

ANTONIO ARRIBAS MORENO
VICENTE POLO DÍEZ
EMILIANO JIMÉNEZ FUENTES

**LA «ENFERMEDAD DE LA PIEDRA»
EN LA ARENISCA DE VILLAMAYOR
DIAGNÓSTICO, TRATAMIENTO y CONSERVACION**

Separata del libro:

“Estudio sobre las alteraciones y tratamiento de la Piedra de Villamayor”

Editado por la Caja de Ahorros y M.P. de Salamanca

ANTONIO ARRIBAS MORENO
VICENTE POLO DÍEZ
EMILIANO JIMÉNEZ FUENTES

LA «ENFERMEDAD DE LA PIEDRA»
EN LA ARENISCA DE VILLAMAYOR
DIAGNÓSTICO, TRATAMIENTO y CONSERVACION

INSTITUTO DE GEOLOGIA APLICADA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINERALOGIA
INSTITUTO F.P. «RODRIGUEZ FABRES»
UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

El equipo de investigadores que ha realizado este trabajo desea expresar su más sincero agradecimiento a la Caja de Ahorros y M.P. de Salamanca por su generosa ayuda.

Este trabajo ha sido dirigido por *D. Antonio Arribas Moreno*, Catedrático de Mineralogía de la U. de Salamanca y Director del I.U.G.A. y realizado por *D. Vicente Polo Díez*, Profesor de Física y Química del Inst. F.P. Rodríguez Fabrés y por *D. Emiliano Jiménez Fuentes*, Profesor de Geología y Secretario del I.U.G.A.

También han colaborado los siguientes miembros del I.U.G.A. en la elaboración de diversos apartados:

- D. Severino Rodríguez Pérez (Lic. C. Químicas).
- D^a Rosa Reguilón Bragado (Lic. C. Geológicas).
- D^a María Luisa Cembranos Pérez (Dra. C. Químicas).
- D. Andrés Isaac García Luis (Lic. C. Geológicas).
- D. Agustín Martín Izard (Lic. C. Geológicas).
- D. José Mangas Viñuela (Lic. C. Geológicas).

La parte experimental se efectuó en los laboratorios del Departamento de Geología y Mineralogía de la Universidad de Salamanca y del Instituto de F.P. Rodríguez Fabrés.

(Lab.: D.I. Romero, D.E. Romero, D.A. Sánchez-Boyero, D.B. Díez-Canut, D.T. Blanco, y D^a G. Nieves Aldrey).

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCION..... | 15 |
| 2. GEOLOGIA GENERAL DEL BORDE SW y W DE LA CUENCA DEL DUERO..... | 19 |
| 2.1. PALEOGENO..... | 21 |
| 2.2. NEOGENO..... | 30 |
| 2.2.1. Mioceno..... | 32 |
| 2.2.2. Plio-Cuaternario..... | 34 |
| 2.3. TECTONICA GENERAL..... | 34 |
| 3. CARACTERES GEOLOGICOS DEL AREA DE LAS ARENISCAS DE VILLAMAYOR..... | 37 |
| 3.1. PRELUTECIENSE..... | 40 |
| 3.2. EOCENO MEDIO Y SUPERIOR..... | 40 |
| 3.2.1. Zona de Villamayor..... | 40 |
| 3.2.2. Zona Zorita - Florida de Liébana..... | 43 |
| 3.2.3. Zona Zorita - Almenara de Tormes..... | 43 |
| 3.2.4. Zona de Zarapicos - Almenara de Tormes..... | 46 |
| 3.2.5. Zona Cabrerizos - Aldearrubia - Babilafuente..... | 46 |
| 3.2.5.1. Tectónica local..... | 47 |
| 3.2.5.2. Areniscas de Cabrerizos y de Aldearrubia..... | 47 |
| 3.3. MIOCENO..... | 50 |
| 3.3.1. Conglomerado basal mioceno..... | 50 |
| 3.3.2. Series Rojas..... | 51 |
| 3.3.3. Transición de las Series Rojas..... | 51 |
| 3.3.4. Las facies de Garcihernández..... | 52 |
| 3.4. CUATERNARIO..... | 53 |
| 4. TOMA DE MUESTRAS..... | 55 |
| 4.1. CANTERAS EN EXPLOTACION..... | 57 |
| 4.2. OTRAS CANTERAS Y CALICATAS EN VILLAMAYOR..... | 61 |
| 4.3. CANTERAS DE SANTIBAÑEZ DEL RIO..... | 61 |
| 4.4. MUESTRAS DE LA ORILLA IZQUIERDA DEL TORMES AGUAS BAJO DE SALAMANCA..... | 61 |
| 4.4.1. Doñinos y Carrascal de Barregas..... | 61 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.2. Florida de Liébana y Villaselva..... | 62 |
| 4.4.3. Pino de Tormes y Zaratán..... | 62 |
| 4.5. ORILLA DERECHA DEL TORMES, AGUAS ABAJO DE SALAMANCA..... | 62 |
| 4.5.1. Zorita..... | 62 |
| 4.5.2. Valverdón..... | 62 |
| 4.5.3. Almenara de Tormes..... | 63 |
| 4.6. AGUAS ARRIBA DE SALAMANCA..... | 63 |
| 4.6.1. Cabrerizos..... | 63 |
| 4.6.2. Teso de la Flecha..... | 63 |
| 4.6.3. Aldealengua..... | 63 |
| 4.6.4. Aldearrubia..... | 65 |
| 4.6.5. Babilafuente..... | 65 |
| 4.6.6. San Morales..... | 65 |
| 4.6.7. Cabezabellosa de La Calzada..... | 67 |
| 4.6.8. Pitiegua..... | 67 |
| 4.6.9. Villoria..... | 67 |
| 4.6.10. Gomecello..... | 67 |
| 5. ESTUDIOS ANTERIORES SOBRE LAS ARENISCAS DE VILLAMAYOR..... | 69 |
| 5.1. ESTUDIOS QUIMICOS DE PRADA & DE PEDRO..... | 71 |
| 5.2. ESTUDIOS MINERALOGICOS..... | 72 |
| 5.3. ESTUDIO GEOLOGICO DE BARROSO..... | 72 |
| 6. ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS..... | 75 |
| 6.1. ANALISIS QUIMICO DE ELEMENTOS MAYORITARIOS.... | 77 |
| 6.2. CONTENIDO EN CARBONATOS..... | 79 |
| 6.3. GRANULOMETRIA..... | 79 |
| 6.3.1. Tratamiento..... | 79 |
| 6.3.2. Análisis estadístico..... | 80 |
| 6.4. DIFRACCION DE RAYOS X..... | 92 |
| 6.5. PETROGRAFIA..... | 94 |
| 6.6. MINERALES MINORITARIOS..... | 100 |
| 6.7. POROSIDAD..... | 103 |
| 6.8. RESISTENCIA A LA COMPRESION..... | 106 |
| 6.9. RELACION GRANULOMETRIA-POROSIDAD-CEMENTACION..... | 111 |
| 6.9.1. Relación Porosidad-Cementación..... | 112 |
| 6.9.2. Relación Porosidad-Mediana..... | 116 |
| 6.9.3. Relación Porosidad-Shorting..... | 116 |
| 6.9.4. Relación Porosidad-Granulometría y Porosidad-Cementación-Granulometría..... | 116 |

| | |
|---|-----|
| 6.10. ESTABILIDAD DE LOS COMPONENTES EN GRANO FRENTE A LA ACCION DE LOS AGENTES ATMOSFERICOS | 122 |
| 6.10.1. Procedimiento | 123 |
| 6.10.2. Resultados obtenidos..... | 123 |
| 7. DEFINICION TECNICA DE LAS ARENISCAS DE VILLAMAYOR | 125 |
| 7.1. MARCO GEOGRAFICO..... | 127 |
| 7.2. MARCO GEOLOGICO..... | 127 |
| 7.3. DEFINICION PETROGRAFICA..... | 128 |
| 7.4. DEFINICION MINERALOGICA..... | 128 |
| 7.5. DEFINICION GRANULOMETRICA..... | 129 |
| 7.6. CARACTERISTICAS FISICAS..... | 129 |
| 7.7. FACTORES DE EXPLOTACION..... | 130 |
| 8. LA «ENFERMEDAD DE LA PIEDRA»..... | 131 |
| 8.1. LA «ENFERMEDAD DE LA PIEDRA» EN LA ARENISCA DE VILLAMAYOR..... | 134 |
| 8.2. PREVENCION DE LA «ENFERMEDAD»..... | 135 |
| 8.3. TRATAMIENTO..... | 136 |
| 9. TRATAMIENTO PREVENTIVO Y RESTAURACION DE LA PIEDRA ARENISCA..... | 137 |
| 9.1. PREPARACION DE LAS MUESTRAS..... | 139 |
| 9.2. CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS A EMPLEAR... | 139 |
| 9.3. COMPORTAMIENTO DE LA PIEDRA ARENISCA CON Y SIN TRATAMIENTO CON RESINAS Y SILICONAS..... | 142 |
| 9.4. ENSAYOS FISICO-QUIMICOS..... | 146 |
| 9.4.1. Introducción | 146 |
| 9.4.2. Absorción sin envejecimiento previo..... | 146 |
| 9.4.3. Pruebas de envejecimiento..... | 150 |
| 9.4.4. Absorción de agua con envejecimiento..... | 150 |
| 9.4.5. Preparación de morteros y su aplicación..... | 150 |
| 9.4.6. Penetración de los aditivos..... | 154 |
| 9.5. CONCLUSIONES..... | 155 |
| 10. CONCLUSIONES FINALES..... | 157 |
| 11. BIBLIOGRAFIA | 161 |
| ADDENDA..... | 167 |
| Agradecimiento | 169 |

1. INTRODUCCION

Uno de los tantos motivos de orgullo de las gentes de Salamanca es la belleza de sus monumentos arquitectónicos, conseguida por el labrado y repujado de la piedra arenisca con que se construyeron. Es tanta la filigrana que admite su laboreo que dio origen a una denominación especial dentro del estilo gótico tardío: el *plateresco*, aludiendo precisamente a la coincidencia en representaciones plásticas con esta artesanía.

La piedra de sillería de los monumentos salmantinos parece que se enciende y llamea cuando el sol crepuscular las ilumina. Ha sido y es objeto renaciente de admiración de cuantos tenemos la dicha de contemplar tan vivificante espectáculo, cantado por los poetas.

