Calizas Ornamentales. Absorción y Peso Específico Aparente. UNE 22-182-85 (Norma Anulada)

Se han sometido a ensayo cuatro probetas de cada una de las muestras ensayadas, obteniéndose los resultados indicados en la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 1. Absorción y peso específico aparente muestra M-1

Muestra n°	1	2	3	4
P. e. a. (g/cm ³)	2.8	2.8	2.8	2.8
Absorción (%)	0.9	1.1	0.3	0.9
P. e. a. final (g/cm ³)	2.8			
Absorción final (%)	0.7			

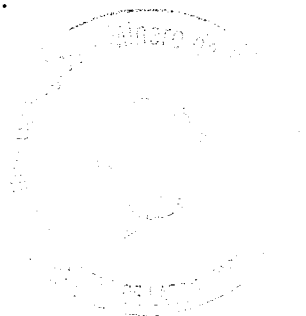
Tabla 2. Absorción y peso específico aparente muestra M-2

Muestra n°	1	2	3	4
P. e. a. (g/cm ³)	2.8	2.8	2.8	2.8
Absorción (%)	0.4	1.0	0.9	0.6
P. e. a. final (g/cm ³)	2.8			
Absorción final (%)	0.7			

Tabla 3. Absorción y peso específico aparente muestra M-3

Muestra n°	1	2	3	4
P. e. a. (g/cm ³)	2.8	2.8	2.8	2.8
Absorción (%)	1.4	1.7	1.4	1.0
P. e. a. final (g/cm ³)	2.8			
Absorción final (%)	1.5			

Las incertidumbres asociadas a cada una de las medidas de absorción y peso específico aparente en cada probeta de cada muestra no se consideran relevantes. La incertidumbre de la balanza utilizada es 21.43 mg (para k=2 y n=1).





3 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a las Heladas. UNE 22-184-85

Sólo se ha sometido a ensayo una probeta en vez de las tres que indica la norma por falta de muestra. Además estas probetas han sido de 12 x 5 x 1 cm pulidas en una de sus caras de 12 x 5 cm, en lugar de cubos de 7 x 7 x 7 cm como se nos indicó en su petición de ensayo.

Las probetas han sido sometidas a 25 ciclos de hielo-deshielo. Cada ciclo consiste en permanecer 20 horas en un frigorífico a -15°C y 4 horas sumergidas en agua a una temperatura aproximada de 20°C . Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resistencia a las heladas

Muestra nº	M-1	M-2	M-3
Peso inicial (g)	152.72	159.28	172.78
Peso final (g)	152.61	158.99	172.65
Resistencia a las heladas (%)	0.07	0.18	0.08

Debido a la pequeña variación en peso que se produce, las incertidumbres asociadas a la medida de la resistencia a las heladas en cada probeta no se consideran relevantes. La incertidumbre de la balanza utilizada es 14.23 mg (para $k=2$ y $n=1$).

4 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia al choque. UNE 22-189-85

El ensayo se ha realizado sólo sobre probetas del tipo de 12 x 5 x 1 cm debido a la imposibilidad de conseguir probetas de 20 x 20 x 3 cm de las muestras de testigo proporcionadas. El peso de la bola empleada en los ensayos ha sido de 254.44 g. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 5. Resistencia al choque de la muestra M-1

Nº de probeta	1	2	3	4
Espesor de la probeta (mm)	9.29	9.93	10.47	10.95
Resistencia al choque R (cm)	10	15	10	10
Incertidumbre ($k=2$)	4.4	4.4	4.4	4.4
Valor medio de R (cm)	11.3			

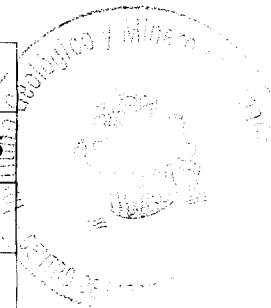


Tabla 6. Resistencia al choque de la muestra M-2

Nº de probeta	1	2	3	4
Espesor de la probeta (mm)	8.91	10.45	10.00	10.66
Resistencia al choque R (cm)	10	15	15	15
Incertidumbre (k=2)	4.4	4.4	4.4	4.4
Valor medio de R (cm)	13.8			

Tabla 7. Resistencia al choque de la muestra M-3

Nº de probeta	1	2	3	4
Espesor de la probeta (mm)	12.05	12.24	9.28	11.97
Resistencia al choque R (cm)	10	10	10	10
Incertidumbre (k=2)	4.4	4.4	4.4	4.4
Valor medio de R (cm)	10			

5 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la compresión. UNE 22-185-85 (Norma Anulada)

El ensayo se ha realizado sobre seis probetas cilíndricas, aplicándose el esfuerzo de compresión siempre en la misma dirección, ya que las probetas se han obtenido por corte y refrentado de testigo. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10, y en la Ilustración 1, Ilustración 2 e Ilustración 3 se muestran las curvas de rotura:



Tabla 8. Resistencia a Compresión de la muestra M-1

Probeta nº	1 ¹	2	3	4 ¹	5	6 ¹
Velocidad de carga ((kp/cm ²)/s)	9.7	9.6	9.7	9.7	9.7	9.4
Resistencia a la Compresión (MPa)	113	166	154	104	167	79
Incertidumbre (k=2) (MPa)	1	2	2	1	2	1
Valor medio (MPa)	130					

Tabla 9. Resistencia a la compresión de la muestra M-2

Probeta nº	1	2	3 ²	4 ²	5	6
Velocidad de carga ((kp/cm ²)/s)	10.2	10.1	9.7	9.9	-	10.3
Resistencia a la Compresión (MPa)	148	167	93	99	151	121
Incertidumbre (k=2) (MPa)	1	1	1	1	1	1
Valor medio (MPa)	130					

Tabla 10. Resistencia a la compresión de la muestra M-3

Probeta nº	1	2	3	4	5	6
Velocidad de carga ((kp/cm ²)/s)	9.2	9.2	9.7	9.8	9.6	9.6
Resistencia a la Compresión (MPa)	115	115	100	188	77	112
Incertidumbre (k=2) (MPa)	1	2	1	1	1	1
Valor medio (MPa)	118					

¹ Probetas con grandes oquedades laterales.² Probetas de color blanco, mientras que el resto son de color amarillo

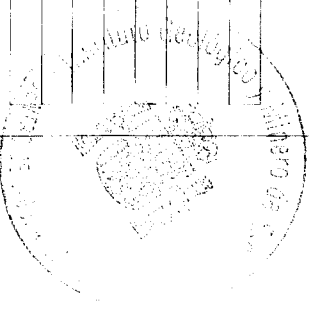
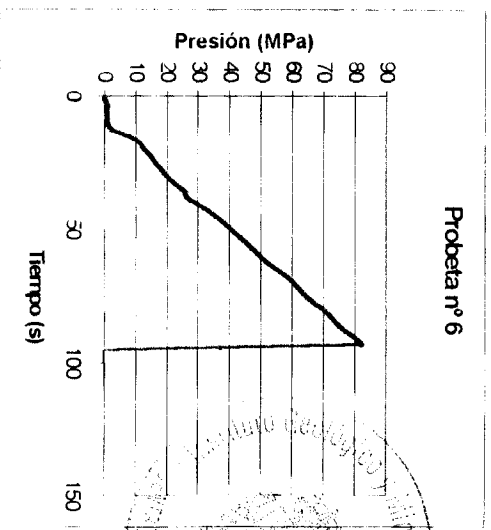
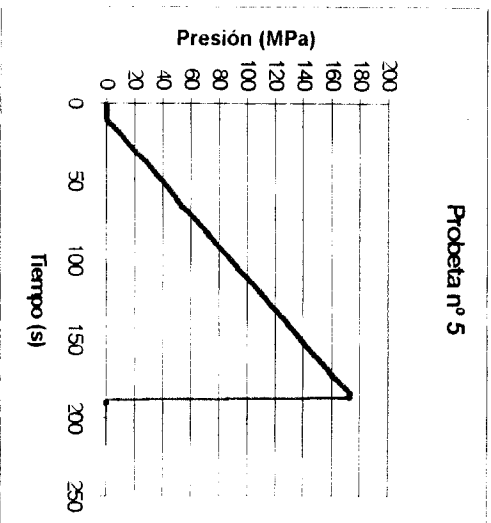
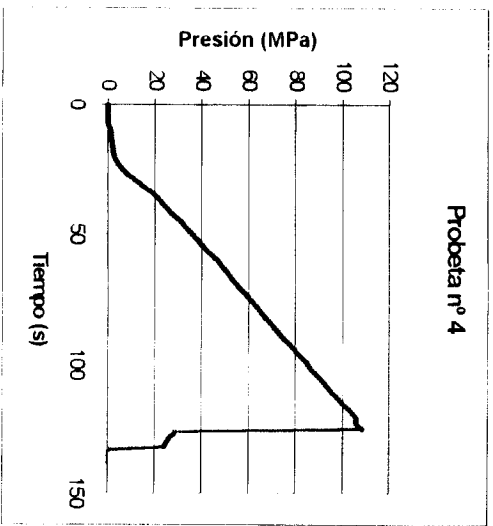
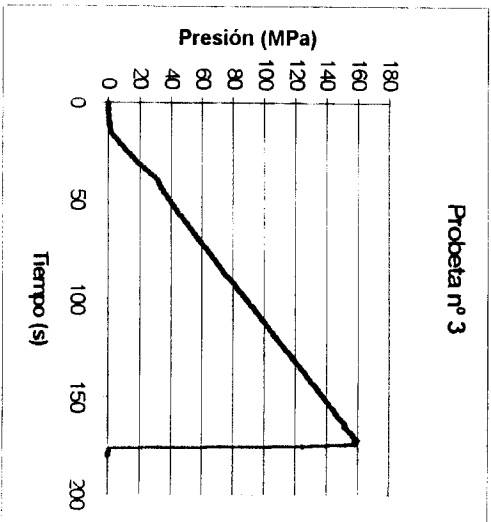
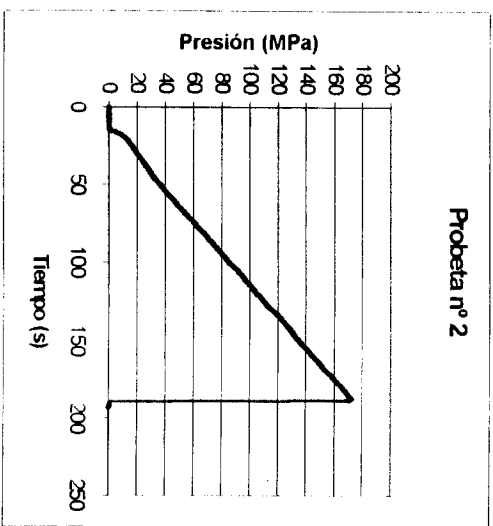
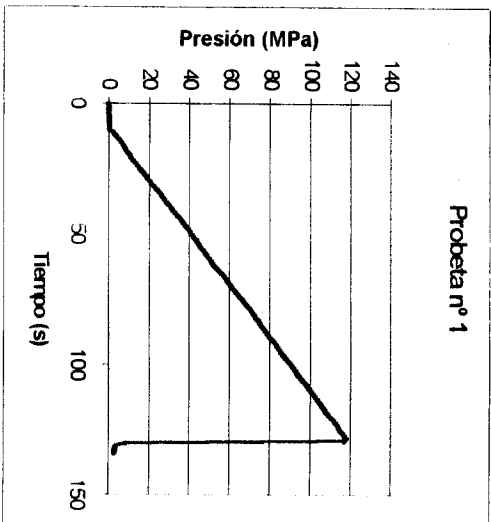
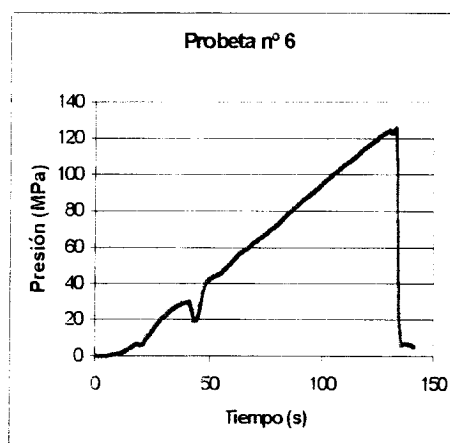
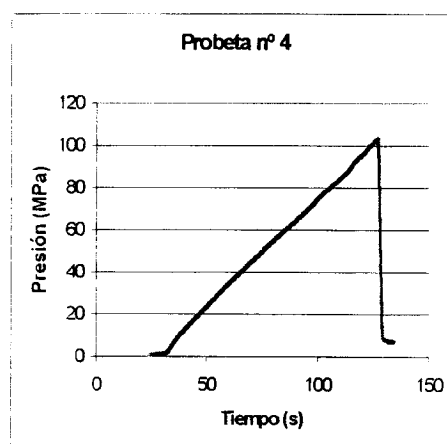
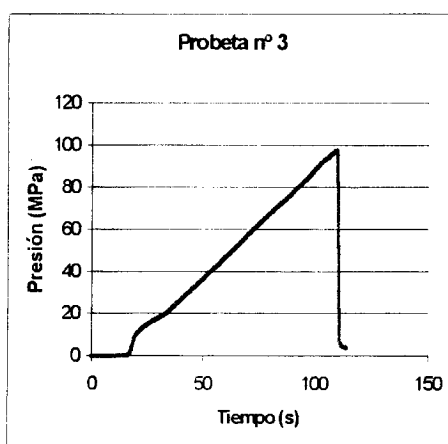
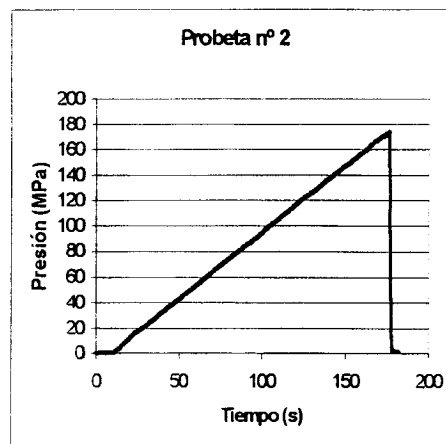
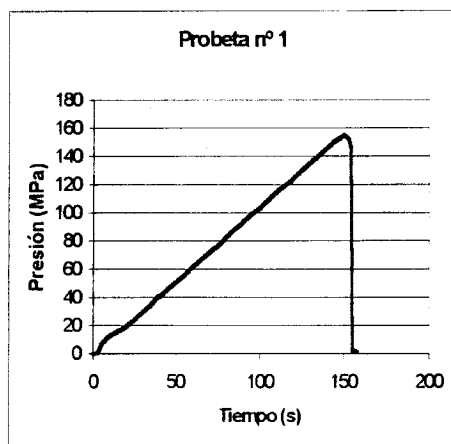
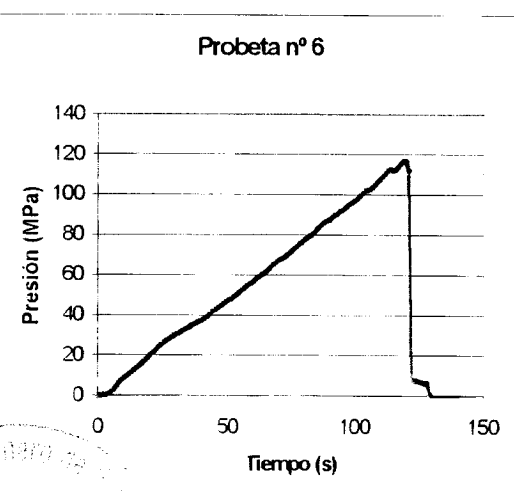
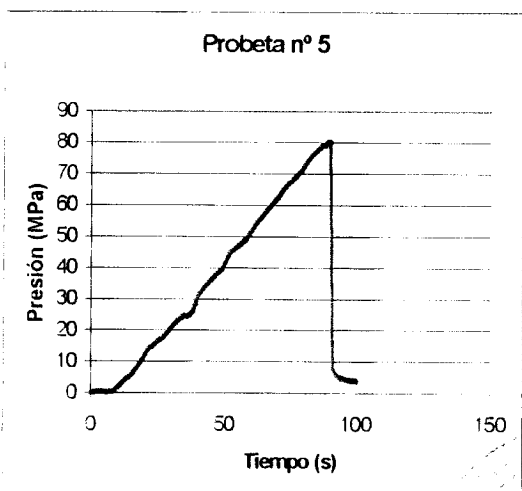
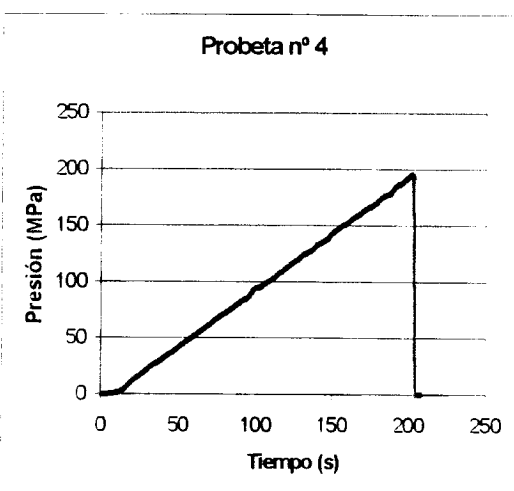
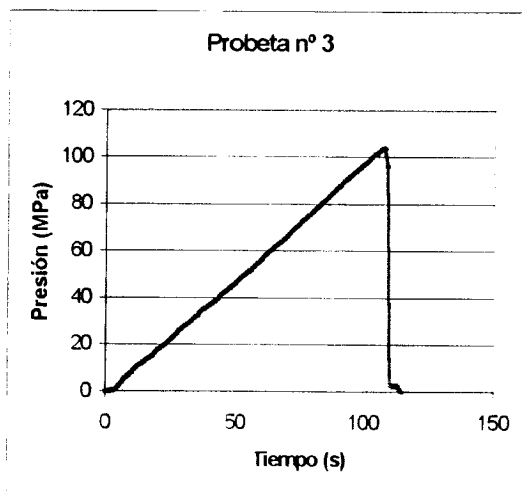
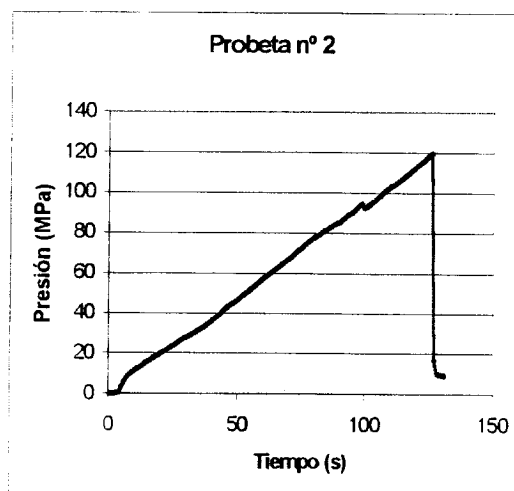
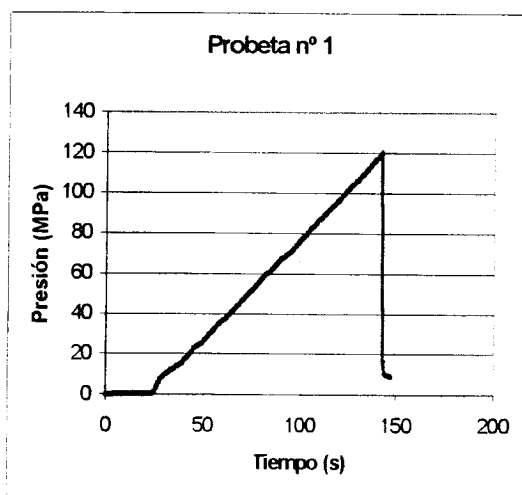
Ilustración 1. Curvas de rotura de la muestra M-1