El deterioro ocasionado en algunas catedrales (Burgos, León, etc.) por la meteorización atmosférica, agravada en los últimos decenios por la contaminación urbana, ha concienciado a la opinión pública para salvaguardar estos tesoros culturales, promoviendo cuantos estudios son necesarios para combatir su desmoronamiento progresivo: lo que se ha dado en llamar la «enfermedad de la piedra».

La piedra franca salmantina se sigue empleando hoy en las fachadas de los edificios que se construyen en la ciudad. Se obtiene de las canteras de Villamayor, población donde las explotaciones se han sucedido ininterrumpidamente desde tiempo inmemorial, dando nombre genérico a las areniscas similares de otras localidades, incluso de otras provincias.

Efectivamente, las exploraciones geológicas que desde hace 18 años se vienen realizando por el Departamento de Geología y Mineralogía de la Universidad de Salamanca han evidenciado la presencia de múltiples canteras y calicatas diseminadas por toda la Armuña, puntos de la Cuenca de Ciudad Rodrigo, Tierra del Vino y también en sitios de las provincias de Avila y Valladolid. Ello llevó a diferenciar distintas calidades para usos industriales y a relacionar las mismas con la formación geológica en que se encuentran.

Ello ha permitido saber con aproximación la procedencia geográfica de los materiales empleados antiguamente en los monumentos salmantinos, dada la correlación entre propiedades organolépticas visuales y la edad de la roca y/o situación geográfica. Una simple mirada a los muros de los edificios viejos evidencia en distinto grado de alteración, según sea su tacto y apariencia. En términos físicos era sugestivo conocer a que se deben esas diferencias.

El plan de trabajo seguido para la realización de esta memoria ha sido:

1. Ubicación de la *arenisca de Villamayor* en su contexto geológico.
2. Definición de sus características con vistas a una demarcación de áreas favorables para futuras explotaciones.

3. Definición de los componentes químicos y mineralógicos. De estos, en sentido mayoritario y también de los minerales accesorios y de la composición de su cemento. Determinaciones petrográficas y granulométricas.
4. Características físicas, especialmente de la porosidad y resistencia a la compresión; el análisis se puede completar con pruebas de resistencia a los cambios de temperatura.
5. Definición de la «enfermedad de la piedra» en la arenisca de Villamayor, solo posible con los datos suministrados previamente.
6. Tratamiento químico con resinas y siliconas. Procesos de laboratorio para conseguir una mejor eficacia.
7. Recomendaciones de explotaciones nuevas, calidad de la piedra a emplear y tratamiento de la ya empleada.

**2. GEOLOGIA GENERAL DEL BORDE SW
Y W DE LA CUENCA DEL DUERO**

2.1. PALEOGENO.

Los sucesivos descubrimientos paleontológicos de VILANOVA (1873), GIL Y MAESTRE (1880), PUIG Y LARRAZ (1883), MIQUEL (1906) y ROMAN (1922) definieron el Paleógeno Continental en las Provincias de Zamora y Salamanca. En tiempos más recientes se ha ampliado su conocimiento a las de Avila y Segovia en donde, además de retazos dispersos pinzados entre fallas, parte de los materiales detríticos incluidos en el mapa de AERO-SERVICE (1967) como «Mioceno Indiferenciado» han de ser redefinidos como paleógenos, en virtud de la fauna que se ha descubierto en ellos.

Por los bordes N y E, no hay certeza sobre la existencia del Paleógeno Continental, cuya posibilidad no se puede descartar.

Por lo que respecta a Salamanca y Zamora, su extensión en el borde de la cuenca, en un frente de 100 km y una amplitud de unos 50, queda delimitada y condicionada por su apoyo discordante sobre el zócalo —que puede efectuarse por superposición o por fractura— o por su relación con los materiales miocénicos, bajo los que se sumerge o contacta por falla.

El origen de las cuencas de sedimentación paleógenas fue la removilización de las antiguas fracturas hercínicas, formadora de un relieve sucesivamente renovado durante todo el Terciario. De gran importancia es la falla de Alba-Villoria, del rumbo NNE, cuyo trazado se ha podido deducir a lo largo de decenas de kms, delimitando por el E el contacto entre el Paleógeno (ó el zócalo) con el Mioceno. Los sucesivos rejuegos tectónicos han compartimentado en la región la distribución de las unidades estratigráficas, especialmente la más antigua de ellas: el Preluteciense.

En su extremo suroccidental la gran Cuenca Terciaria se amplia por una alargada apófisis en la fosa de Ciudad Rodrigo, llegando a penetrar en Portugal (Fig. 1).

Se han sugerido dos posibilidades de salida del régimen hidrográfico durante el Terciario, bien por el NE, por el llamado estrecho de Burgos hacia la Cuenca del Ebro (ROYO GOMEZ 1928; JIMENEZ 1974), o bien por el SW, por el corredor de Ciudad Rodrigo (ANTUNES 1975).

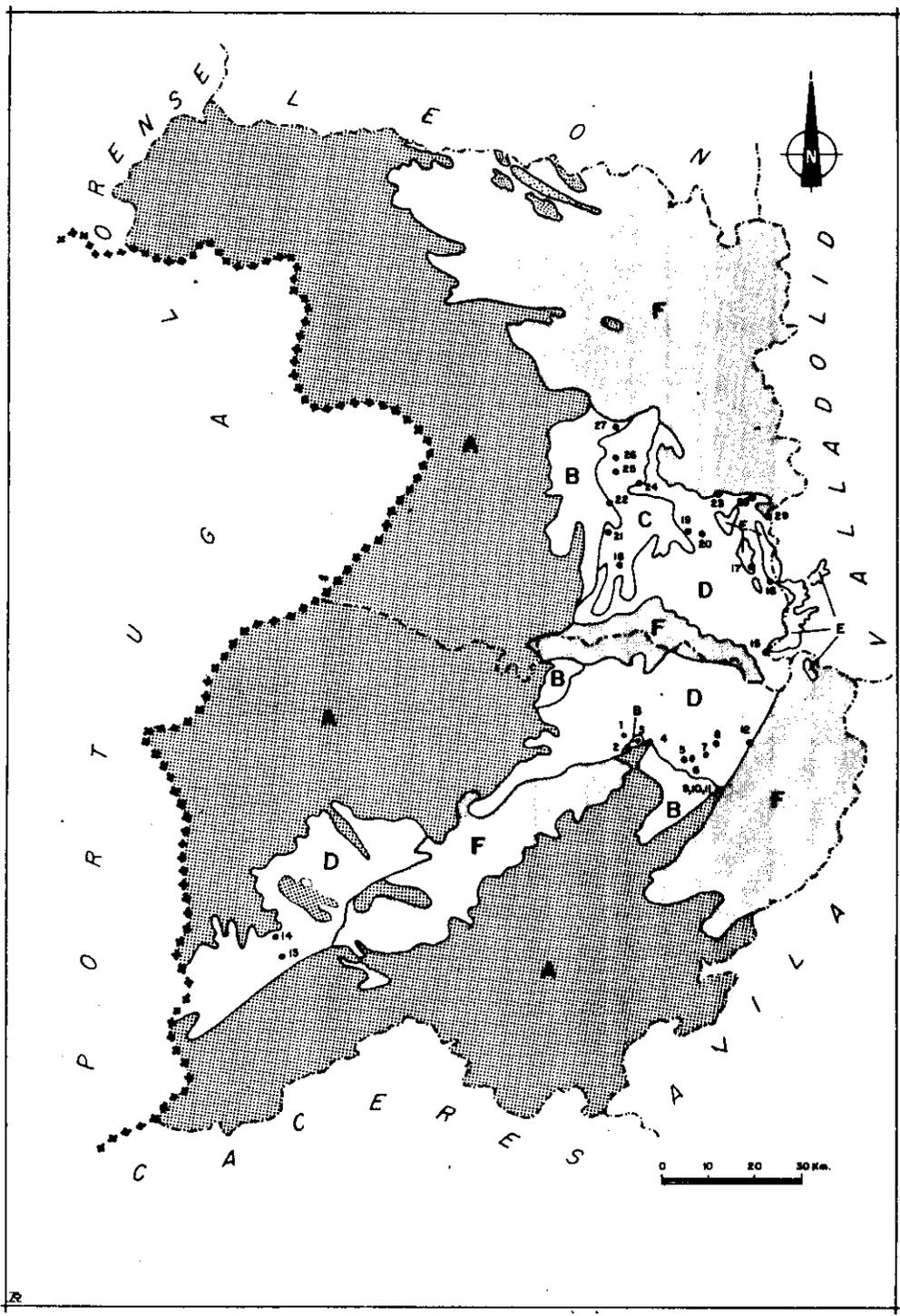
La Unidad Paleógena inferior: El Preluteciense.

El extremo marginal de la Cuenca Terciaria, tanto por el W. como por el S, está constituido por una masa de sedimentos netamente diferentes del resto del Paleógeno, por lo cual son considerados aparte.

Fig. 1. Esquema de situación del Paleógeno en las provincias de Zamora y Salamanca.

- A: Zócalo
- B: Preluteciense (Preeoceno)
- C: Unidad inferior eocena
- D: Eoceno - Oligoceno
- E: Series de transición Oligoceno-Mioceno («de Valdefinjas»)
- F: Mioceno

Puntos citados: 1. Villamayor, 2. Santibáñez, 3. Peña del Hierro, 4. Salamanca, 5. Cabrerizos, 6. Teso de la Flecha, 7. San Morales, 8. Aldearrubia, 9. Alba, 10. Amatos, 11. Río Almar, 12. Villoria, 13. Ciudad Rodrigo, 14. Tejoneras, 15. Molino del Pico, 16. Villabuena del Punte, 17. Valdefinjas, 18. Corrales, 19. Gema, 20. Sanzoles, 21. Entrala, 22. Zamora, 23. Geroma, 24. Torres del Carrizal, 25. Valcabado, 26. Cubillos, 27. Montemarta, 28. Toro, 29. Castronuño.



Las razones de su diferencia estriban en su mayor tectonización, patentizada por alineaciones de fracturas y pliegues monoclinales de rumbo dominante NNE; en la frecuente cementación silicificada, y en la ausencia, hasta ahora total, de fósiles.

Al conjunto se le llamó PRELUTECIENSE (JIMENEZ 1970) en razón de su separación manifiesta con respecto al Luteciense de Corrales (Zamora). Posteriormente se ha completado el conocimiento de las series inferiores a éste, con fauna del Eoceno Inferior y/o Luteciense Inferior (JIMENEZ 1977), por lo que su denominación quizás debería cambiarse por la de PREEOCENO. No es correcta la de Paleoceno (JIMENEZ 1977), dado que su base puede infrapasarse los límites del Terciario.

Espacialmente se pueden distinguir varias facies, tanto en Zamora como en Salamanca (JIMENEZ 1973, 1975, CORROCHANO 1977). En ambas provincias una costra ferralítica, de origen edáfico, a veces conglomerática, suele marcar la base de la Unidad y del Terciario. Su edad podría ser mesozoica o paleocena, sin ninguna prueba concluyente a favor de una u otra. La potencia no llega a los 10 m.

Sobre ella se asientan varias facies detríticas (Fig. 2) con frecuente cementación silíceo que da una enorme compacidad, formadora de fuertes relieves diferenciales.

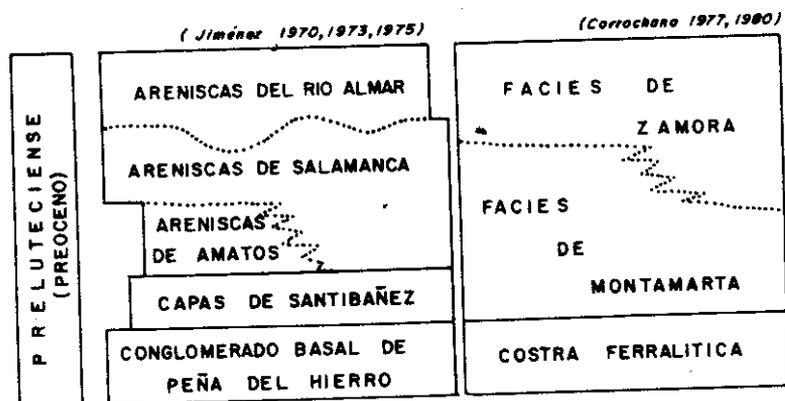


Fig. 2.- Distribución esquemática de facies en el Preluteciense de la Cuenca del Duero.

El conjunto de todas estas facies «ha sido depositado por corrientes fluviales de tipo trenzado. La mayoría de las estructuras sedimentarias evidencian canales que se han rellenado por cargas de fondo y se han asociado a abanicos aluviales con una relación anchura/profundidad muy elevada y sinuosidad casi nula. Los depósitos fangosos corresponderían a épocas de inundación» (CORROCHANO 1980).

El clima en que se depositaron estos materiales se deduce tropical, hiperhúmedo y cálido (JIMENEZ 1974). Su potencia visible alcanza los 50 m.

Eoceno-Oligoceno: Sucesión de faunas.

Habiendo dejado aparte el Preluteciense, el resto del Paleógeno salmantino-zamorano presenta múltiples dificultades a la hora de fijar su edad, nacidas de las distintas interpretaciones de facies e isocronas, de la tectonización, e inclusive de las recientes propuestas en el campo de la Paleontología de Vertebrados, tendentes a desmitificar la validez de las faunas características a nivel macroregional.

Por ello la única escala cronoestratigráfica válida debe ser la realizada en base a los yacimientos paleontológicos locales (Fig. 3), a la que se ha intentado

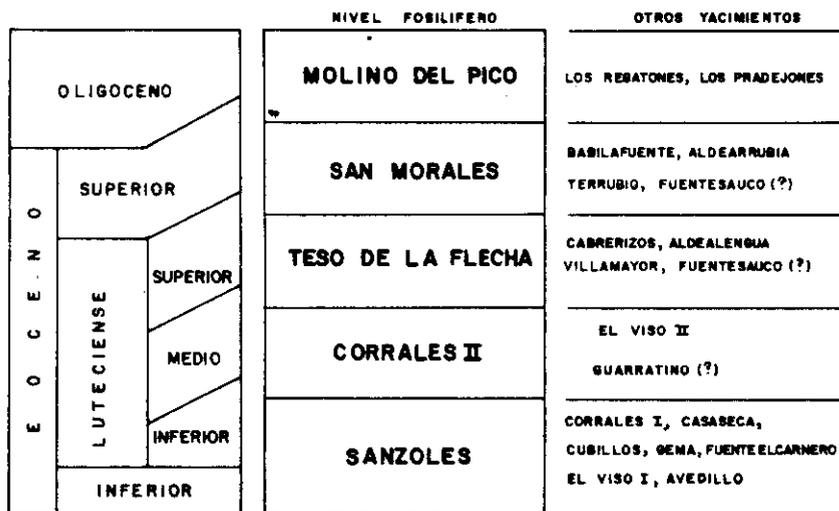


Fig. 3.- Niveles faunísticos paleógenos de la Cuenca del Duero (según Jiménez, 1982)

adaptar la escala cronológica general. Se puede agrupar en cinco niveles: Sanzoles, Corrales II, Teso de la Flecha, San Morales y Molino del Pico.

En todos ellos se encuentran restos de Quelonios. Los *Pelomedúsidos* («*Neochelys*» *zamorensis*, «*Neochelys*» *salmanticensis*, «*Podocnemis*» *carbajosai*, *Durochelys arribasi*), quelonios tropicales, siempre presentes, muestran una evolución, característica en cada nivel. Los *Aleoquélicos* (representados por *Allaechelys casasecai*), potentes nadadores, y los *Trioncicos*, son exclusivos del primero y último niveles respectivamente.

Los Crocódileos son también omnipresentes, con varios géneros, pero con ellos no se ha podido hacer aún ninguna datación característica.

Los mamíferos están representados por *Chasmothorium minimum* y *Lophiodon isselense* en Corrales y por *Palaeotherium magnum*, *P. minus* y *Xiphodon gracile* en San Morales.

Destaca la abundancia en restos de peces en el nivel Sanzoles.

Toda esta fauna, especialmente los quelonios y cocodrilos, indican un clima cálido —nunca inferior a 10 °C— y húmedo, en un medio fluvial. Los *Aleoquélidos* del nivel Sanzoles, corrientes fluviales poderosas; su desaparición puede coincidir con un cambio a condiciones menos pluviosas. La aparición de los *Trionícidos* en el nivel Molino del Pico parece corresponder a un clima con tendencia a la aridez que, ya antes del Mioceno, debió ser fatal para los *Pelomedúsidos*.

Estratigrafía.

La abundancia de yacimientos del nivel Sanzoles y una distintiva litología han permitido separar netamente las series más inferiores del Eoceno zamorano —la Unidad Media de A. CORROCHANO (1980)— con una diferenciación en cuatro facies (Fig. 4): de Entrala, de Valcabado, de Cubillos y de Torres del Carrizal, caracterizadas por el dominio de limolitas (con intercalaciones de cuerpos arenosos), margas arenosas (id.id.), calizas y margas lacustres, y areniscas respectivamente. Todas ellas corresponden a sistemas de abanicos aluviales con distintas direcciones de aporte. La potencia global es de unos 50 m. visibles.

Todos los indicios apuntan a que en Salamanca, donde aún no han sido reconocidos paleontológicamente los niveles Sanzoles ni Corrales II, su equivalente cronoestratigráfico se encuentra al W de Villamayor, entre esta población famosa por sus canteras de arenisca y el borde occidental de la cuenca.

El resto de las series claramente paleógenas muestra una litología monótona con predominio de areniscas con gravas, limos y, a veces, costras carbonatadas (Fig. 5). En Salamanca, dos unidades conexas y superpuestas, las «areniscas de Aldearrubia» —estas últimas con fuerte tonalidad rojiza— han sido datadas localmente (niveles del Teso de la Flecha y de San Morales, respectivamente). Por encima de la última y muy similar a ella, en los confines con Valladolid, la parte inferior de la serie levantada en el Molino del Pico demuestra faunísticamente que se ha salido insensiblemente de la transición Eoceno-Oligoceno.

Estas transiciones insensibles son la pauta seguida por todas las litofacies en sus cambios verticales y también en algunos laterales, más acentuadas aún en la provincia de Zamora (Fig. 6).

Durante la sedimentación de la «Unidad Media» (nivel Sanzoles) se produjo una evolución a medios restringidos (CORROCHANO 1980), que «quedan interrumpidos por una nueva reactivación del relieve del área fuente, dando origen nuevamente a abanicos aluviales, progradantes sobre los anteriores».

La potencia global del Eoceno y Oligoceno, muy variable, puede alcanzar el orden de 200 a 300 m.

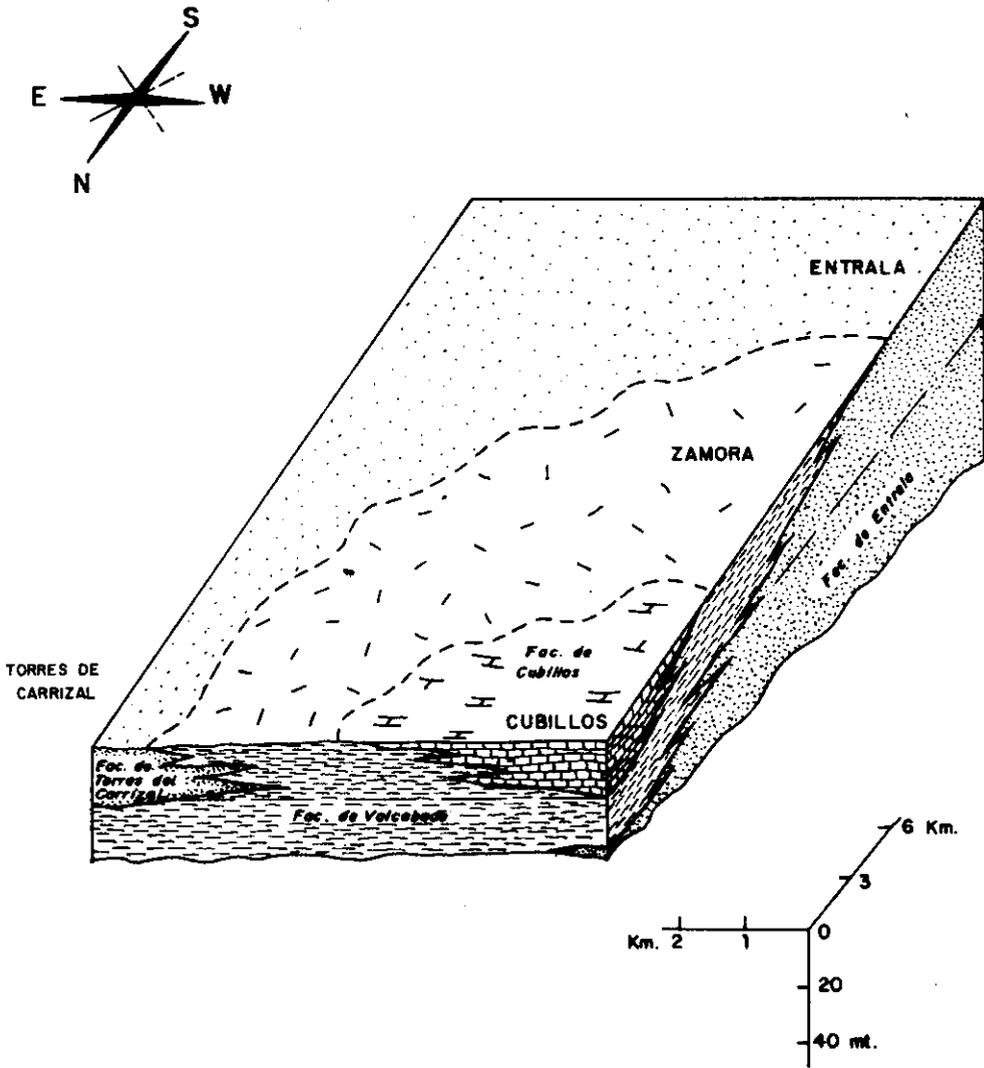


Fig. 4.- Distribución espacial de facies en la unidad inferior del Eoceno Continental de Zamora (según CORROCHANO 1977, 1980).