Ilustración 2. Curvas de rotura de la muestra M-2³

³ No se ha podido obtener la curva de rotura de la probeta n° 5, aunque ésta si ha sido ensayada y su resultado se muestra en la Tabla 9



Ilustración 3. Curvas de rotura de la muestra M-3



6 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la Flexión. UNE 22-186-85 (Norma Anulada)

Sólo se ha podido obtener una probeta de cada muestra, cuyas dimensiones (Tabla 11) no se ajustan a norma (300 x 25 x 40) debido a la escasez de material y a las oquedades que presentaba. Los valores obtenidos de resistencia a flexión se muestran en la Tabla 12 y las curvas de rotura en la Ilustración 4.

Tabla 11. Dimensiones de las probetas ensayadas

Muestra nº	M-1	M-2	M-3
Longitud (mm)	291.43	240.29	235.16
Espesor (mm)	41.46	41.53	41.76
Anchura (mm)	30.67	26.04	33.05

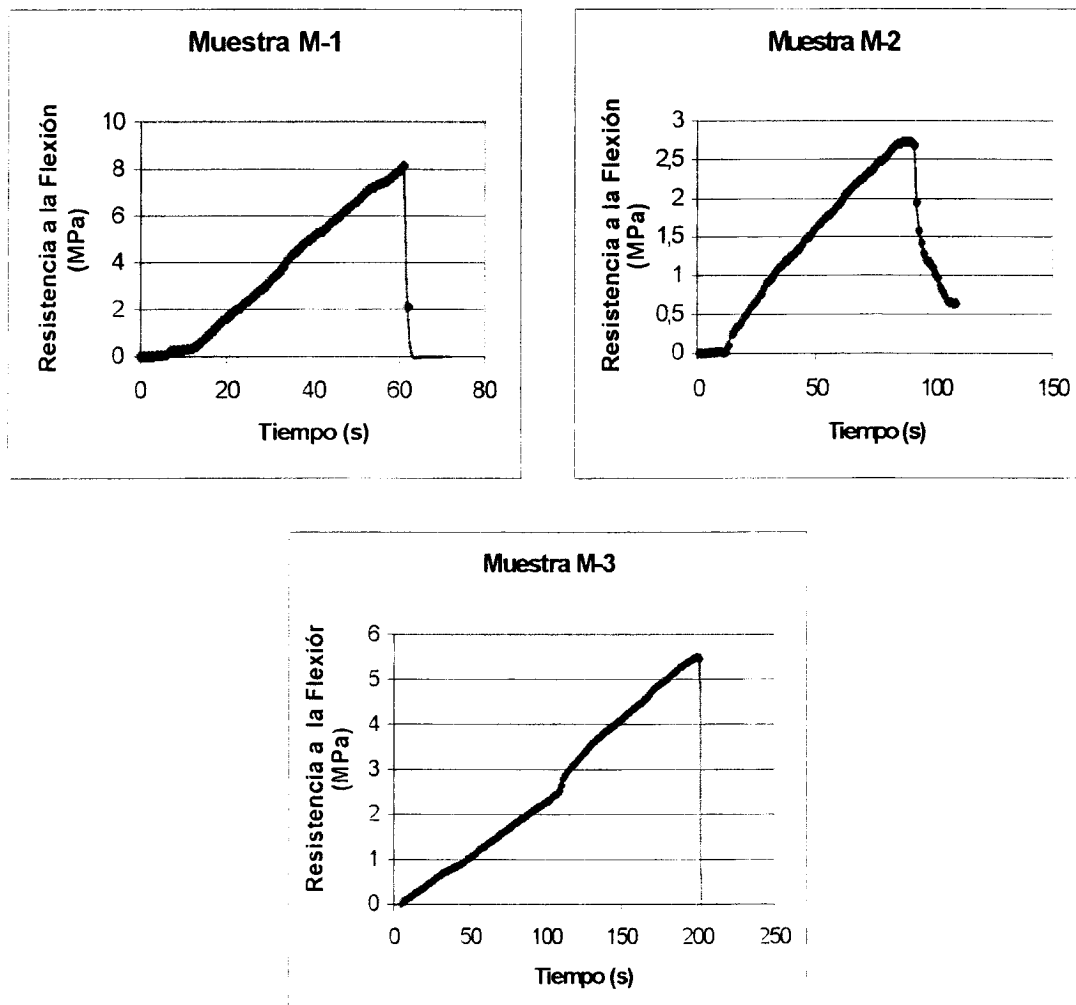
Tabla 12. Resistencia a la Flexión

Muestra nº	M-1 ⁴	M-2	M-3
Velocidad de carga (N/s)	-	10.5	11.3
Resistencia a la Flexión (MPa)	8.1	2.7	5.5
Incertidumbre (k=2) (MPa)	0.5	0.1	0.2



⁴ Esta probeta se rompió a más de 12 N/s por problemas técnicos.

Ilustración 4. Curvas de rotura del ensayo de resistencia a la flexión



7 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a los Cambios Térmicos. UNE 22-193-85 (pizarras). ENSAYO NO ACREDITADO.

Sólo se ha ensayado una probeta pulida de 12 x 5 x 1 cm de cada muestra por falta de material, las probetas han sido sometidas a 25 ciclos de cambios térmicos. Cada ciclo consiste en permanecer 20 horas en estufa a 110 °C y 4 horas sumergidas en agua a una temperatura aproximada de 20 °C. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 13.



Tabla 13. Resistencia a los cambios térmicos

Probeta nº	M-1	M-2	M-3
Peso inicial (g)	163.74	134.23	156.29
Peso final (g)	163.63	134.09	156.09
Resistencia a los cambios térmicos (%)	0.07	0.10	0.13

Debido a la pequeña variación en peso que se produce, las incertidumbres asociadas a la medida de la resistencia a los cambios térmicos en cada probeta no se consideran relevantes.

Sobre cada probeta se ha determinado sus coordenadas colorimétricas, antes y después del ensayo de resistencia a los cambios térmicos, mediante la reiteración de 10 medidas, cuyos valores medios se muestran en las Tabla 14 y Tabla 15.

Tabla 14. Coordenadas colorimétricas antes del choque térmico

Muestra	L*	a*	b*
M-1	60.6	8.5	22.3
M-2	76.8	-0.2	1.0
M-3	68.0	4.7	16.5

Tabla 15. Coordenadas colorimétricas después del choque térmico

Muestra	L*	a*	b*
M-1	62.5	8.4	21.9
M-2	77.1	0.1	5.5
M-3	68.4	5.0	17.2

Las medidas se han realizado con un colorímetro a filtros de luz normalizada D65, midiendo la luz reflejada difusa bajo un ángulo de 8 °, y utilizando un patrón de referencia de coordenadas: X=77.8 Y=82.9 Z=89.5.



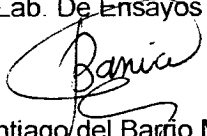
LABORATORIO DEL IGME

C/ LA CALERA, 1. 28760 –TRES CANTOS (MADRID) Tf. 91 8032200. Fax 91 8036200

Correo electrónico: a.carrascal@igme.mct.es

Laboratorio de ensayo acreditado por la ENAC para los ensayos indicados en el Certificado Nº 62/169-2/94 "Piedras naturales para la construcción (Rocas ornamentales)".

Certificado Nº 62/LE-169-1/95 "Aguas naturales".

INFORME DE LABORATORIO Nº 01/308		Hoja 1 de 5
Solicitante: D. Manuel Regueiro. IGME.		
Dirección: c/ Ríos Rosas nº 21		
Teléfono: 91 349 57 00		Fax: 91 442 62 16
Fecha recepción: 30/05/01		Fecha/s de ensayo: 05/06/01-09/08/01
Muestreo: Realizado por el solicitante		
<p>Procedimiento/s de ensayo:</p> <ul style="list-style-type: none">- Mármoles y Calizas Ornamentales. Absorción y peso específico aparente. UNE 22-182-85 (Norma anulada)- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a las Heladas. UNE 22-184-85- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la Compresión. UNE 22-185-85. (Norma anulada)- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia al Choque. UNE 22-19-85- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a los Cambios Térmicos. UNE 22-193-85 (pizarras). <p>ENSAYO NO ACREDITADO.</p> <ul style="list-style-type: none">- Medida de cordenadas cromáticas. ENSAYO NO ACREDITADO.		
Observaciones:		
Los resultados expuestos afectan en exclusiva a las muestras sometidas a ensayo. La reproducción parcial de este informe sólo podrá realizarse con la autorización escrita del Laboratorio del IGME.		
Fecha: 14/08/01	<p>Jefe de Lab. De Ensayos Tecnológicos</p>  <p>Fdo: Santiago del Barrio Martín</p>	

Las muestras quedarán a disposición del solicitante durante un periodo de tres meses siguientes a la emisión de este informe, a partir de los cuales podrán ser eliminadas.

SEDE CENTRAL:
Ríos Rosas, 23
28003 MADRID
Teléfono 91 349 5700
Fax 91 442 6216

**1 Relación de muestras empleadas en los ensayos.**

Se ha recepcionado en el Departamento de Ensayos Tecnológicos del IGME una caja que contiene una muestra de sondeo de mármol perteneciente al Proyecto de Investigación de Mármol de Jaén. La caja referenciada con el nº12, contiene fragmentos de testigos del sondeo 4 correspondientes a la profundidad de 31.90-34.70 m.

La correspondencia entre la identificación dada por el cliente y la asignada por el laboratorio es la que se indica a continuación.

Identificación del cliente	Identificación del laboratorio
M-1 (sondeo 4; 31.90-34.70 m)	01/308-01

2 Mármol y Calizas Ornamentales. Absorción y Peso Específico Aparente. UNE 22-182-85 (Norma Anulada)

Se han sometido a ensayo cuatro probetas, obteniéndose los resultados indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Absorción y peso específico aparente muestra M-1

Probeta nº	4	5	6	7
P. e. a. (g/cm ³)	2.8	2.8	2.8	2.8
Absorción (%)	0.4	0.4	0.4	0.4
P. e. a. final (g/cm ³)	2.8			
Absorción final (%)	0.4			

Las incertidumbres asociadas a cada una de las medidas de absorción y peso específico aparente en cada probeta de la muestra no se consideran relevantes. La incertidumbre de la balanza utilizada es 21.43 mg (para k=2 y n=1).

3 Mármol y Calizas Ornamentales. Resistencia a las Heladas. UNE 22-184-85

Sólo se ha sometido a ensayo una probeta en vez de las tres que indica la norma por falta de muestra. Además esta probeta ha sido de 12 x 5 x 1 cm, pulida en una de sus caras de 12 x 5 cm, en lugar de cubos de 7 x 7 x 7 cm como se nos indicó en su petición de ensayo.

La probeta ha sido sometida a 25 ciclos de hielo-deshielo. Cada ciclo consiste en permanecer 20 horas en un frigorífico a -15 °C y 4 horas sumergidas en agua a una temperatura aproximada de 20 °C. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.



Tabla 2. Resistencia a las heladas

Muestra nº	M-1
Peso inicial (g)	167.60
Peso final (g)	167.48
Resistencia a las heladas (%)	0.07

Debido a la pequeña variación en peso que se produce, la incertidumbre asociada a la medida de la resistencia a las heladas no se considera relevante. La incertidumbre de la balanza utilizada es 14.23 mg (para $k=2$ y $n=1$).

4 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia al choque. UNE 22-189-85

El ensayo se ha realizado sólo sobre probetas de dimensiones 12 x 5 x 1 cm debido a la imposibilidad de conseguir probetas de 20 x 20 x 3 cm de las muestras de testigo de sondeo proporcionadas. El peso de la bola empleada en los ensayos ha sido de 254.44 g. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 3.

Tabla 3. Resistencia al choque de la muestra M-1

Nº de probeta	4	5	6	7
Espesor de la probeta (mm)	10.14	10.77	11.05	10.43
Resistencia al choque R (cm)	10	5	10	10
Incertidumbre ($k=2$)	4.4	4.4	4.4	4.4
Valor medio de R (cm)	8.8			

5 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la compresión. UNE 22-185-85 (Norma Anulada)

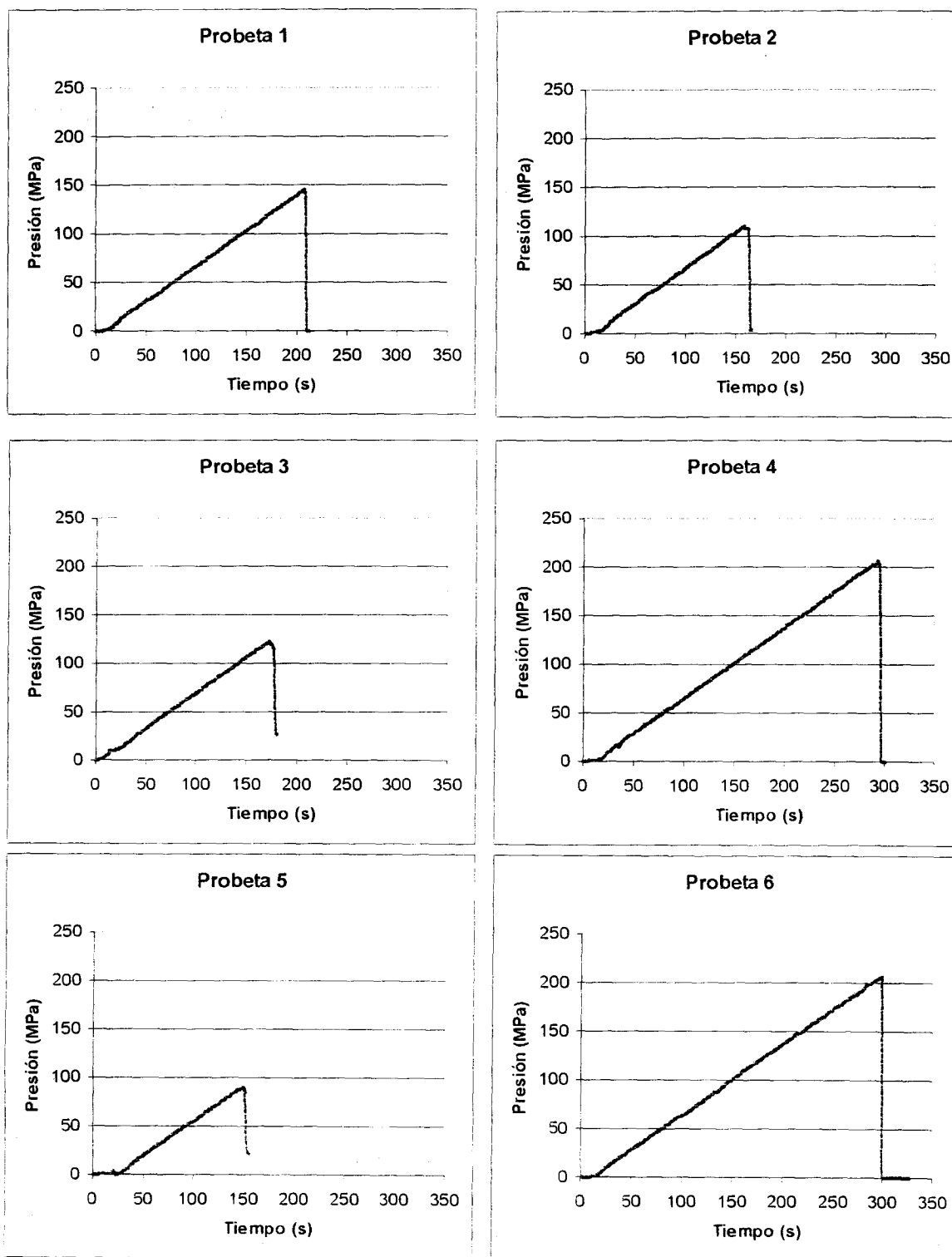
El ensayo se ha realizado sobre seis probetas cilíndricas, aplicándose el esfuerzo de compresión siempre en la misma dirección, ya que las probetas se han obtenido por corte y refrentado del testigo de sondeo. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 4, y en la Ilustración 1 se muestran las curvas de rotura:

Tabla 4. Resistencia a Compresión de la muestra M-1

Probeta nº	1	2	3	4	5	6
Velocidad de carga ((kp/cm^2)/s)	7.5	7.5	7.5	7.4	7.4	7.4
Resistencia a la Compresión (MPa)	144	110	122	206	90	206
Incertidumbre ($k=2$) (MPa)	1	1	1	1	1	1
Valor medio (MPa)	146					



Ilustración 1. Curvas de rotura de la muestra M-1



**6 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a los Cambios Térmicos. UNE 22-193-85 (pizarras). ENSAYO NO ACREDITADO.**

Sólo se ha ensayado una probeta pulida de 12 x 5 x 1 cm por falta de material. La probeta ha sido sometida a 25 ciclos de cambios térmicos. Cada ciclo consiste en permanecer 20 horas en estufa a 110 °C y 4 horas sumergidas en agua a una temperatura aproximada de 20 °C. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Resistencia a los cambios térmicos

Probeta nº	M-1
Peso inicial (g)	180.25
Peso final (g)	180.10
Resistencia a los cambios térmicos (%)	0.08

Debido a la pequeña variación en peso que se produce, las incertidumbres asociadas a la medida de la resistencia a los cambios térmicos en cada probeta no se consideran relevantes.

Se ha determinado sobre la probeta sus coordenadas colorimétricas antes y después del ensayo de resistencia a los cambios térmicos, mediante la reiteración de 10 medidas, cuyos valores medios se muestran en la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6. Coordenadas colorimétricas antes del choque térmico

Muestra	L*	a*	b*
M-1	71.6	-0.2	2.4

Tabla 7. Coordenadas colorimétricas después del choque térmico

Muestra	L*	a*	b*
M-1	62.7	0.1	2.0

Las medidas se han realizado con un colorímetro a filtros de luz normalizada D65, midiendo la luz reflejada difusa bajo un ángulo de 8 °, y utilizando un patrón de referencia de coordenadas: X=77.8 Y=82.9 Z =89.5.

RELACIÓN DE PLAQUETAS QUE SE ADJUNTAN:

DTT 01/308

Muestra	Plaqueta	Ensayo
01	01/308-01 nº1	Sin ciclos
	01/308-01 nº2	Choque térmico
	01/308-01 nº3	Heladicidad

DTT 01/262

Muestra	Plaqueta	Ensayo
01	01/262-01 nº1	Choque térmico
	01/262-01 nº2	Sin ciclos
	01/262-01 nº3	Heladicidad
02	01/262-02 nº1	Sin ciclos
	01/262-02 nº2	Choque térmico
	01/262-02 nº3	Heladicidad



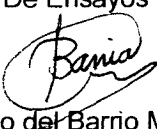
LABORATORIO DEL IGME

C/ LA CALERA, 1. 28760 -TRES CANTOS (MADRID) Tf. 91 8032200. Fax 91 8036200

Correo electrónico: a.carrascal@igme.mct.es

Laboratorio de ensayo acreditado por la ENAC para los ensayos indicados en el Certificado N° 62/169-2/94 "Piedras naturales para la construcción (Rocas ornamentales)".

Certificado N° 62/LE-169-1/95 "Aguas naturales".

INFORME DE LABORATORIO N° 01/262		Hoja 1 de 8
Solicitante: D. Manuel Regueiro. IGME.		
Dirección: c/ Ríos Rosas nº 21		
Teléfono: 91 349 57 00		Fax: 91 442 62 16
Fecha recepción: 18/05/01		Fecha/s de ensayo: 22/05/01-02/08/01
Muestreo: Realizado por el solicitante		
Procedimiento/s de ensayo: <ul style="list-style-type: none">- Mármoles y Calizas Ornamentales. Absorción y peso específico aparente. UNE 22-182-85 (Norma anulada)- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a las Heladas. UNE 22-184-85- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la Compresión. UNE 22-185-85. (Norma anulada)- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la Flexión. UNE 22-186-85. (Norma anulada)- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia al Choque. UNE 22-19-85- Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a los Cambios Térmicos. UNE 22-193-85 (pizarras). ENSAYO NO ACREDITADO. <ul style="list-style-type: none">- Medida de cordenadas cromáticas. ENSAYO NO ACREDITADO.		
Observaciones:		
Los resultados expuestos afectan en exclusiva a las muestras sometidas a ensayo. La reproducción parcial de este informe sólo podrá realizarse con la autorización escrita del Laboratorio del IGME.		
Fecha: 10/08/01	Jefe de Lab. De Ensayos Tecnológicos  Fdo: Santiago del Barrio Martín	

Las muestras quedarán a disposición del solicitante durante un periodo de tres meses siguientes a la emisión de este informe, a partir de los cuales podrán ser eliminadas.

SEDE CENTRAL:
Ríos Rosas, 23
28003 MADRID
Teléfono 91 349 5700
Fax 91 442 6216

**1 Relación de muestras empleadas en los ensayos.**

Se han recepcionado en el Departamento de Ensayos Tecnológicos del IGME cuatro cajas que contenían dos muestras de sondeos de mármoles pertenecientes al Proyecto de Investigación de Mármoles de Jaén. Las muestras, compuestas por fragmentos de sondeo de diferentes longitudes, estaban referenciadas como **M-1** y **M-2** del **sondeo 2** del proyecto de referencia.

La correspondencia entre la identificación dada por el cliente y la asignada por el laboratorio es la que se indica a continuación.