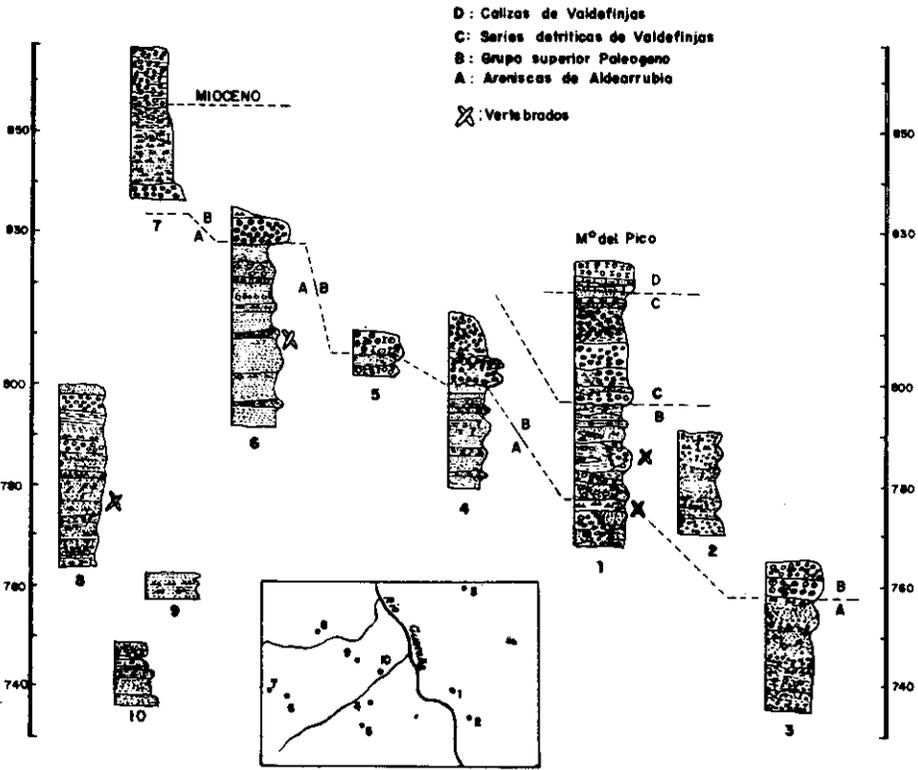


Fig. 5.- Correlación de algunas series paleógenas y su situación en la hoja 398 (Castronuño) (según Jiménez & García, 1978).

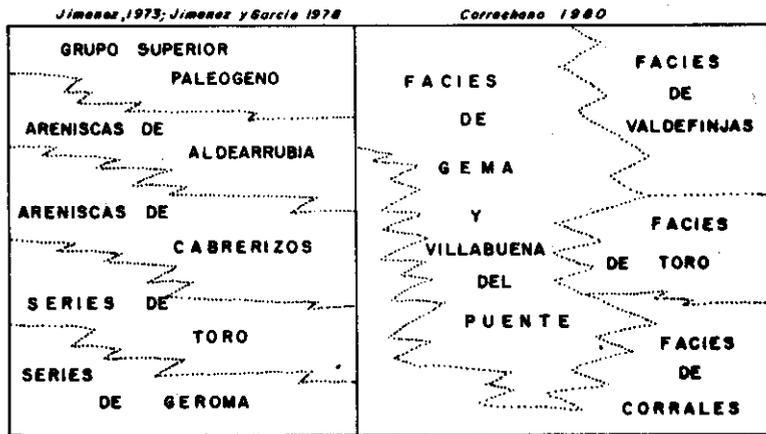


Fig. 6.- Nomenclatura empleada para el Eoceno y Oligoceno de las provincias de Salamanca y Zamora.

El tránsito Oligoceno-Mioceno.

Rematando los escarpes de la orilla derecha del río Guareña, puede verse una sucesión de materiales detríticos coronados por calizas arenosas, poco potentes, con huellas de algas y ripples. Están bien representadas en los tramos superiores del Molino del Pico (fig. 5-1), pero aparecen mejor en la hoja 398 (Castroño), especialmente en Valdefinjas, donde se han explotado pequeñas canteras.

Dado que los fósiles encontrados en la mitad inferior del Molino del Pico solo determinan una edad oligocénica sin precisar, queda la duda de si la mitad superior es también del mismo periodo. Los argumentos estratigráficos abogan por una continuidad en el ciclo sedimentario evolucionado (CORROCHANO 1977). Por sus relaciones espaciales con respecto a las series dadas como miocenas (también sin precisar más su edad), sobre todo en las inmediatas al E de la falla de Alba-Villoria, se les ha supuesto previamente oligocénicas (JIMENEZ & GARCIA, 1978). Sin embargo existen indicios de orden paleontológico que, de confirmarse, datarían el Mioceno para estas series «de Valdefinjas».

La Cuenca de Ciudad Rodrigo.

La apófisis suroccidental de la gran cuenca del Duero, la de Ciudad Rodrigo, presenta una marcada personalidad, por lo que es considerada dentro de un apartado diferente.

El origen de la cuenca es claramente tectónico. Consiste en el relleno de una alargada fosa en dirección NE-SW, que desde la capital salmantina llega a penetrar en Portugal. Sin embargo este concepto, que supone una parte central deprimida, se complementa con un escalonamiento paulatino de la base del Terciario local hacia el SE, para lograr el máximo hundimiento inmediatamente antes de alcanzar los bloques sobreelevados. La presencia de accidentes tectónicos transversales y aún un tercer sistema de dislocaciones menos importantes complican el esquema de esta alargada cuenca.

Tres tipos de materiales se encuentran en ella: paleógenos, miocénicos y pliocuaternarios. Por lo que se refiere al Paleógeno, dos series han sido definidas, «de Tejoneras» y «de Ciudad Rodrigo», ambas detríticas, conglomerática y basal la primera y de ritmos areniscosos fluviales la segunda. No se han encontrado fósiles, pero todo apunta hacia una correlación con las series del Eoceno Medio y Superior de Salamanca («areniscas de Cabrerizos»).

El hecho de que no haya Preluteciense presupone un origen posterior de la fosa de Ciudad Rodrigo con respecto al de la gran cuenca o bien una fase de erosión durante el Eoceno Inferior.

Se han comprobado removilizaciones de las antiguas fracturas del zócalo previas al y durante el Mioceno (GRACIA et al. 1981) y es de suponer otra, anterior al depósito de las rañas aunque de carácter periférico a la cuenca (Fig. 7).

2.2. NEOGENO.

Los sedimentos neógenos de la provincia de Salamanca y en general los que no son de centro de cubeta en la Cuenca del Duero, han sido objeto de escasas monografías, que se limitaban a exponer descubrimientos fosilíferos sin profundizar excesivamente en la estratigrafía.

Por lo que respecta a la provincia de Salamanca, en donde no hay ni una sola cita paleontológica neógena, los datos estratigráficos bibliográficos son aún más difusos en cuanto a dataciones precisas que en otras provincias limítrofes.

En los últimos años se ha intentado desenmarañar la confusión existente —complicada aún más por la falta de acuerdo en la denominación de los términos cronoestratigráficos— iniciando nuevos puntos de vista y explorando amplias regiones de las cuencas centrales de España. Como terminología más difundida es preferible usar la que el IGME emplea para la realización de las hojas MAGNA 1:50.000.

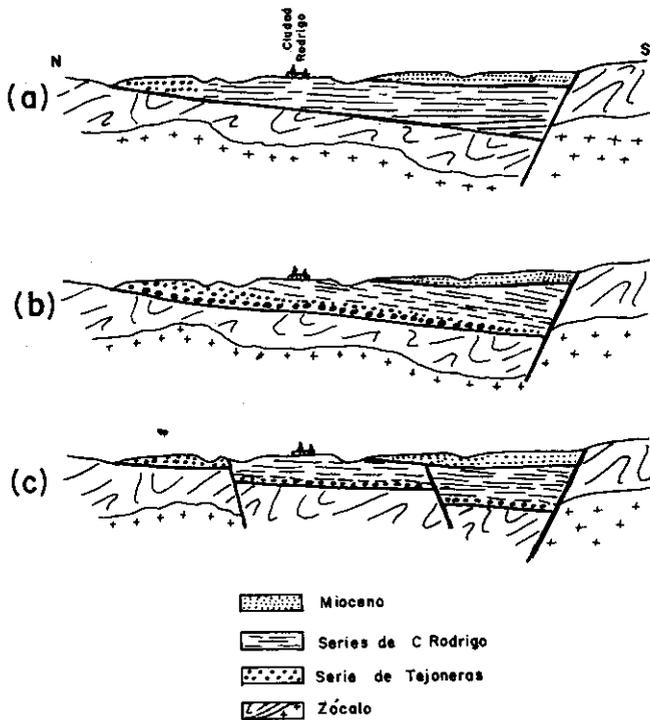


Fig. 7.- Tres interpretaciones sobre la distribución de series en la fosa de Ciudad Rodrigo.