Identificación del cliente	Identificación del laboratorio
M-1	01/262-01
M-2	01/262-02

2 Mármoles y Calizas Ornamentales. Absorción y Peso Específico Aparente. UNE 22-182-85 (Norma Anulada)

Se han sometido a ensayo cuatro probetas de cada una de las muestras ensayadas, obteniéndose los resultados indicados en las Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Absorción y peso específico aparente muestra **M-1**

Probeta nº	4	5	6	7
P. e. a. (g/cm ³)	2.7	2.8	2.7	2.7
Absorción (%)	0.9	0.6	0.7	0.8
P. e. a. final (g/cm ³)	2.7			
Absorción final (%)	0.7			

Tabla 2. Absorción y peso específico aparente muestra **M-2**

Probeta nº	4	5	6	7
P. e. a. (g/cm ³)	2.7	2.7	2.7	2.7
Absorción (%)	0.8	0.9	0.8	0.9
P. e. a. final (g/cm ³)	2.7			
Absorción final (%)	0.8			

Las incertidumbres asociadas a cada una de las medidas de absorción y peso específico aparente en cada probeta de cada muestra no se consideran relevantes. La incertidumbre de la balanza utilizada es 21.43 mg (para k=2 y n=1).

Tabla 5. Resistencia al choque de la muestra M-2

Nº de probeta	4	5	6	7
Espesor de la probeta (mm)	10.78	11.53	11.77	13.12
Resistencia al choque R (cm)	10	10	10	10
Incertidumbre (k=2)	4.4	4.4	4.4	4.4
Valor medio de R (cm)	10.0			

5 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la compresión. UNE 22-185-85 (Norma Anulada)

El ensayo se ha realizado sobre seis probetas cilíndricas, aplicándose el esfuerzo de compresión siempre en la misma dirección, ya que las probetas se han obtenido por corte y refrentado de testigo. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 6 y Tabla 7, y en la Ilustración 1 e Ilustración 2 se muestran las curvas de rotura:

Tabla 6. Resistencia a Compresión de la muestra M-1

Probeta nº	1	2	3	4	5¹	6
Velocidad de carga ((kp/cm ²)/s)	7.1	7.1	6.6	7.1	7.1	7.2
Resistencia a la Compresión (MPa)	160	204	246	122	183	177
Incertidumbre (k=2) (MPa)	1	1	2	1	1	13
Valor medio (MPa)	182					

Tabla 7. Resistencia a la compresión de la muestra M-2

Probeta nº	1¹	2¹	3¹	4¹	5¹	6¹
Velocidad de carga ((kp/cm ²)/s)	7.1	7.1	7.0	7.1	7.1	7.0
Resistencia a la Compresión (MPa)	131	203	173	137	131	99
Incertidumbre (k=2) (MPa)	1	1	1	1	1	1
Valor medio (MPa)	146					

¹ Presencia de oquedades en las bases

**3 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a las Heladas. UNE 22-184-85**

Sólo se ha sometido a ensayo una probeta en vez de las tres que indica la norma por falta de muestra. Además estas probetas han sido de 12 x 5 x 1 cm, pulidas en una de sus caras de 12 x 5 cm, en lugar de cubos de 7 x 7 x 7 cm como se nos indicó en su petición de ensayo.

Las probetas han sido sometidas a 25 ciclos de hielo-deshielo. Cada ciclo consiste en permanecer 20 horas en un frigorífico a -15°C y 4 horas sumergidas en agua a una temperatura aproximada de 20°C . Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Resistencia a las heladas

Muestra nº	M-1	M-2
Peso inicial (g)	209.44	149.12
Peso final (g)	209.22	148.90
Resistencia a las heladas (%)	0.10	0.15

Debido a la pequeña variación en peso que se produce, las incertidumbres asociadas a la medida de la resistencia a las heladas en cada probeta no se consideran relevantes. La incertidumbre de la balanza utilizada es 14.23 mg (para $k=2$ y $n=1$).

4 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia al choque. UNE 22-189-85

El ensayo se ha realizado sólo sobre probetas del tipo de 12 x 5 x 1 cm debido a la imposibilidad de conseguir probetas de 20 x 20 x 3 cm de las muestras de testigo proporcionadas. El peso de la bola empleada en los ensayos ha sido de 254.44 g. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 4 y Tabla 5.

Tabla 4. Resistencia al choque de la muestra M-1

Nº de probeta	4	5	6	7
Espesor de la probeta (mm)	13.08	11.48	12.11	13.44
Resistencia al choque R (cm)	10	10	10	15
Incertidumbre ($k=2$)	4.4	4.4	4.4	4.4
Valor medio de R (cm)	11.3			

Ilustración 2. Curvas de rotura de la muestra M-2

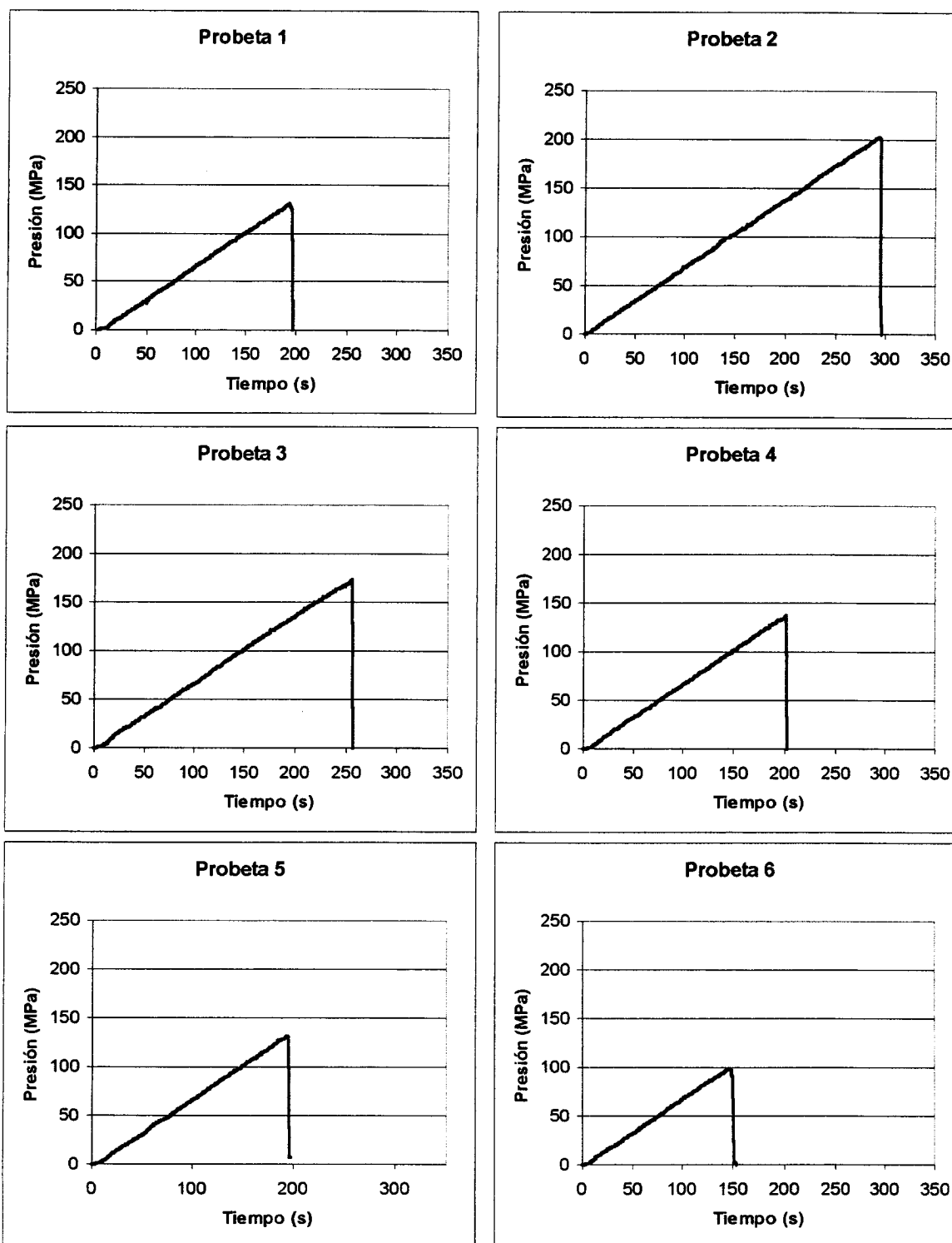
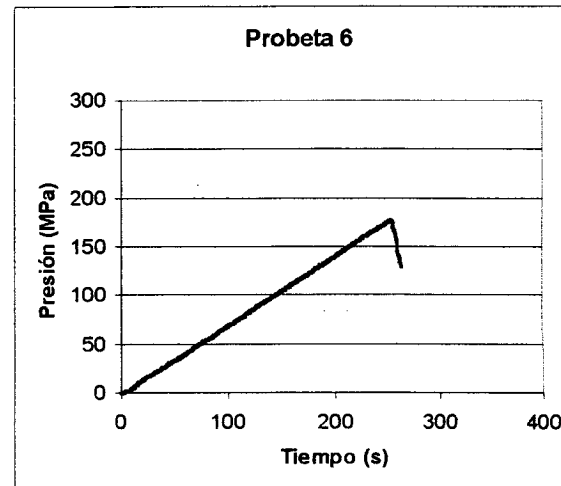
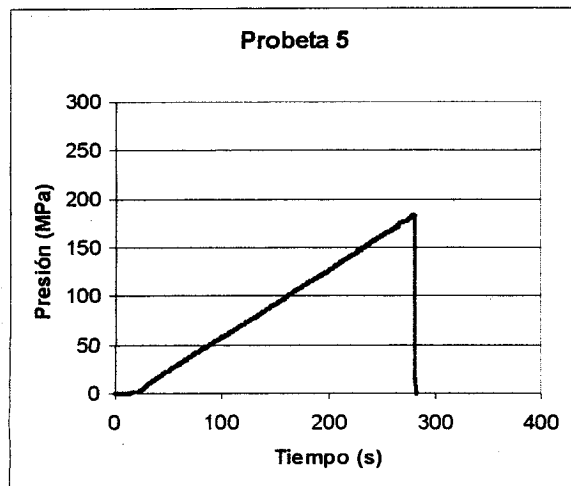
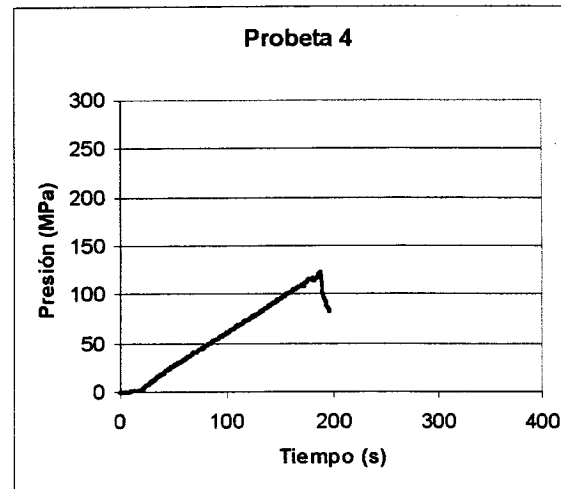
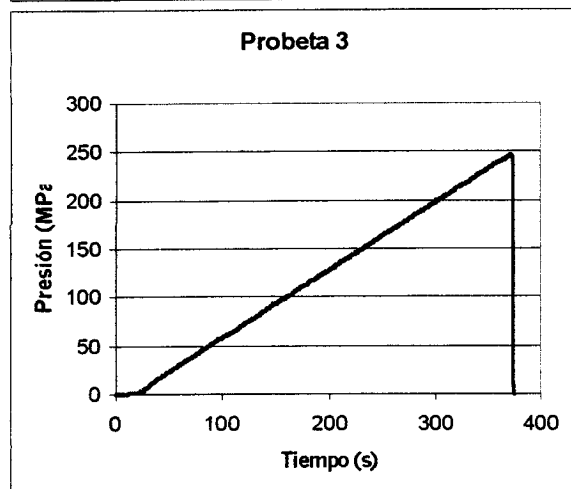
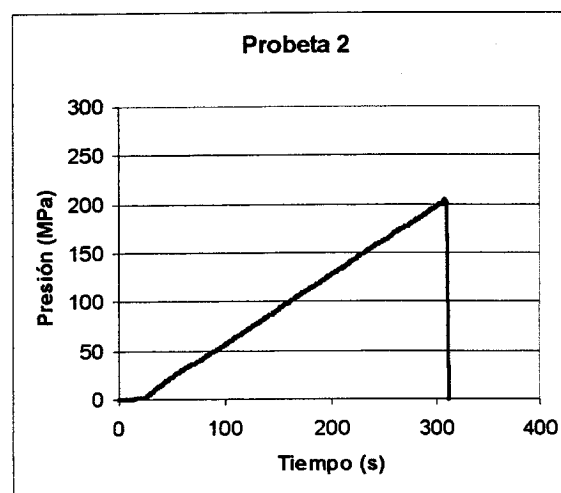
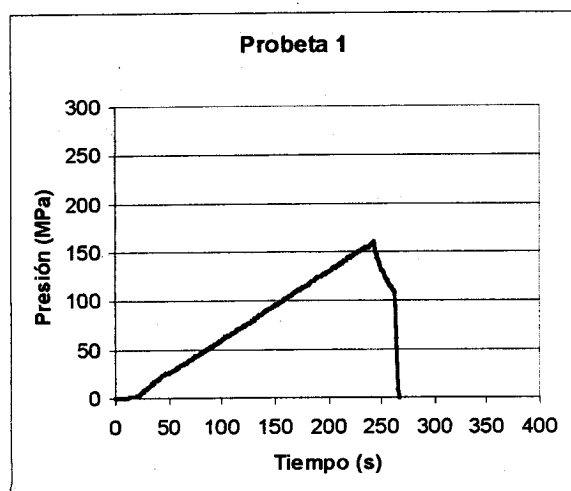


Ilustración 1. Curvas de rotura de la muestra M-1



7 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a los Cambios Térmicos. UNE 22-193-85 (pizarras). ENSAYO NO ACREDITADO.