(a): Cambio lateral de facies en capas horizontales

(b): Subyacente, inclinado hacia el S y SE

(c): Subyacente, hundido por fractura/s hacia el S

De las 3, la más probable es la c, con posibles implicaciones de las otras dos.

2.2.1. EL MIOCENO DEL BORDE SO DE LA CUENCA DEL DUERO

Resulta clásica ya la antigua división del Mioceno de la Meseta Central, dada por los geólogos del siglo pasado y sintetizada por los del primer tercio de éste (HERNANDEZ PACHECO, E., ROYO GOMEZ, J., HERNANDEZ PACHECO, F.), que lo definen en tres tramos: «Tortonense», «Sarmatiense» y «Pontiense».

El sentido cronoestratigráfico fue posteriormente modificado (CRUSAFONT, VILLALTA, TRUYOLS, etc.) dando paso a las denominaciones, más correctas, de Vindoboniense, Vallesiense y Turolense.

La tendencia actual tiende a separar cronoestratigrafía de litoestratigrafía, lo que está aún muy lejos de conseguirse en la Cuenca del Duero, por la multiplicidad de facies y la escasez —hasta ahora— del conocimiento paleontológico.

Si consideramos como «modélica» la estructura del centro de la Cuenca (Area de Valladolid-Palencia), los viejos conceptos geomorfológicos de los Hernández Pacheco y Royo Gómez permanecen constantes, con las denominaciones de Facies de Tierra de Campos, Facies de las Cuestas y Facies calizas de los Páramos. Sin embargo estas facies no pueden datarse en una edad concreta por los datos cada vez más abundantes de que se va disponiendo. De ellos, la única que hasta ahora se puede considerar constante —y aún esto está actualmente dejando de considerarse así— es la Facies de los Páramos (Fig. 8).

Debajo de ella, la clásica Facies de las Cuestas, de tendencia arcillosa y margosa, pasa en Avila, Segovia y Valladolid, a otras más detríticas (facies intermedia) y con intercalaciones detríticas (facies marginal).

Dentro, incluso, de las facies típicas de centro de cubeta, se consideran variaciones con presencia de yesos (Facies Portillo). Todo ello sazonado con frecuentes lentejones calizos, que a veces se han confundido con las facies cimeras de los Páramos.

Todo ello se encuadra dentro del Vindoboniense Superior, aunque no son sincrónicos con la totalidad de él.

Debajo de las facies Cuestas en Valladolid y E de Zamora se sitúa la clásica facies Tierra de Campos, arcillosa, que pasa lateralmente en sectores centrales de la Cuenca, en Valladolid, a facies yesosas.

Al S, en la provincia de Avila, se encuentra la continuación de las facies arcillosas, que recientemente han sufrido diversas denominaciones. En esta misma dirección y hacia el SO los materiales arcillosos tórnanse de tendencia detrítica (siendo de destacar la presencia casi constante de feldespatos apenas alterados). Se las ha llamado facies areniscas de Garcihernández (en Salamanca) o de Cantalapedra (en Zamora y Valladolid).

En el límite de las provincias de Zamora y Salamanca se ha definido unas facies roja detrítico-pelítica, de edad posiblemente sincrónica con la próxima de Cantalapedra (Facies Roja de Castillejo).

Todas estas facies se suponen hoy correspondientes al Mioceno Medio sin que sean firmes su techo ni su muro cronológico.

Al Mioceno inferior se adjudican hoy —sin pruebas claras— las facies muy similares a las de Garcihernández que caracterizan grandes espacios en la provincia de Avila y la mayoría de facies rojas detrítico-pelíticas que las bordean. En

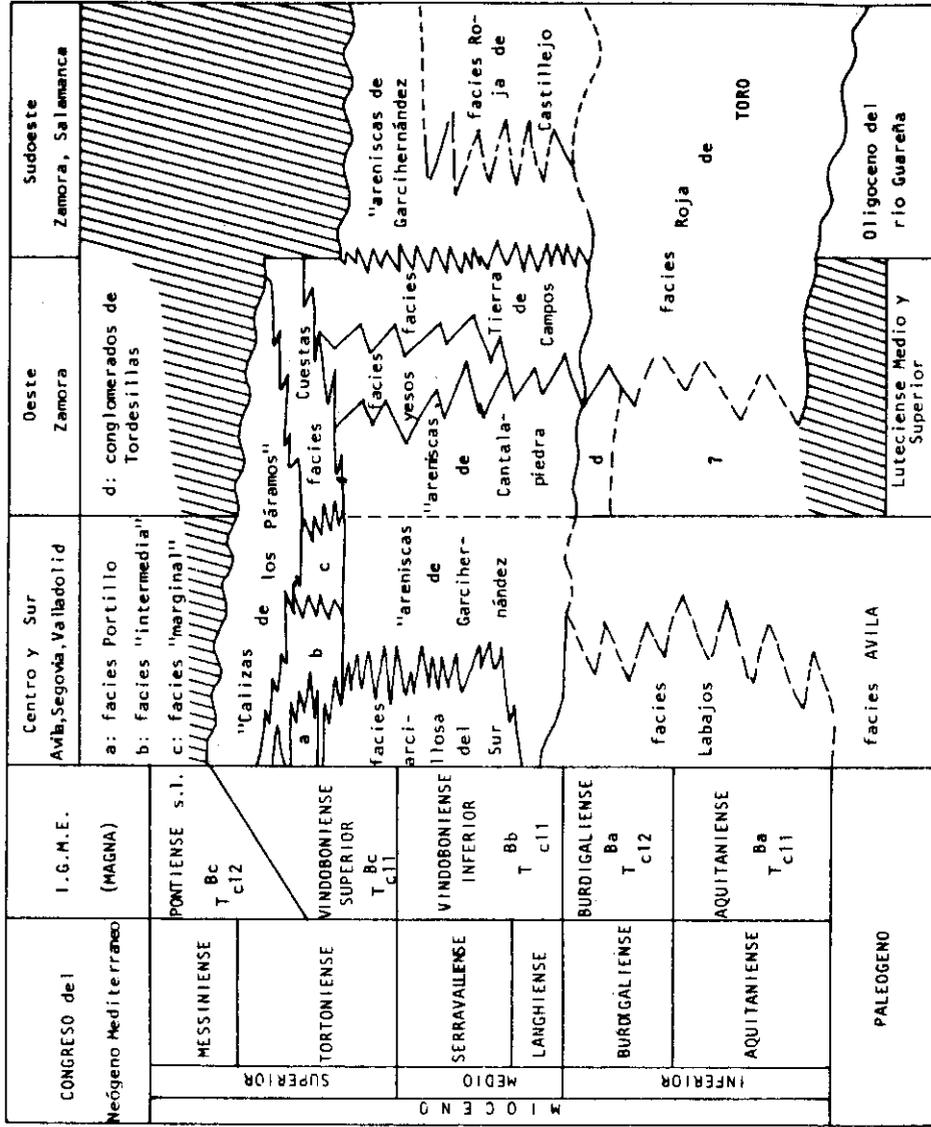


Fig. 8

Avila y Segovia se definen en Labajos. En Zamora son visibles en los escarpes de Toro, sobre el Paleógeno. En Tordesillas pasan a una facies conglomerática cementada, de edad intermedia.

2.2.2. PLIO-CUATERNARIO.

Como resultado de un póstumo levantamiento de la Cordillera Central tiene lugar un aumento de potencial erosivo en ella que trae como consecuencia la deposición de enormes mantos aluviales cubriendo grandes extensiones de la Cuenca de Ciudad Rodrigo, especialmente de su sector central y parte más oriental del occidental. Es lo que se dio en llamar rañas en Extremadura, nombre que ha sido aceptado internacionalmente en sentido geomorfológico, si bien en el cronoestratigráfico no está plenamente corroborada su atribución a un espacio temporal determinado. Se admite para una amplia zona cercana una edad en la frontera entre el Plioceno y el Cuaternario, pero los límites —tanto inferior como superior— pueden sufrir amplias modificaciones locales.

2.3. TECTONICA GENERAL DEL TERCIARIO DEL BORDE SO DE LA CUENCA DEL DUERO

Ciertas anomalías en la horizontalidad de las capas terciarias fueron ya observadas por E. HERNANDEZ-PACHECO & DANTIN CERECEDA (1915) y ROYO GOMEZ (1922), que en 1926 deduce una discordancia sábrica, dato corroborado más tarde por Ciry (1939) en la provincia de Palencia.

Refiriéndonos al borde SW de la Cuenca, desde la monografía de ROMAN & ROYO GOMEZ (1922) se supuso que los estratos paleógenos no eran perfectamente horizontales, sino que en virtud de un basculamiento general hacia el centro de la cubeta, estaban inclinados hacia el E. Sus observaciones, efectuadas entre Salamanca y San Morales, fueron corroboradas posteriormente por TEMPLADO & PASTORA (1945) y por JIMENEZ (1970). Sin embargo la diferencia de altura entre los yacimientos fosilíferos de San Morales (Bartoniense) y las capas altas del Teso de la Flecha sugieren que, además de dicho basculamiento, otros hechos deben haber influenciado localmente en un aumento de desnivel.

La tectonización de las capas terciarias es evidente si nos limitamos al estudio del Preluteciense. Es un hecho que ha sido fijado por TEMPLADO & PASTORA (1945), SCHMIDT-THOME (1945) y por BIROT & SOLE (1954), así como en la memoria del mapa de AERO-SERVICE (1967). Según JIMENEZ (1972, 1973), existe en el zócalo una importante red de fracturas paralelas de dirección NNE-SSW, de las que la más importante es la de Alba-Villoria, localizada en principio entre estas dos poblaciones, pero con un recorrido mucho más extenso. Como resumen de los últimos trabajos de este autor diremos que han sido deducidas las siguien-

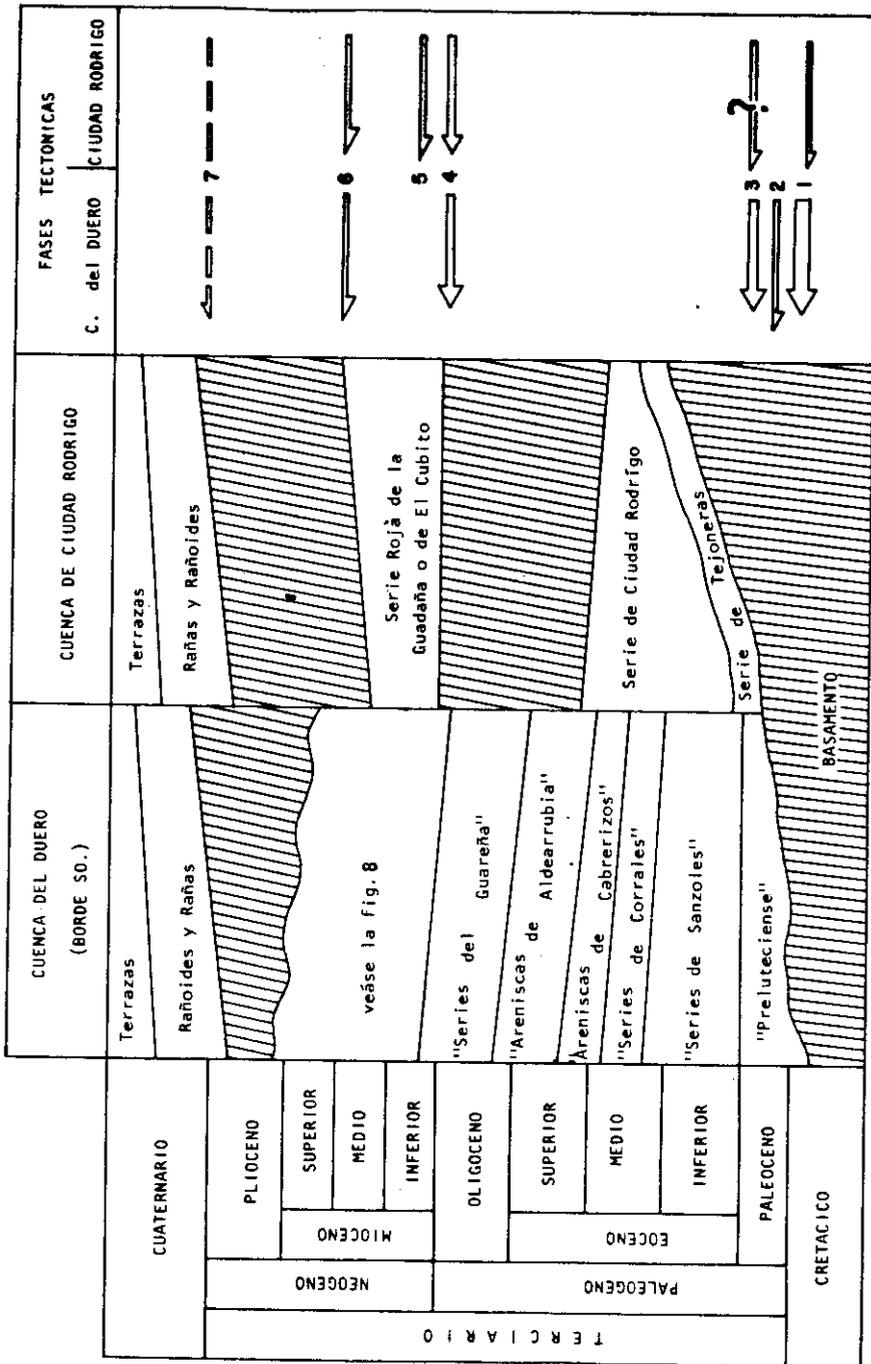


Fig. 8 bis

tes fracturas: del Hospital Clínico, de Carbajosa, de San Morales y de Arabayona.

Como hemos dicho, el efecto de estas fracturas es evidente en el Preluteciense, pero se atenúa en el Luteciense.

En zonas al S de la provincia de Zamora se ha podido comprobar que el efecto de las fallas del zócalo, que sin duda continúa en las capas más bajas del Terciario —Preluteciense—, sólo provoca la flexión monoclinas del resto del Paleógeno, a veces con formación de pequeñas fisuras direccionales.

En el momento actual nos parece más lógico este hecho en los escarpes del Tormes que el suponer que las grandes fracturas hercinianas del zócalo hayan roto por completo las capas paleógenas (excluyendo al Preluteciense).

Además de las fracturas (o pliegues monoclinas) de dirección NNE-SSW ha sido deducido otro sistema de fracturas, de dirección WNW-ESE. Aparece muy difuminado en el Terciario y no es fácil deducirlo, puesto que se halla desplazado por desgarre aparente por las fracturas NNE-SSW (JIMENEZ, 1973, 1975). En casos muy locales, un basculamiento de bloques entre fracturas provoca su cambio de arrumbamiento al WSW-ENE.

Recientemente, se ha podido comprobar la enorme importancia de los rejugos alpinos sobre el Terciario. Hoy nadie duda de la tectonización interna del Paleógeno regional. Al final de este periodo tuvo lugar la segunda gran fase de formación de la Cuenca del Duero (JIMENEZ, 1975).

La siguiente se efectuó en el límite entre Oligoceno y Mioceno en movimientos pulsados de las grandes fracturas del zócalo (GRACIA, GARCIA y JIMENEZ, 1981).

Posiblemente una nueva removilización se produjo previamente al Mioceno Superior, con actuación póstuma sobre la falla de Alba-Villoria (JIMENEZ 1973).

El ciclo alpino se cierra a mediados o finales del Plioceno con el levantamiento final del Sistema Central. No de otro modo puede explicarse el gran aporte de las «rañas», aunque directamente no se haya observado su acción sobre las fracturas de la región.

3. CARACTERES GEOLOGICOS DEL AREA DE LAS ARENISCAS DE VILLAMAYOR

Desde tiempo inmemorial se viene empleando el término de «areniscas de Villamayor» en construcción, no solo a la piedra de sillería extraída de las canteras de esta famosa población, sino a las de similares características, toponimizando un nombre sinónimo de «piedra franca», «piedra dorada», «piedra rubia» y otros. Se le ha llamado también «piedra salmantina» a nuestro entender impropriamente, puesto que la litología sobre la que se asienta la capital charra es totalmente diferente, en composición, compacidad, color, estratigrafía y edad y mucho más en calidad. Sin duda se pretende aludir con ello a la belleza de la piedra de Villamayor en los edificios salmantinos.

Incluso en otras regiones de España se ha empleado el término, basándose en la similitud de su litología con la que aquí nos ocupa.

Prescindiendo de un ilógico chauvinismo nos ceñiremos aquí al área de la utilización de la piedra durante la época de más floreciente afán constructor.

Este área queda limitado por un condicionamiento geológico y geográfico.

Por lo que respecta a la geología, la «arenisca de Villamayor» se precisa en una edad y características estratigráficas hoy muy claras: las facies detríticas medias y finas del Eoceno medio y superior, excluyendo con ello las facies similares tanto del Paleoceno y Eoceno inferior como las del Mioceno. Las condiciones climáticas —uno de los factores fundamentales en la formación de las rocas— que la originan, solo se dieron aquí en dicha edad; ni antes, ni después.

En cuanto a su ubicación, es la de los materiales de esta edad, limitados en la mayoría de los casos por las grandes fallas directrices de la región: la de Alba-Villoria por el E y las de los bordes W, S y también por el recubrimiento de los materiales más modernos, tanto al N como en el interior de los bloques fracturados.

En general podemos distinguir 4 zonas para la ubicación del Eoceno medio-Oligoceno:

1. Área de Villamayor. Limitado por una falla, que lo separa del zócalo paleozoico en los alrededores de Salamanca, por el E, y extendiéndose hasta el borde de la cuenca por el W. Tanto al N como al S se halla cubierto por el Mioceno.
2. Área de la Armuña y Escarpes del Tormes. Limitada por tres fallas, al W, la de Carbajosa, que pasa al W de Salamanca; al E la de Alba-Villoria; al S, la de Salamanca. Aparece cubierta en una enorme extensión por el Mioceno de La Armuña.
3. Área de Fuentesauco. Se ubica por todo el N de la provincia de Salamanca y S de la de Zamora y es continuación de las anteriores al destocarse el Mioceno.

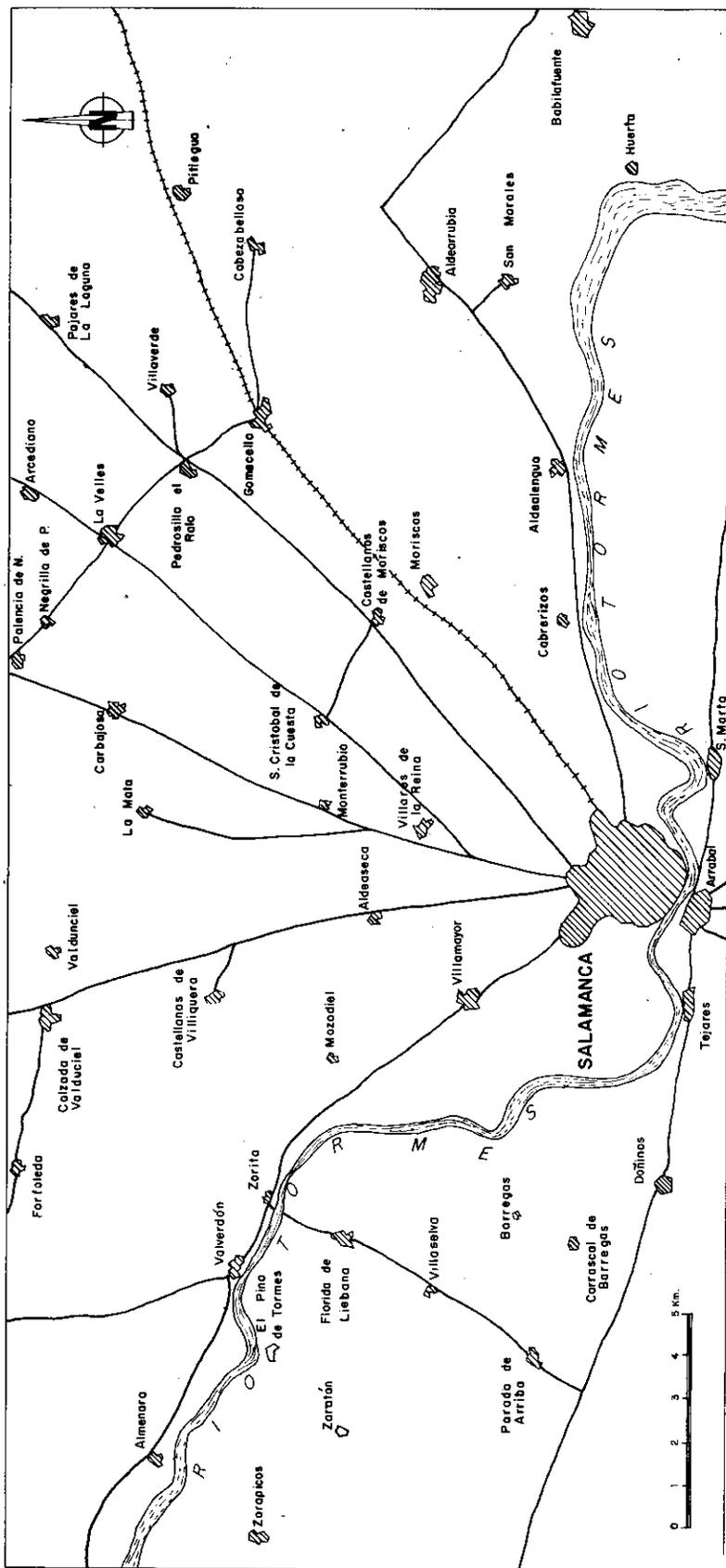


Fig. 9: Esquema de situación.