Sólo se ha ensayado una probeta pulida de 12 x 5 x 1 cm de cada muestra por falta de material, las probetas han sido sometidas a 25 ciclos de cambios térmicos. Cada ciclo consiste en permanecer 20 horas en estufa a 110 °C y 4 horas sumergidas en agua a una temperatura aproximada de 20 °C. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Resistencia a los cambios térmicos

Probeta n°	M-1	M-2
Peso inicial (g)	199.48	184.42
Peso final (g)	199.35	184.26
Resistencia a los cambios térmicos (%)	0.07	0.09

Debido a la pequeña variación en peso que se produce, las incertidumbres asociadas a la medida de la resistencia a los cambios térmicos en cada probeta no se consideran relevantes.

Sobre cada probeta se ha determinado sus coordenadas colorimétricas, antes y después del ensayo de resistencia a los cambios térmicos, mediante la reiteración de 10 medidas, cuyos valores medios se muestran en las Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 12. Coordenadas colorimétricas antes del choque térmico

Muestra	L*	a*	b*
M-1	57.0	8.5	23.8
M-2	58.6	7.8	21.4

Tabla 13. Coordenadas colorimétricas después del choque térmico

Muestra	L*	a*	b*
M-1	57.9	8.2	24.3
M-2	58.8	7.6	22.5

Las medidas se han realizado con un colorímetro a filtros de luz normalizada D65, midiendo la luz reflejada difusa bajo un ángulo de 8 °, y utilizando un patrón de referencia de coordenadas: X=77.8 Y=82.9 Z=89.5.

**6 Mármoles y Calizas Ornamentales. Resistencia a la Flexión. UNE 22-186-85 (Norma Anulada)**

Se han obtenido cuatro probetas de la muestra 1 y tres de la muestra 2, cuyas dimensiones (Tablas 8 y 9) no se ajustan a norma (300 x 25 x 40) debido a la escasez de material y a las oquedades que presentaba. Los valores obtenidos de resistencia a flexión se muestran en la Tabla 10.

Tabla 8. Dimensiones de las probetas ensayadas de la muestra 1.

Muestra nº	M-1			
Probeta nº	01	02	03	04
Longitud (mm)	300.04	262.11	295.00	300
Espesor (mm)	30.04	32.08	31.62	33.70
Anchura (mm)	42.15	41.75	41.64	41.99

Tabla 9. Dimensiones de las probetas ensayadas de la muestra 2.

Muestra nº	M-2		
Probeta nº	01	02	03
Longitud (mm)	300.05	300.07	300.00
Espesor (mm)	28.53	30.65	28.86
Anchura (mm)	41.72	41.63	41.90

Tabla 10. Resistencia a la Flexión

Muestra nº	M-1	M-2
Resistencia a la Flexión (MPa)	9.0	11.6
Incertidumbre (k=2) (MPa)	0.4	0.8

ANEXO 12.4

DESCRIPCIÓN DE LÁMINAS DELGADAS

- E-2A.** Mármol calcítico-dolomítico con tremolita. Textura granoblástica inequigranular. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+Qtz+Trem+Tal+Ms. Bandeado composicional definido por la mayor o menor abundancia modal de cuarzo y de agregados de tremolita elongados. Restos de fósiles que originan porosidad móldica. Las oquedades están rellenas de grandes calcitas. La roca está afectada por un metamorfismo de contacto (apófisis infrayacente del Granito de Santa Elena ?).
- E-2B.** Mármol calcítico afectado por pliegues apreados y cizallas dúctiles de bajo grado. Textura granoblástica elongada inequigranular. Asociación mineral compuesta por Cal+Chl+Qtz+Ms+Op. La estratificación está definida por interestratos definidos por Ms+Chl+Grafito+Qtz. El resto es un agregado de granos de calcita elongados, formando una fábrica dúctil deformativa de tipo S-C, con micropliegues cizallados.
- E-2C.** Mármol calcítico bastante puro, de coloraciones blancas y grano fino. Textura granoblástica heterogranular, definiendo el tamaño de grano un bandeado. Asociación mineral compuesta por Cal+Qtz+Alb+Mica blanca.
- E-2D.** Mármol calcítico de grano medio, homogéneo. Textura granoblástica inequigranular. Asociación mineral compuesta por Cal+Qtz+Mica blanca. Subgranos en bordes de grano de calcita de mayor tamaño.
- E-6A.** Pizarras y filitas grafitosas con porfiroblastos de andalucitas (quiasolitas) cloritizadas. La esquistosidad principal S2 es de crenulación de S1. Las andalucitas son post-S1, ya que incluyen a estos planos crenulados y están aplastadas y deformadas (*pull-aparts* perpendiculares retrógrados) por la S2 de crenulación muy penetrativa. Por lo tanto, las andalucitas son sin-S2 tempranas.
- E-6B.** Mármol dolomítico de grano muy fino. Textura granoblástica inequigranular xenomorfa. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+Qtz+Mica blanca. Pseudomorfos de Pirita. Oquedades rellenas por calcita de grano fino en el borde y calcita de grano grueso en el centro.
- E-7.** Mármol dolomítico de grano fino. Textura granoblástica inequigranular. Asociación mineral compuesta por Dol+Mica blanca.
- E-12.** Mármol dolomítico homogéneo de grano fino-medio. Textura granoblástica inequigranular xenomorfa. Asociación mineral compuesta por Dol. Cavidades rellenas de calita drúsica.
- E-14.** Mármol dolomítico de grano medio-grueso, muy homogéneo. Textura granoblástica inequigranular xenomorfa. Asociación mineral compuesta por Dol+Qtz+Mica blanca. Aparecen filoncillos milimétricos rellenos de cuarzo y pequeños lepidoblastos de mica blanca.
- E-19.** Mármol calcítico de tamaño de grano variable. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+Qtz+Micas+Op+óxidos de Fe. Aparecen granos (intraclastos?) de cuarzo y fósiles, que originan zonas de porosidad móldica. El conjunto está sin embargo intensamente recrystalizado. Se observan zonas calcíticas puras de

tamaño de grano muy fino y otras zonas más heterogéneas con opacos de tamaño de grano mayor.

- E-20A.** Mármol calcítico puro. Textura granoblástica inequigranular xenotópica. Los granos mayores aparecen elongados definiendo la esquistosidad principal, destacándose sobre una matriz de menor tamaño de grano. Hay también grandes cristales de calcita que son restos de fósiles formando zonas de porosidad móldica sellada.
- E-20B.** Mármol dolomítico de grano grueso. Textura granoblástica inequigranular xenomorfa. Asociación mineral compuesta por Dol+Qtz.
- E-26.** Mármol calcítico-dolomítico de tamaño de grano variable. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+Tlc+Alb+Qtz+Micas+Op+óxidos de Fe. La calcita y la dolomita aparecen por zonas. Piritas oxidadas. Zonas de porosidad móldica de restos de fósiles, rellenas de dolomita. La estratificación está definida por bandas pelíticas ricas en filosilicatos. La S0 está plegada por pliegues apretados con una esquistosidad de plano axial S1, cuyos planos rodean a agregados de dolomita, calcita y óxidos de Fe.
- E-52.** Mármol dolomítico de grano fino. Textura granoblástica equigranular xenomorfa, en sectores más inequigranular. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+Qtz+Micas+Op+óxidos de Fe. Aparece dolomita de grano grueso, calcita y óxidos de Fe relleno de cavidades. También hay dolomita y calcita drúsica de tamaño de grano medio-grueso relleno de zonas elongadas de posibles antiguas oquedades. El conjunto está intensamente recrystalizado.
- E-58.** Mármol calcítico-dolomítico de grano fino, con grietas rellenas de dolomita. Textura granoblástica subequigranular subidiomorfa, en sectores más inequigranular. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+Qtz+Mica blanca+óxidos de Fe. Interestratos de la estratificación definidos por granos de cuarzo. Las grietas están rellenas de dolomita porfirotrópica, con subgranos en los bordes de grano de contornos de subidio- a xenomorfos. Se corresponde posiblemente con el frente de dolomitización.
- E-70A.** Mármol calcítico con una esquistosidad principal S1 penetrativa. Textura granoblástica inequigranular elongada. Asociación mineral compuesta por Cal. La S1 está definida por el aplastamiento de los granos mayores de calcita, su elongación paralela y de las bandas de grano fino recrystalizadas paralelas. Hay interestratos definidos por óxidos de Fe y pequeñas micas plegadas, así como estilolitos con minerales opacos insolubles acumulados.
- E-70B.** Mármol dolomítico de grano grueso-muy grueso, banquero. Presenta algunas irregularidades de colores oscuros definidos por la acumulación dispersa de óxidos de Fe y, en menor medida, calcita. Textura granoblástica equigranular subidiotópica. Asociación mineral compuesta por Dol+Cal+Qtz. Hay huecos rellenos de calcita porfirotrópica. Hay deformación posterior que da lugar a texturas de deformación plástica intracrystalina en los carbonatos y xenomorfismo en los granos.
- E-70C.** Mármol calcítico de grano fino. Textura granoblástica equigranular/subequigranular. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+Qtz+Ab+óxidos de Fe. Restos de fósiles opaquizados, así como granos gruesos de calcítica esparítica previa recrystalizada.

- E-74.** Mármol dolomítico de grano medio. Zonas de porosidad secundaria y microfisuras tapizadas de calcita+óxidos de Fe rojos. Textura granoblástica subequigranular idiotópica. Asociación mineral compuesta por Dol+Cal+Qtz+óxidos de Fe.
- E-76.** Mármol dolomítico de grano grueso. Asociación mineral compuesta por Dol+Qtz. Textura granoblástica inequigranular porfirotrópica idio-subidiotópica. Presenta zonas de tonos rojos y oscuros definidos por la acumulación dispersa de óxidos de Fe-Mn y otros opacos, anubarradas. Hay huecos drúsicos no rellenos de dolomita.
- E-77.** Mármol calcítico-dolomítico de grano fino-medio. Hay interestratos plegados de dolomita. Se observan romboedros zonados de Dol que crecen a partir de los interestratos plegados ricos en opacos. Asociación mineral compuesta por Dol+Cal+Qtz+micas blancas+óxidos de Fe. La matriz de la roca general es calcítica, formada por cristales grandes recrystalizados, con deformación interna de las maclas, y una matriz de grano muy fino xenotrópico. La dolomitización es también a través de los planos de aplastamiento y aumenta conforme las bandas coalescen.
- E-80.** Mármol calcítico-dolomítico de grano fino. Se observan interestratos, venas y grietas de extensión plegadas, de color más oscuro, que forman un denso entramado. Asociación mineral compuesta por Dol+Cal+Qtz+micas blancas+Ab+óxidos de Fe. La matriz es de bandas de calcita de grano muy fino, recrystalizadas elongadamente que alternan con bandas de cuarzo y micas muy finas a la escala milimétrica. Esta alternancia define la esquistosidad S1.
- E-81.** Mármol calcítico de grano fino. Aparecen interestratos de cuarzo, micas, óxidos de Fe y carbonatos, plegados y boudinados. La matriz es de grano muy fino y está recrystalizada en parches de calcita de mayor tamaño. Textura granoblástica subequigranular xenotrópica. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+Qtz+óxidos de Fe.
- E-82.** Mármol dolomítico de grano grueso. Asociación mineral compuesta por Dol+Qtz. Textura granoblástica subequigranular idiotópica. Presenta fisuras rectas y huecos drúsicos rellenos de calcita.
- E-83A.** Mármol calcítico con una esquistosidad principal definida por la elongación de granos de mayor tamaño y collares de granos de tamaño más fino que los rodean, recrystalizados. Textura granoblástica inequigranular porfirotrópica. Asociación mineral compuesta por Cal+Dol+micas+Qtz+óxidos de Fe. Aparecen interestratos de cuarzo, micas, óxidos de Fe y carbonatos, plegados y boudinados. Los romboedros de tanto calcita como dolomita crecen sobre los interestratos y se destacan sobre la matriz de grano fino.
- E-83B.** Mármol dolomítico de grano grueso. Asociación mineral compuesta por Dol+Cal+Qtz+óxidos de Fe. Textura granoblástica inequigranular porfirotrópica, por zonas equigranular xerotrópica. Presenta huecos drúsicos rellenos de calcita.
- E-86.** Mármol dolomítico de grano fino, heterogéneo. Asociación mineral compuesta por Dol+Cal+Qtz+Ab+óxidos de Fe-Mn+opacos. Textura inequigranular generalmente xenomorfa. Presenta una esquistosidad principal Sp, definida por la elongación de los granos y superficies de disolución por presión, donde se acumulan los opacos insolubles. Estas superficies parecen afectar a la

dolomita, aunque también hay dolomita recristalizada paralelamente a la Sp. Hay también interestratos plegado definidos por Qtz y óxidos amarillos y zonas con dolomita. También oquedades y huecos drúsicos rellenos de calcita de grano grueso y óxidos de Fe.

E-200A. Mármol calcítico, de grano grueso, heterométrico. Textura granoblástica inequigranular elongada definiendo la S1.

E-200B. Mármol calcítico, de grano muy grueso, heterométrico. Textura granoblástica inequigranular elongada definiendo la S1. Se observan micropliegues de la S0 cuya esquistosidad de plano axial es la S1, definidos por juntas interestrato ricas en mica blanca, clorita y opacos, muy aplastados. La trasposición de la estratificación por el plegamiento F1 es, por lo tanto, muy intensa.

ANEXO 12.5

LAMINAS DE FOTOGRAFÍAS

12.2.1 Detalles de los materiales

- Lám. I. (a) Facies de mármoles blanco-gris, *Fm. Caliza Urbana* de la Cantera de La Despreciada; (b) Facies de mármoles bandeados, *Fm. Caliza Urbana* de la Cantera de La Despreciada.
- Lám. II. (a) Facies de mármoles dolomíticos sacaroideos. Extremo oriental del Afloramiento II, El Casar-Río Guarrizas; (b) Superficie erosiva con desarrollo de un paleokarst relleno por brechas poligénicas y material volcánico a techo de la *Fm. Caliza Urbana*, Cantera de La Despreciada.
- Lám. III. (a) Superficie erosiva con desarrollo de paleokarst a la base de la *Fm. Caliza Urbana*, Extremo oriental del Afloramiento II, El Casar-Río Guarrizas; (b) Anticlinal de F1 de plano axial subvertical, desarrollado en las Alternancias de pizarras y cuarcitas del Ordovícico superior (12b).
- Lám. IV. (a) Diques y filones de baritina. Detalle del relleno zonado geopetalmente con carbonatos en el núcleo. Sector central del Afloramiento II, El Casar-Río Guarrizas; (b) detalle del crecimiento de los agregados hojosos de baritina y la fuerte alteración y tinción ocre de los hastiales del mármol dolomítico.
- Lám. V. (a y b) Diques y filones de baritina. Detalles de la disposición, orientación N070°E y relleno zonado mediante agregados de baritina. Sector central del Afloramiento II, El Casar-Río Guarrizas.
- Lám. VI. Vista Panorámica desde el SE del Afloramiento II, El Casar-Río Guarrizas.
- Lám. VII. Vista Panorámica desde el NE del Afloramiento II, El Casar-Río Guarrizas.
- Lám. VIII. (a) Aspecto de los mármoles gris-blancos y (b) Vista Panorámica desde el S del Afloramiento III, Puntal Agrio.
- Lám. IX. (a) Vista el S del Afloramiento IV, Arroyo de Los Tejos; (b) Detalle de un antiguo frente de explotación.
- Lám. X. (a) Aspecto de los mármoles gris-blancos con venas de clacita e interestratos plegados en el Afloramiento IV, Arroyo de Los Tejos; (b) Detalle de los pliegues centimétricos de F1.
- Lám. XI. (a) Desarrollo de la esquistosidad S1 en los mármoles gris-blancos en el Afloramiento IV, Arroyo de Los Tejos; (b) Detalle de superficies de disolución por presión suturadas (estilolíticas) en el mismo afloramiento.
- Lám. XII. Detalles de los afloramientos de los mármoles.
- Lám. XIII. Detalles de los afloramientos de los mármoles.
- Lám. XIV. Detalles de los afloramientos de los mármoles.
- Lám. XV. Detalles de los afloramientos de los mármoles.

LAMINA I



LAMINA II



LAMINA III

Figura 13 de 13



LAMINA IV



LAMINA V



LAMINA VI

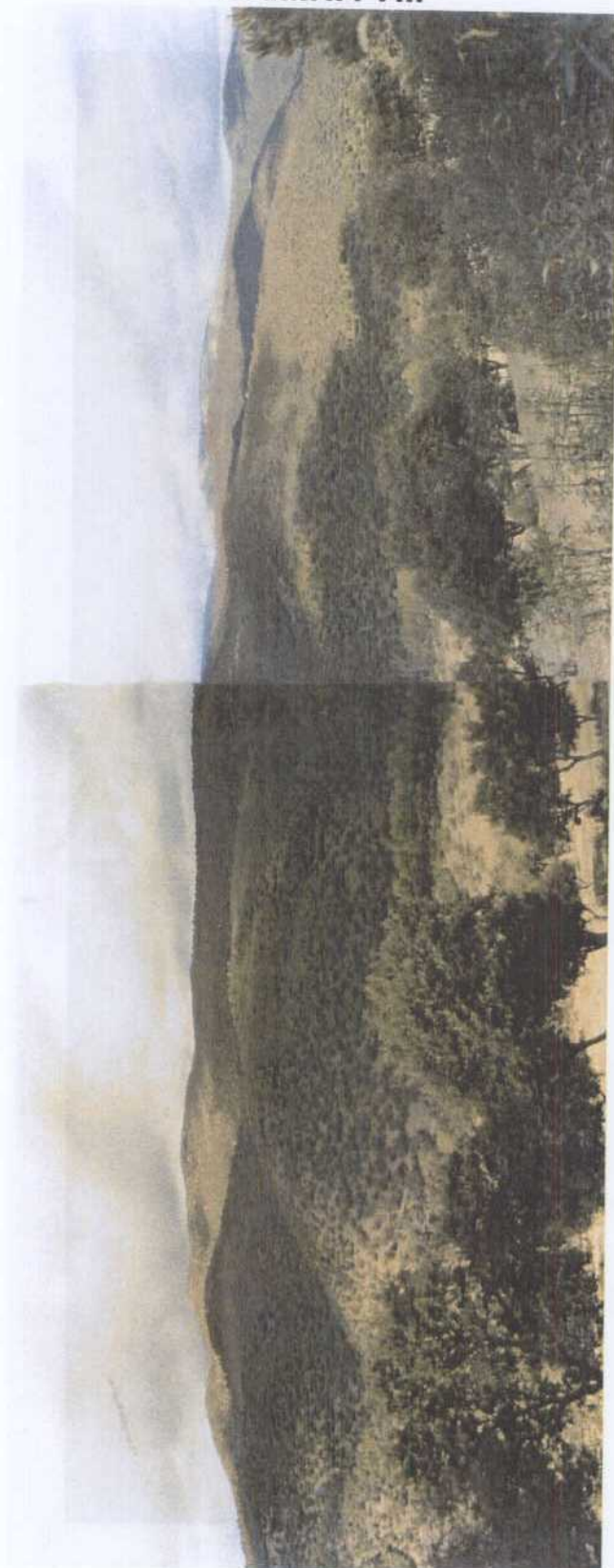


LAMINA VII

Fotografia 07/01/73



LAMINA VIII



IIIIV AVIMAJ

LAMINA IX



LAMINA X



LAMINA XI



LAMINA XII



a. Antiguo frente de explotación del mármol



b. Afloramientos de mármol calcítico



c. Detalle del frente de explotación oriental



d. Detalle de la estratificación en los mármoles



e. Detalle de la estratificación en el mármol



f. Frente explotación occidental



g. Aspecto mármoles dolomíticos



h. Aspecto mármoles calcíticos

LAMINA XIII



a. Antigua explotación de baritina



b. Filones de baritina en el mármol dolomítico



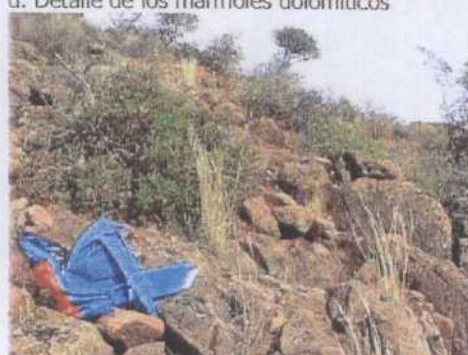
c. Detalle de los mármoles en la explotación



d. Detalle de los mármoles dolomíticos



e. Afloramientos de mármoles calcíticos



f. Afloramientos mármoles dolomíticos



g. Detalle mármoles calcíticos



h. Aspecto bancos mármoles dolomíticos

LAMINA XIV



a. Antigua explotación de baritina



b. Filones de baritina en el mármol dolomítico



c. Detalle de los mármoles en la explotación



d. Detalle de los mármoles dolomíticos



e. Afloramientos de mármoles calcíticos



f. Afloramientos mármoles dolomíticos



g. Detalle mármoles calcíticos



h. Aspecto bancos mármoles dolomíticos

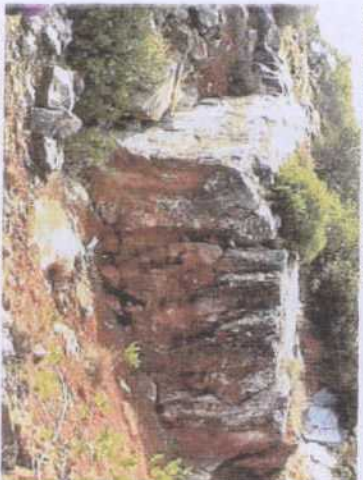
VITA LAMINA XV



a. Afloramientos de mármol



b. Antiguo frente de explotación de mármol



c. Detalle del frente de explotación



d. Detalle de la estratificación en los mármoles



e. Extracciones antiguas de bloques de mármol



f. Escombrera de la antigua explotación



g. Afloramientos de mármol en el sector



h. Afloramientos de mármol en el sector

12.2.2 Detalles de las facies de mármoles

Lámina XVI. (arriba) Aspecto de la Cantera de La Despreciada donde afloran mármoles de la *Fm. Caliza Urbana* de la Facies 1. Notar la banda de dolomitización en el centro-derecha de la fotografía, que da lugar a mármoles ocre de la Facies 2; (abajo) Aspecto de la Facies 1 de mármoles blancos, bandeados, calcíticos y dolomíticos. Sondeo SR-CU-3, entre 74,3 y 77,0 m profundidad.

Lámina XVII. (arriba) Aspecto de la Facies 1 de mármoles blancos, bandeados, calcíticos y dolomíticos, y del rápido tránsito a los mármoles ocre de la Facies 2. Sondeo SR-CU-3, entre 55,35 y 58,20 m profundidad; (abajo) Aspecto de otro tránsito de los mármoles de la Facies 1 a la Facies 2. Notar como la dolomitización y coloración ocre de la Facies 2 avanza a favor del bandeo de la Facies 1 y genera oquedades subparalelas.

Lámina XVIII. (arriba) Detalle del tránsito de los mármoles blancos de la Facies 1 a los ocre de la Facies 2. Notar el avance a favor del bandeo de la Facies 1 y de discontinuidades, generando oquedades subparalelas. Algunas oquedades están parcialmente rellenas por cristales de calcita blanca de grano grueso; (abajo) Aspecto característico de la Facies de mármoles ocre y cremas, oquerosos, dolomíticos. Sondeo SR-CU-3, entre 94,3 y 97,15 m profundidad.

Lámina XIX. (arriba) Aspecto de la Facies de mármoles tostados y ocre oscuros, muy oquerosos, con abundantes rellenos drúsicos calcíticos (coqueras). Notar como la pérdida de volumen por disolución llega a ser muy importante y la ruptura del testigo por las coqueras. También los tránsitos entre la facies 2 y la 3. Sondeo SR-CU-3, entre 64,5 y 67,90 m profundidad; (abajo) Detalle del tránsito entre a Facies 2 y la 3. Notar la coloración oscura en torno a las cavidades parcialmente rellenas por drusas de calcita y la heterogeneidad de la coloración siguiendo superficies de discontinuidad en la roca. Sondeo SR-CU-3, entre 35,85 y 39,30 m profundidad.

LAMINA XVI



LAMINA XVII



LAMINA XVIII



LAMINA XVIII



LAMINA XIX



12.2.2 Detalles de las microfacies de mármoles

Lámina XX. Facies de mármoles blancos, bandeados, calcíticos. (arriba) Aspecto del agregado granoblástico elongado de cristales de calcita heterogranulares, con escasos granos de cuarzo y micas. Notar la asimetría de la fábrica S-C dúctil. Muestra E-2B; (abajo) Textura granoblástica relativamente equigranular. Notar la elongación de los granos (S1) oblicua a la estratificación (S0). Muestra E-2C.

Lámina XXI. Facies de mármoles blancos, bandeados, calcíticos. (arriba) Textura granoblástica elongada de calcita heterogranular. Notar los cristales de calcita de gran tamaño formando agregados elipsoidales. Muestra E-2D; (abajo) Textura granoblástica inequigranular deformada. Sobre la textura granoblástica se superpone una deformación plástica intracristalina. Notar el doblamiento y kink de los planos de exfoliación de la calcita. Muestra 200-A.

Lámina XXII. Facies de mármoles blancos, bandeados, calcíticos. (arriba) Plano de estratificación entre un nivel rico en terrígenos a la izquierda y otro exclusivamente calcítico a la derecha. La textura es granoblástica de grano muy fino. Muestra E-19; (abajo) Textura granoblástica inequigranular algo deformada. Se observan grandes cristales elipsoidales de calcita pseudomorfos de fósiles, con una débil deformación plástica intracristalina, que se destacan de una matriz de grano muy fino. Notar la irregularidad de los planos de exfoliación de la calcita. Muestra 20-A.

Lámina XXIII. Facies de mármoles blancos, bandeados, calcíticos. (arriba) Interestrato definido por una acumulación de opacos y pequeñas micas, que se destaca del agregado de calcita completamente recrystalizado elongadamente a la S1. Notar el aplastamiento y la trasposición asociada al plegamiento de F1. Muestra 200-B; (abajo) Formación de los planos de esquistosidad S1. Notar el aplastamiento de pseudomorfos de fósiles y su disolución a favor de las láminas de esquistosidad S1 donde se acumulan óxidos y opacos insolubles. La textura es granoblástica inequigranular deformada. Notar el anastomosamiento de las superficies de disolución por presión S1. Muestra 70-A.

Lámina XXIV. Facies de mármoles blancos, bandeados, calcíticos. (arriba) Micropliegues de F1 de la estratificación, definida por niveles ricos en micas blancas y opacos. Notar el fuerte aplastamiento en el intradós del pliegue. Muestra 2-B; (abajo) Pseudomorfos de bioclastos, que dan cuenta de a naturaleza calcarenítica del sedimento carbonatado original. Se observan restos de gasteróodos, briozoos, corales y probablemente foraminíferos. Notar su recrystalización a monocristales de calcita. Muestra E-81.

Lámina XXV. Facies de tránsito a los mármoles ocre y cremas, dolomíticos. (arriba) Tránsito de los mármoles calcíticos, bioclásticos, con abundantes terrígenos y de textura granoblástica de grano fino (teñidos

de color rojo), a los mármoles dolomíticos de textura granoblástica de grano grueso, completamente recrystalizada (sin tinción). Muestra E-58; (abajo) Formación de cristales romboédricos zonados de dolomita a favor de superficies subparalelas (estratificación o planos de discontinuidad?), sobre el agregado granoblástico de cristales de calcita (color rojo). Muestra E-77.