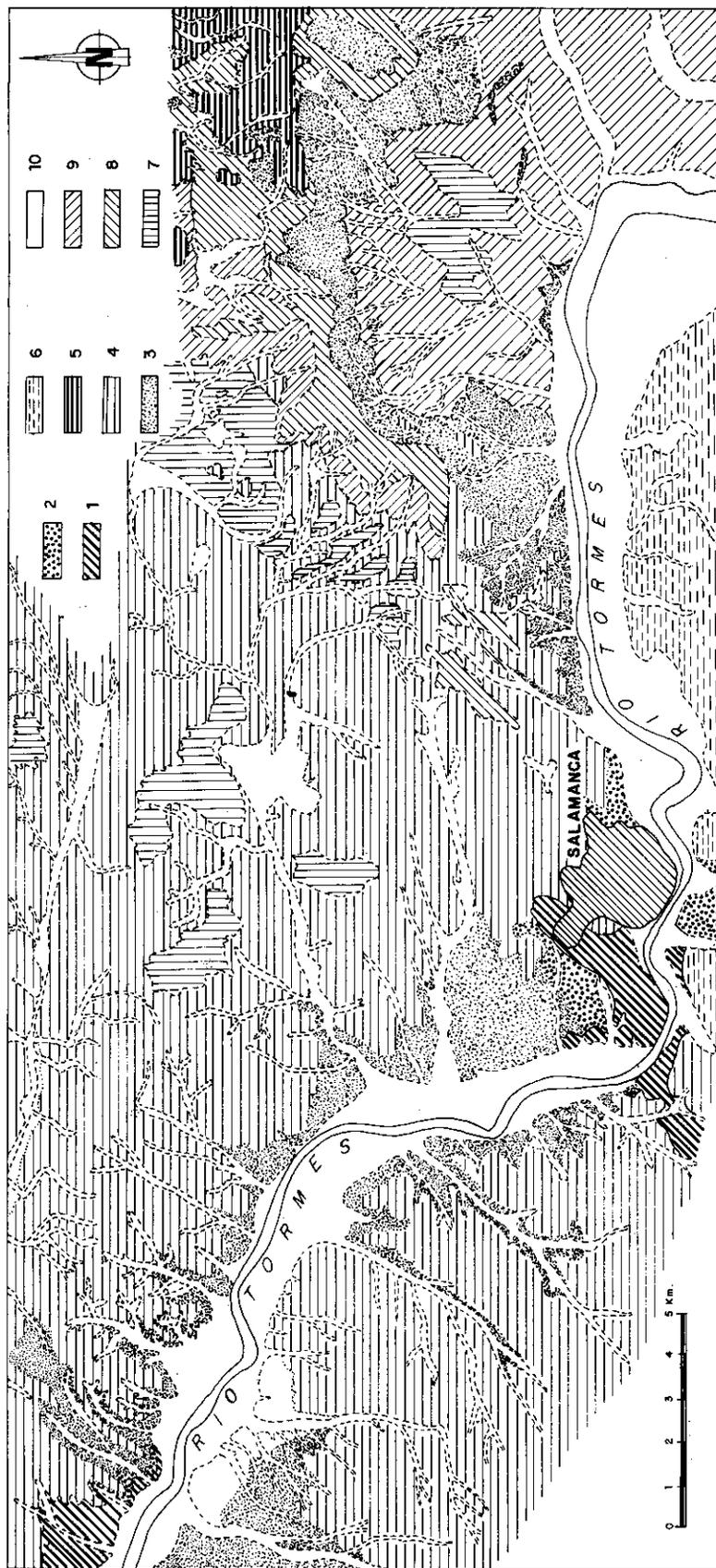


Fig. 10: Esquema geológico.

1. Zócalo (Paleozoico y rocas ígneas).- 2. Paleoceno y/o Cretácico Sup. ? Preluteciense (Precoceno).- 3. Eoceno y Oligoceno inferior. Areniscas de Cábrizos y Aldearrubia.- 4. Mioceno. Series Rojas de El Cubito y de La Armuña.- 5. Mioceno. Facies de Garchernández.- 6. Cuaternario. Terrazas altas y medias.- 7. Cuaternario. Formaciones eólicas. 8. Cuaternario. Coluviones. 9. Cuaternario. Aluvial. 10. Cuaternario. Aluvial.

4. Area de la fosa de Ciudad Rodrigo. Se sitúa en esta alargada apófisis de la cuenca del Duero, que llega a penetrar en Portugal (donde también hay canteras similares a las nuestras), limitada por una extensa falla por el S y el zócalo por el N. Suele estar cubierta por el Mioceno y las rañas plio-cuaternarias.

Este estudio solo se ha efectuado en las dos primeras zonas, en las que se ubica la mayor parte de las canteras (entre el 75 y el 85%) y calicatas de exploración. El área de Fuentesauco, muy importante en tiempos, está en la actualidad completamente abandonado y su investigación sería objeto de una cooperación interprovincial. El de Ciudad Rodrigo puede ser objeto de futuras investigaciones con vistas a una posible demanda.

3.1. PRELUTECIENSE.

Gran parte de esta zona ha sido anteriormente estudiada por JIMENEZ (1975) (Fig. 11), especialmente en lo referente al Preluteciense, con mención no tan detallada de los materiales lutecienses y miocénicos. Destaca su deducción de dos fracturas NNE-SSW a NE-SW (fallas de Santibáñez y de Los Pizarrales) que delimitan el bloque preluteciense. La separación entre ambas fallas es muy pequeña (1,5 km) y hacen que una fractura, de rumbo original WNW-ESE, por basculamiento haya pasado a WSW-ENE (fractura de Salamanca); limita al Preluteciense con las pizarras paleozoicas. Por otra parte, en dicho Preluteciense se han podido distinguir dos formaciones separadas por una pequeña discordancia angular deducida. La inferior («capas de Santibáñez») aflora al S del Tormes en un pequeño afloramiento y al N discordantes ligeramente bajo las típicas «areniscas de Salamanca». Como ligera modificación en la cartografía de JIMENEZ hemos de añadir que al N del Tormes, las «capas de Santibáñez» se apoyan directamente sobre las pizarras paleozoicas. En general el Preluteciense muestra un buzamiento general hacia el NNW (capas de Santibáñez) o al NW (capas de Salamanca) pudiendo llegar a alcanzar valores de 15 a 20°.

Por el N, y ello resulta patente en la carretera Salamanca-Ledesma, está cubierto por sedimentos más modernos, miocénicos.

3.2. EOCENO MEDIO Y SUPERIOR.

3.2.1. ZONA DE VILLAMAYOR

En ambas orillas del Tormes afloran estos materiales, que han sido intensamente explotados en Villamayor (orilla derecha) y, menos, en Santibáñez del Río (orilla izquierda).

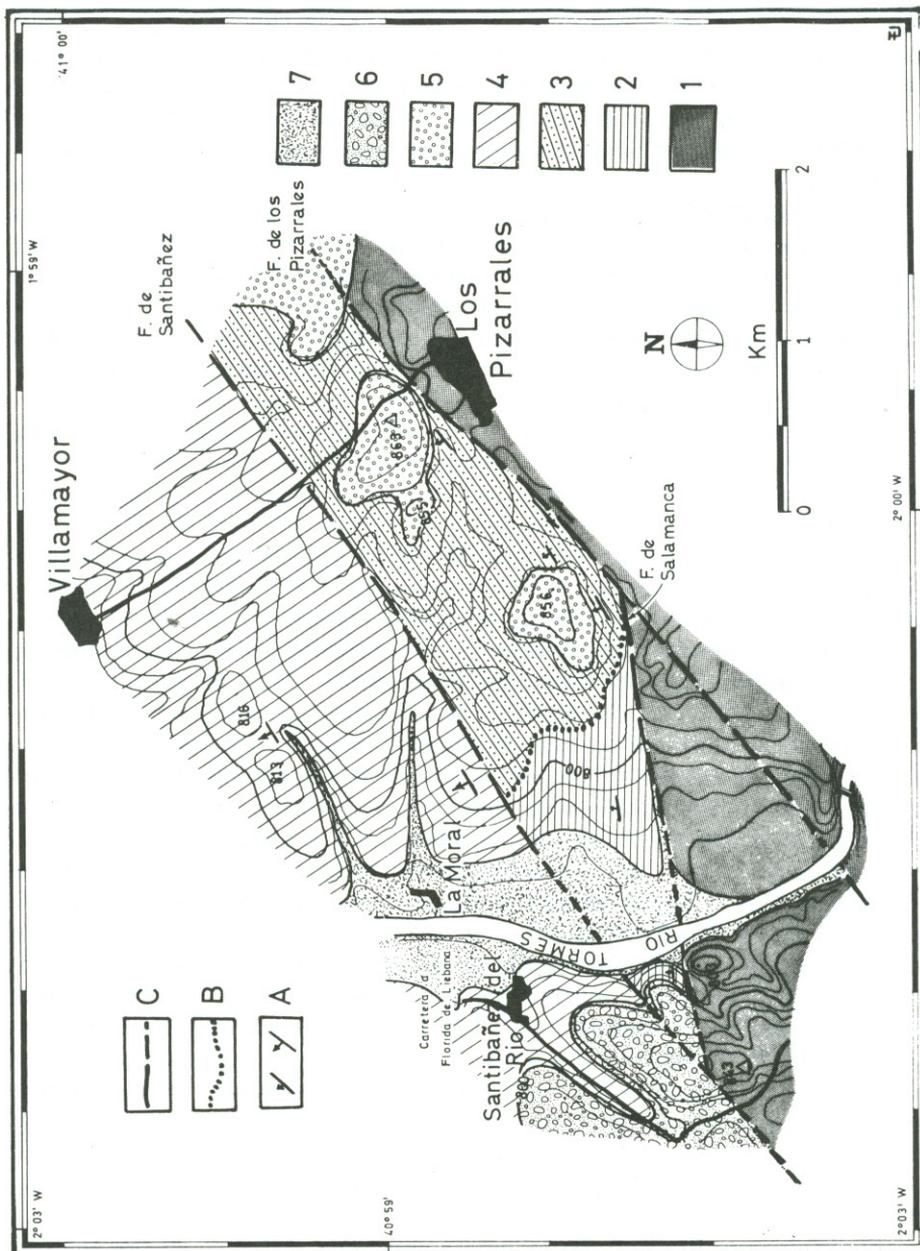


Fig. 11.- Esquema geológico de la zona investigada:

1) Basamento (¿Ordovícico?).- 2) Capas de Santibañez (Pre-Luteciense).- 3) Areniscas de Salamanca (Preluteciense).- 4) «Areniscas de Villamayor» (¿Luteciense medio a Ludiene inferior?).- 5) Pontiense (facies detrítica roja).- 6) Cuaternario (Terraza policíclica).- 7) Aluvial.- A) Buzamiento de 20 a 30° y de 10 a 20°.- B) Discordancia deducida.- C) Falla deducida.
(según Jiménez 1975).