Lámina XXVI. Facies de tránsito a los mármoles ocre y cremas, dolomíticos. (arriba) Pseudomorfos dolomíticos de fragmentos de fósiles (conchas de bivalvos, gasterópodos, etc.), sobre las que se han desarrollado cavidades elongadas, que han sido posteriormente rellenas por calcita (teñida de rojo). Muestra E-26; (abajo) Pseudomorfos dolomíticos de bivalvos y otros fósiles, destacados de una matriz de grano fino, con micas, rica en opacos y con cristales de calcita de tamaño muy fino (color rojo). Muestra E-26.

Lámina XXVII. Facies de mármoles ocre y cremas, dolomíticos. (arriba) Agregado granoblástico de dolomita heterogranular subidio-alotriomorfa. Notar la delgada intercalación de cristales de cuarzo, resto heredado de la estratificación. Muestra E-14; (abajo) Agregado heterogranular de dolomita subidiomorfa. Muestra E-70B.

Lámina XXVIII. Facies de mármoles ocre y cremas, dolomíticos. (arriba) Relleno de calcita (teñida de rojo) de una oquedad entre el agregado granoblástico de dolomita, genéticamente relacionado. Notar los romboedros de dolomita. Muestra E-12; (abajo) Agregado dolomítico idiomorfo-subidiomorfo con oquedades rellenas de calcita. Notar la fina intercalación de cristales de cuarzo y agregados de opacos definitiva de la estratificación. Muestra E-86.

Lámina XXIX. Facies de mármoles ocre y cremas, dolomíticos. (arriba) Relleno de calcita (teñida de rojo) de una oquedad entre el agregado dolomítico. El relleno de calcita es posterior al proceso de dolomitización. Muestra E-6B; (abajo) Agregado dolomítico alotriomorfo-subidiomorfo de grano fino con pequeñas oquedades parcialmente rellenas de un tapiz calcita. Muestra E-74.

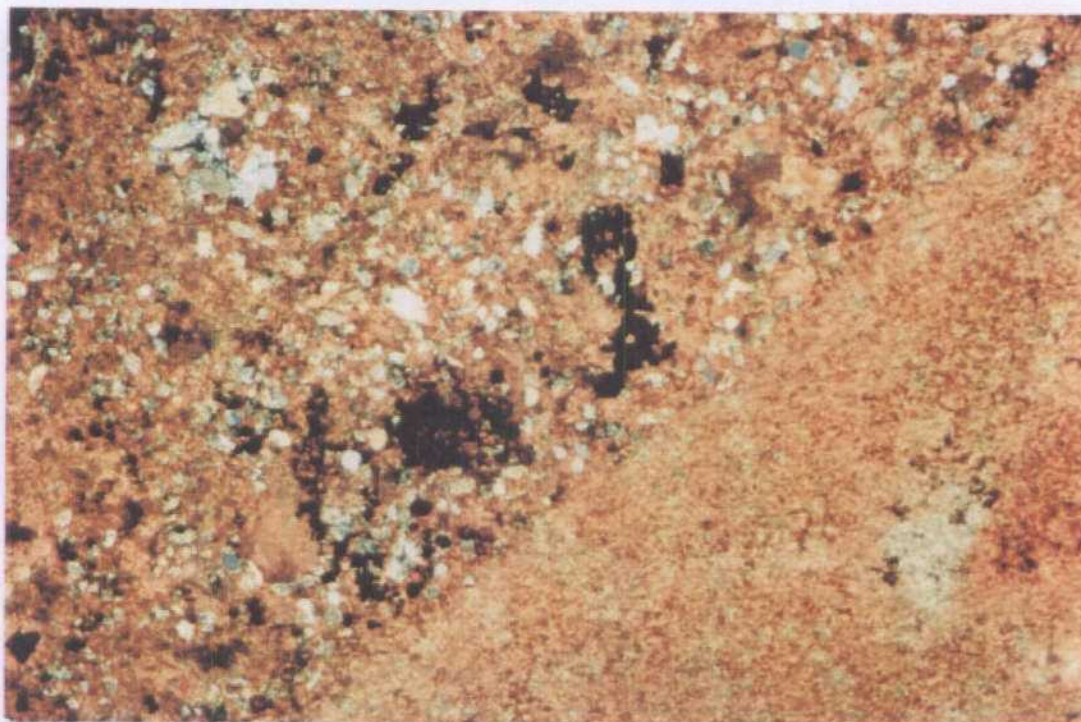
LAMINA XX



LAMINA XXI



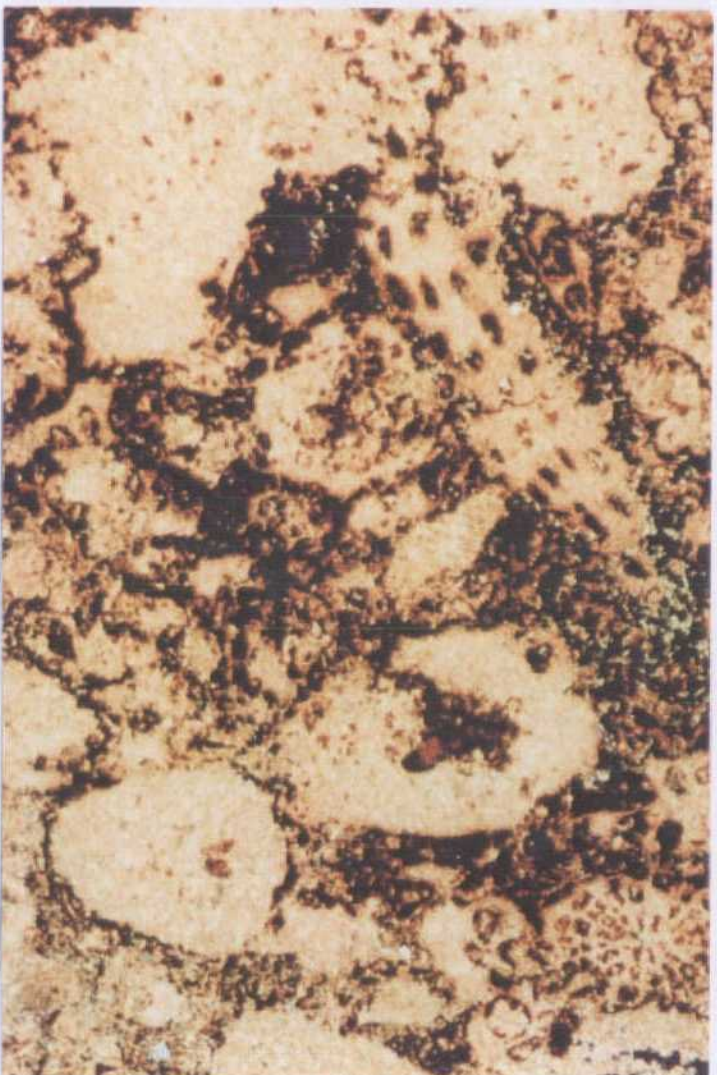
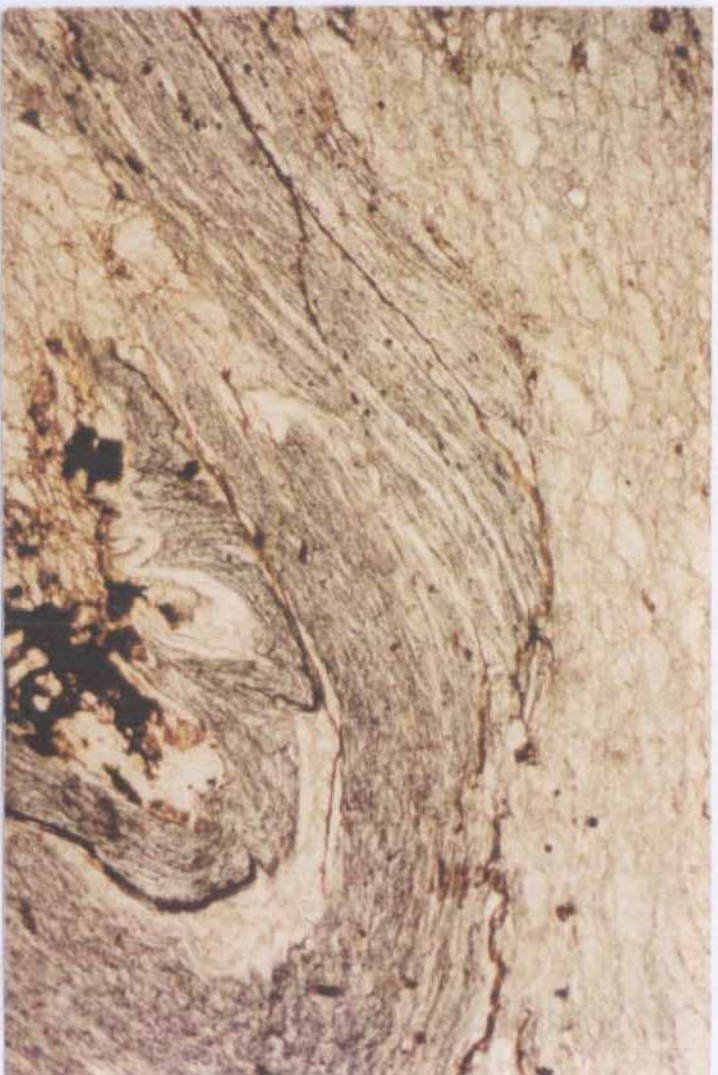
LAMINA XXII



LAMINA XXIII



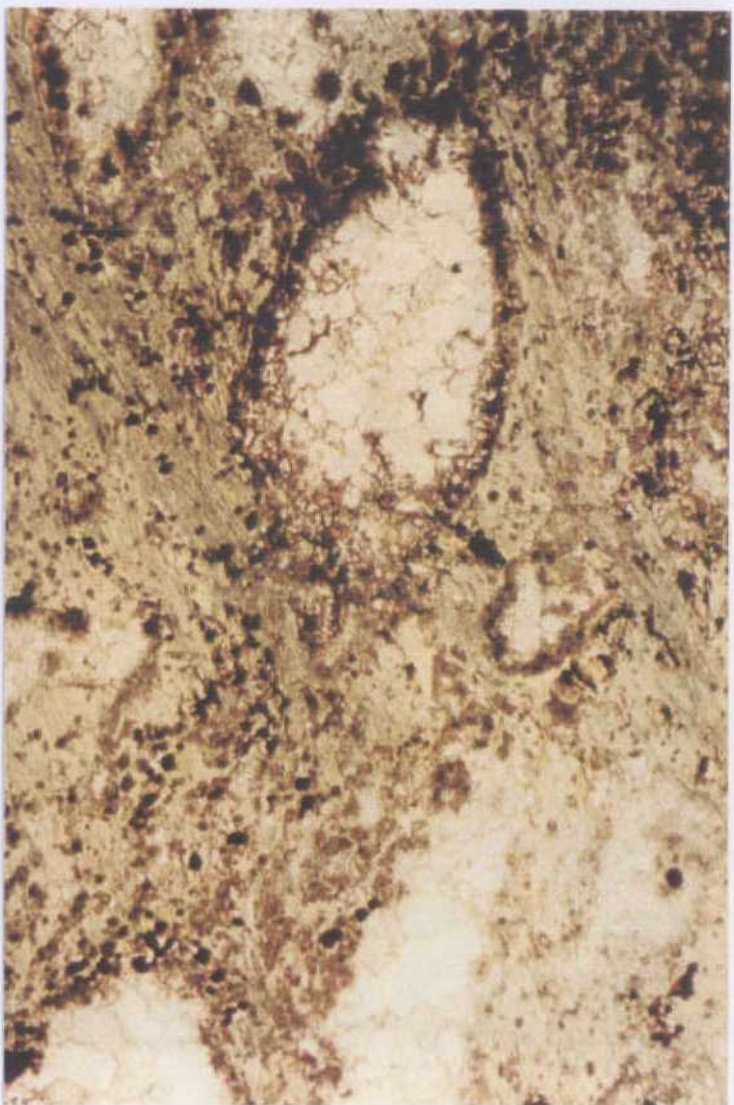
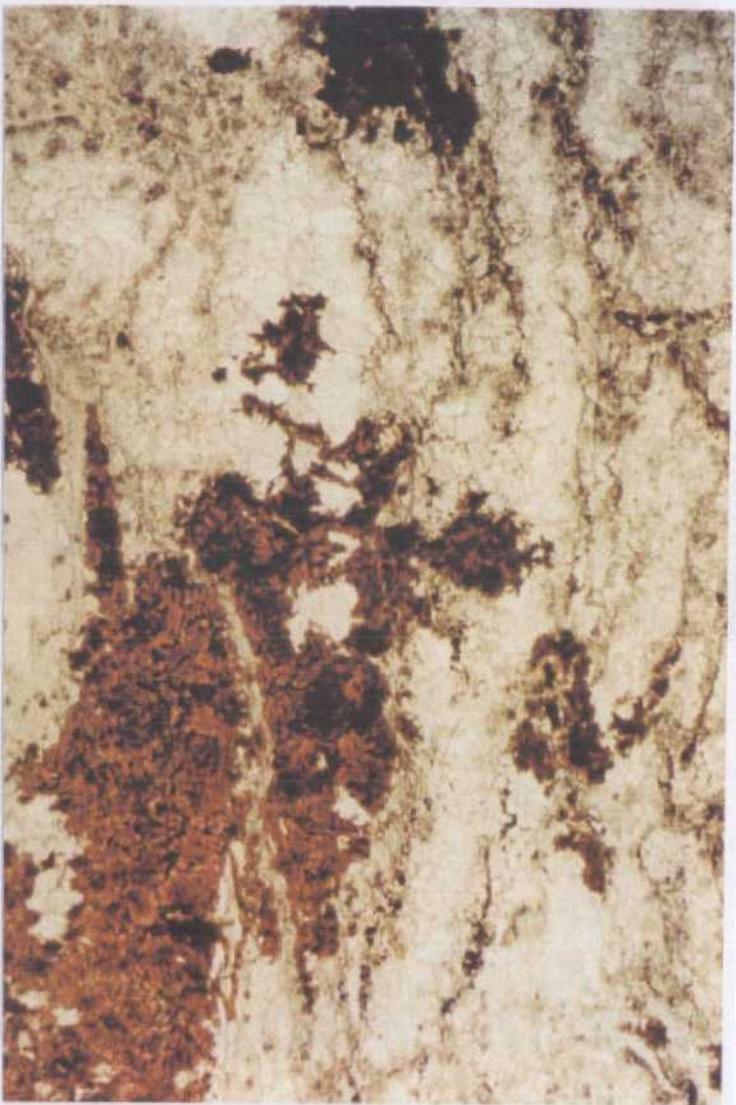
LAMINA XXIV



LAMINA XXV



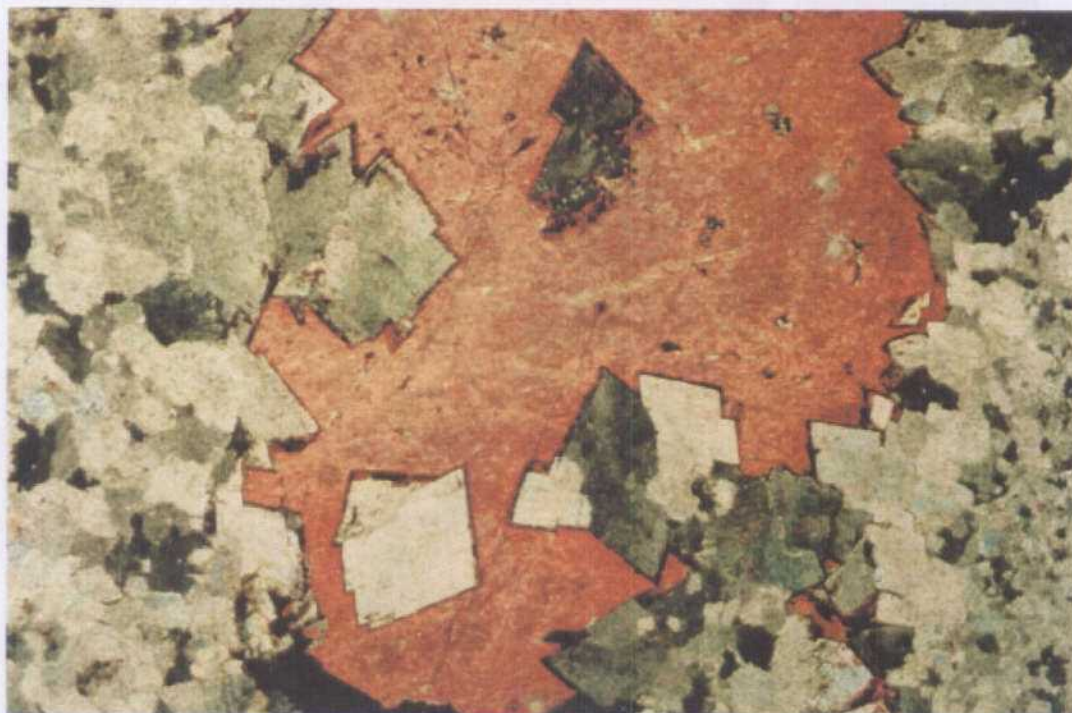
LAMINA XXVI



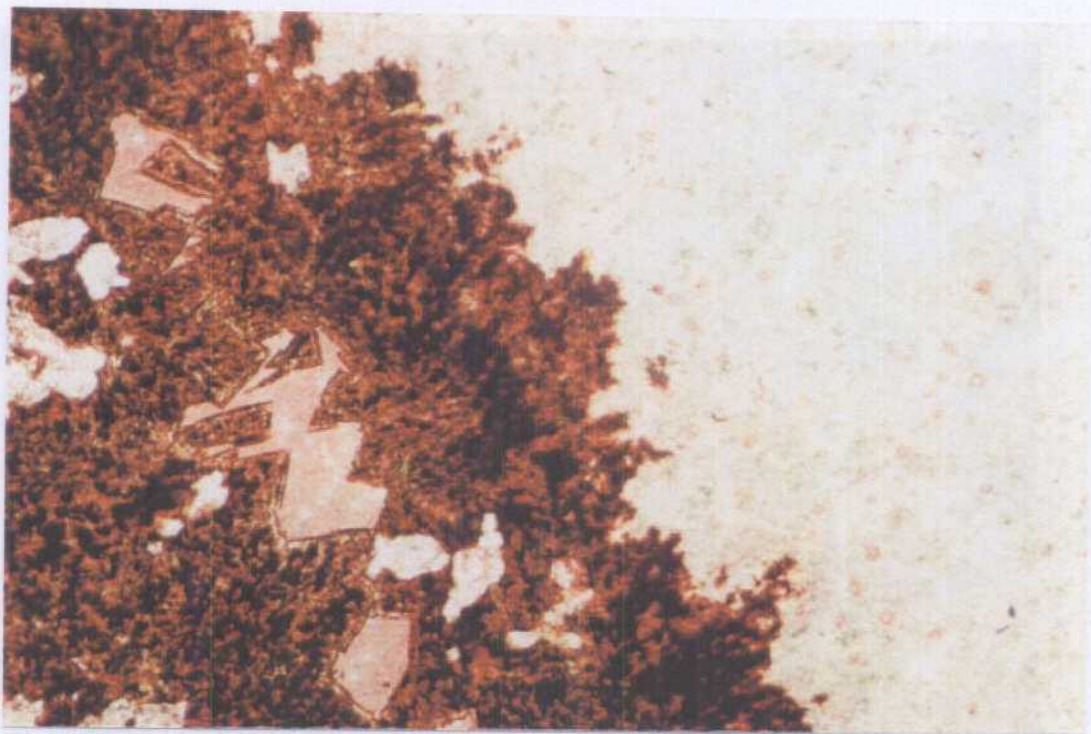
LAMINA XXVII



LAMINA XXVIII



LAMINA XIX



ANEXO 12.6. PLAQUETAS PULIDAS



Muestra E12L antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E12L después del ensayo de choque térmico.



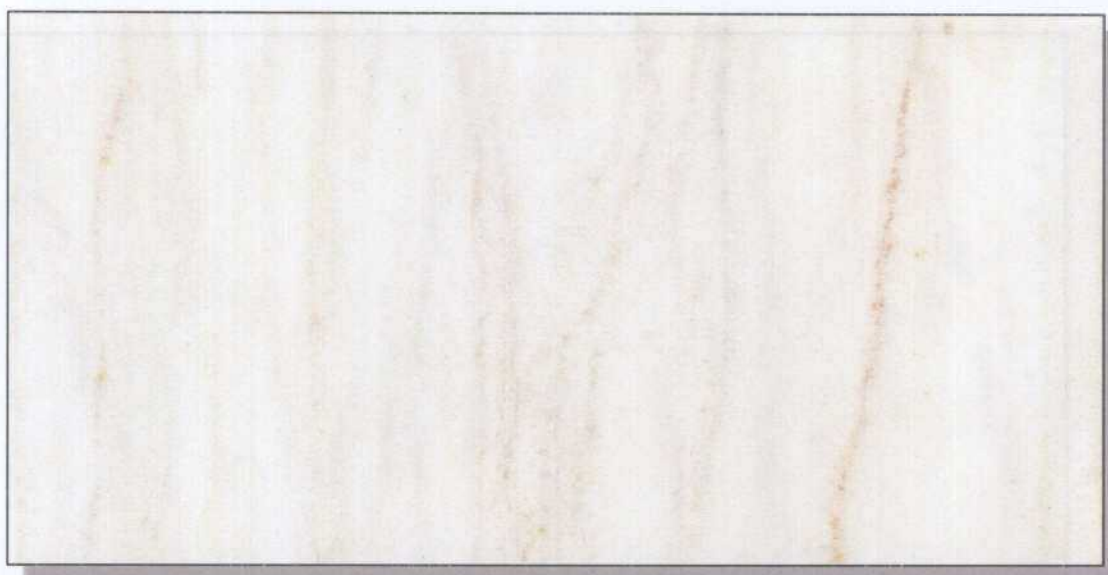
Muestra E2CL antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E2CL después del ensayo de choque térmico.



Muestra E2DL antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E2DL después del ensayo de choque térmico.



Muestra E70CL antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E70CL después del ensayo de choque térmico.



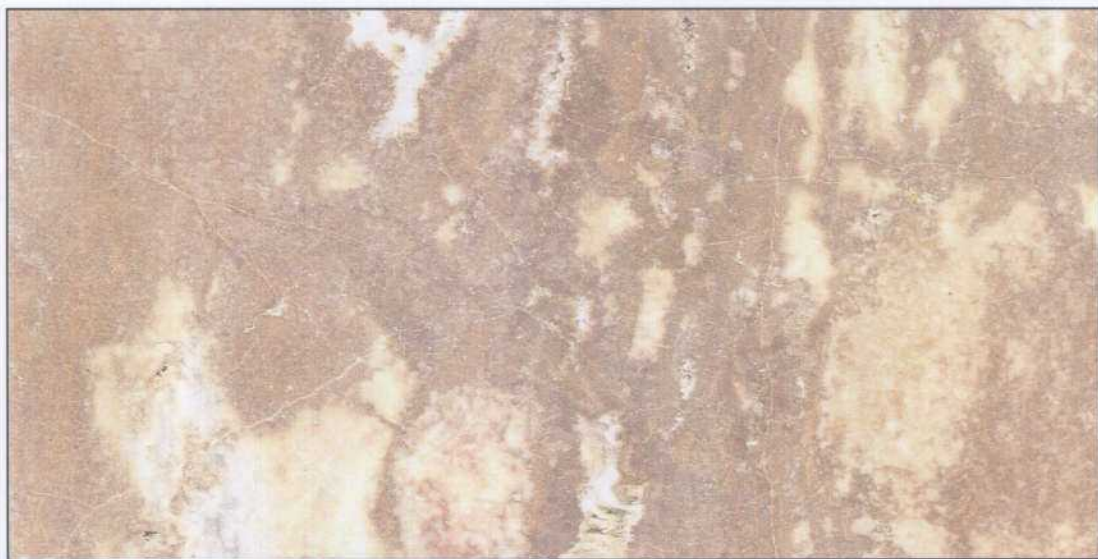
Muestra E74 antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E74 después del ensayo de choque térmico.



Muestra E76L antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E76L después del ensayo de choque térmico.



Muestra E77L antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E77L después del ensayo de choque térmico.



Muestra E7L antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E7L después del ensayo de choque térmico.



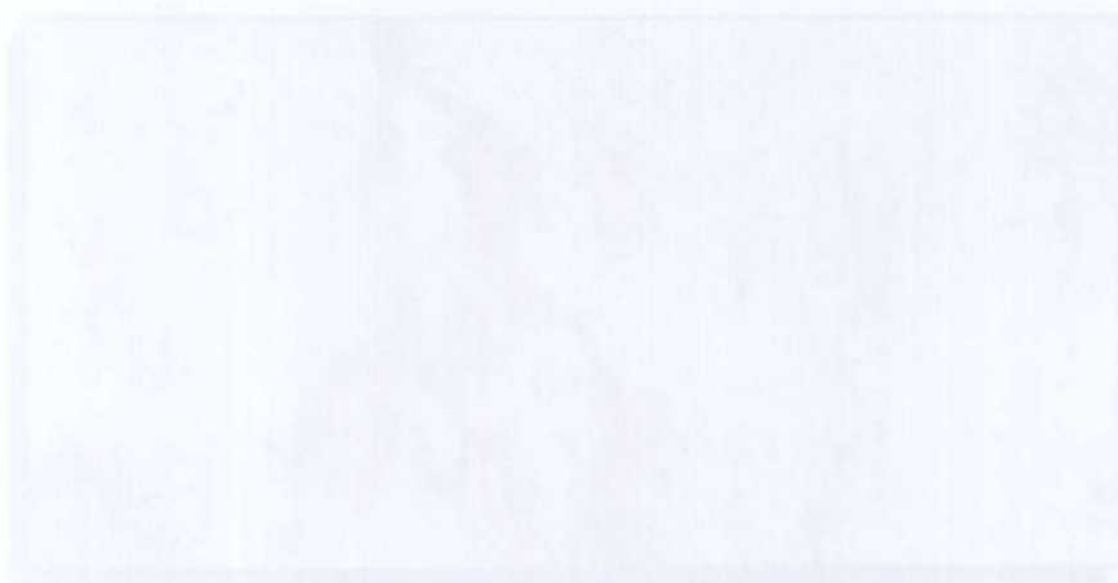
Muestra E83AL antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E83AL después del ensayo de choque térmico.



Muestra E83BL antes del ensayo de choque térmico.



Muestra E83BL después del ensayo de choque térmico.



Muestra 1 del Sondeo 3 antes del ensayo de choque térmico.



Muestra 1 del Sondeo 3 después del ensayo de choque térmico.



Muestra 2 del Sondeo 3 antes del ensayo de choque térmico.



Muestra 2 del Sondeo 3 después del ensayo de choque térmico.



Muestra 3 del Sondeo 3 antes del ensayo de choque térmico.



Muestra 3 del Sondeo 3 después del ensayo de choque térmico.



Muestra 1 del Sondeo 2 antes de los ensayos.



Muestra 1 del Sondeo 2 después del ensayo de choque térmico.



Muestra 1 del Sondeo 2 después del ensayo de heladicidad.



Muestra 2 del Sondeo 2 antes de los ensayos.



Muestra 2 del Sondeo 2 después del ensayo de choque térmico.



Muestra 2 del Sondeo 2 después del ensayo de heladicidad.



Muestra 1 del Sondeo 4 antes de los ensayos.



Muestra 1 del Sondeo 4 después del ensayo de choque térmico.



Muestra 1 del Sondeo 4 después del ensayo de heladicidad.



Amarillo Macael



Canjorro