En la orilla izquierda puede verse una sucesión de canteras y calicatas, hoy abandonadas. Un corte efectuado en la parte más oriental permite ver sus concomitancias con las series del Teso de la Flecha, pero la explotación de las areniscas hacia esta parte no resulta rentable por tratarse de múltiples lentejones de pequeña potencia y continuación lateral dudosa. Solo en las proximidades de Santibáñez del Río hay algunas canteras recomendables, especialmente por la proximidad de agua.

En la orilla derecha la proliferación de canteras y calicatas es mucho mayor. Los afloramientos lutecienses más orientales están inmediatamente al E de La Moral del Río y sugieren un desequilibrio tectónico importante que los separa del Preluteciense. Sin embargo esta falla deducida no ha sido vista ni comprobada geofísicamente, por lo que bien pudiera argüirse que las areniscas de Villamayor reposan directamente sobre el Preluteciense y que afloran en La Moral simplemente por su buzamiento general.

A este razonamiento objetaremos que según nuestros cálculos, corroborados por sondeos próximos, tanto las potencias del Preluteciense como del Luteciense son mucho mayores de lo que los buzamientos observados permiten suponer, por lo que insistimos en la presencia de la falla de Santibáñez.

Al igual que sucede en la orilla izquierda, los afloramientos más orientales son menos explotables. Se trata de un verdadero amasijo de paquetes alentejonados de pequeña potencia que parecen adelgazarse hacia el S. Al N de La Moral existen una serie de canteras pequeñas que permiten deducir un engrosamiento de las capas inmediatamente encima de las anteriores. Se sitúan en la parte E de las elevaciones al NW de La Moral. Hoy están abandonadas pero pueden ser consideradas como reserva de las que actualmente se están explotando.

Estas se sitúan en la ladera W del mismo cerro, y al igual que ocurre en Santibáñez alcanzan una potencia superior a los 6 m. (Opinamos que se trata del mismo lentejón). Su explotación está favorecida por la proximidad del Tormes y por poderse beneficiar del nivel freático local.

Para simplificar, llamaremos I a las capas de las canteras más orientales, aquellas cuyos lentejones son muy delgados, con excepciones hacia el N; II a las capas de las canteras al N de La Moral que se superponen a las anteriores y que son explotables pero que están con lentejones arcillosos intercalados y III a estas mismas capas, que al W pierden gran cantidad de dichos lentejones y son las de óptima explotabilidad.

Desde estas canteras II y III hacia Villamayor en un pasado no muy remoto tuvimos ocasión de visitar unas canteras similares a las II pero la ampliación del basurero de Salamanca las ha ocultado en la actualidad.

Vuelven a aflorar buenos lentejones, actualmente en explotación, inmediatamente al NE de Villamayor.

En resumen de lo dicho, las mejores condiciones se dan en las dos canteras actualmente en uso y en las más próximas a Santibáñez del Río, con buenas perspectivas para el futuro por desplazamiento hacia el E. No así hacia el W donde han sido barridas por la erosión. Más al W de la llanura aluvial de Villamayor, las capas III de óptima explotabilidad se sumergen debajo de las que forman los escarpes del Tormes, hasta Zorita.

Los razonamientos que abogan por una edad luteciense para las canteras de Villamayor son de índole paleontológica y estratigráfica: tanto los fósiles (quelonios) como las series presentan gran similitud con los encontrados en el Teso de la Flecha que, como hemos dicho, se sitúan en la transición Luteciense Superior-Ludiense.

El buzamiento de las capas lutecienses se va atenuando progresivamente hacia el W, de modo que en los primeros afloramientos al W de Villamayor —que se sitúa en un amplio triángulo cubierto por sedimentos cuaternarios— están ligeramente inclinados al NW. Lo mismo ocurre en la orilla izquierda, donde se pueden obtener buenos cortes estratigráficos en las proximidades de la fábrica de celulosa. Muestran estas series en ambas orillas posibles condiciones de explotabilidad. Se sitúan por encima del conjunto de paquetes II-III y están constituidas por areniscas y limos en capas alentejonadas e indentadas.

En algún caso, p.e., en Mozodiel de Sanchón han sido explotadas las capas inferiores de estos tramos.

3.2.2. ZONA ZORITA-FLORIDA DE LIEBANA

Para una mejor descripción local, analizaremos sucesivamente las distintas zonas, avanzando hacia el NW. La primera de estas zonas es la situada antes de llegar a Zorita, en la orilla derecha del Tormes, y a Florida de Liébana en la izquierda, con un frente de unos 15 km de anchura.

En los escarpes de la orilla derecha, la serie es continuación de las de Villamayor con buenos cortes sobre el río. Muestra predominancia de areniscas y conglomerados en tonos amarillentos o blanquecinos; con buenas posibilidades de explotación en algunos casos, si la verticalidad del escarpe no fuese un serio obstáculo. Afloran estas areniscas hasta 0,5 km antes de Zorita.

En la orilla izquierda aflora el Luteciense típico de Villamayor («areniscas de Cabrerizos») hasta el arroyo de Villaselva, que une el poblado de dicho nombre con Florida de Liébana. No se ha podido efectuar ninguna serie por estar casi completamente cubierto por derrubios y sedimentos cuaternarios pero los afloramientos visibles no dejan lugar a dudas sobre su edad. Presenta graves problemas para su explotación, dada la gran masa de sedimentos más modernos que se les superponen.

3.2.3. ZONA ZORITA-ALMENARA DE TORMES

Un problema diferente es el que se presenta con los materiales paleógenos situados entre Almenara de Tormes y Zorita, en la orilla derecha del río. Han sido estudiados por JIMENEZ (1970) y por ALONSO, CORRALES & CORROCHANO (1976). Tres series efectuadas muestran netas diferencias tanto con materiales situados al NW como con las areniscas de Villamayor o de Cabrerizos del SE; no

solamente por su aspecto, también por el estudio de sus ritmos se desprende esta conclusión.

Estas capas paleógenas presentan un problema esencial: su edad. JIMENEZ (1970) las considera «Eoceno inferior» por correlación con las series inferiores de Corrales (separadas posteriormente del Preluteciense). Con esta misma denominación son tratadas por ALONSO, CORRALES & CORROCHANO. Las investigaciones que motivan esta Memoria han llevado a determinar que una de las superficies de erosión definidas entre capas constituye la discontinuidad Paleógeno-Mioceno.

Igual que se dá en los escarpes del Guareña, en el Molino del Pico, etc, ó en Fuentesauco, la base miocena está constituida por un conglomerado con película arcillosa alrededor de los cantos, a los que nos referiremos en el apartado correspondiente. Bajo él, el techo paleógeno suele ser un paleosuelo en el que abundan las concrecciones tubulares de la misma naturaleza que la matriz, por lo general limo-arenosa. Por otra parte se observa que el Paleógeno está ligeramente inclinado, hecho no siempre fácil de observar.

Estas series, que llamaremos «de Valverdón-Almenara» se pueden interpretar tanto suprayacentes como infrayacentes con respecto a las «areniscas de Villamayor». Según la primera interpretación el Paleógeno, desde el zócalo paleozoico al W de Almenara hasta las pizarras de Salamanca, formaría un suave sinclinal fallado por el W. (Fig. 12a).

Sin embargo, un hecho se opone a esta interpretación. Si las «areniscas de Villamayor» son similares a las «de Cabrerizos» —lo que parece estar documentado paleontológicamente—, el conocimiento que se tiene de las series suprayacentes (también fosilíferas) en los escarpes del Tormes al E de Salamanca niegan una posible correlación con las capas de Valverdón-Almenara.

Por tanto nos parece más plausible una posición estratigráfica inferior a las «areniscas de Villamayor» con lo cual se resuelve el problema de algunos sondeos que en el bloque de Villamayor daban una profundidad del zócalo excesiva en unos 50 m a los cálculos indirectos (Fig. 12b).

Por ello tiene otro inconveniente: deducida la edad infrayacente de estas series, podría seguirse pensando en un suave sinclinal limitado por fracturas, pero a ello se opone que siempre que ha sido posible ser medido, el buzamiento de las areniscas de Villamayor —incluso de las series que hemos considerado superiores de la serie, al W de la población—, se dirige hacia el NW, lo que hace suponer que los hechos no son tan simples.

Una posible explicación puede ser la presencia de una fractura NNE-SSW que coincidiría en la orilla izquierda del Tormes aproximadamente con el arroyo Villaselva y por la derecha con el Valcuevo. Su ubicación tanto al NNE como al SSW de esta alineación se atenúa, al estar fosilizada por sedimentos miocénicos aunque estos, como veremos más adelante, también están afectados por movimientos tectónicos menores (Fig. 12c).

Inmediatamente al W del arroyo Valcuevo existen afloramientos, —meteorizados— que recuerdan a las «areniscas de Villamayor» situadas inmediatamente al E de dicho arroyo. Puede ser que nos encontremos, en dicho punto, ante la base de la formación.

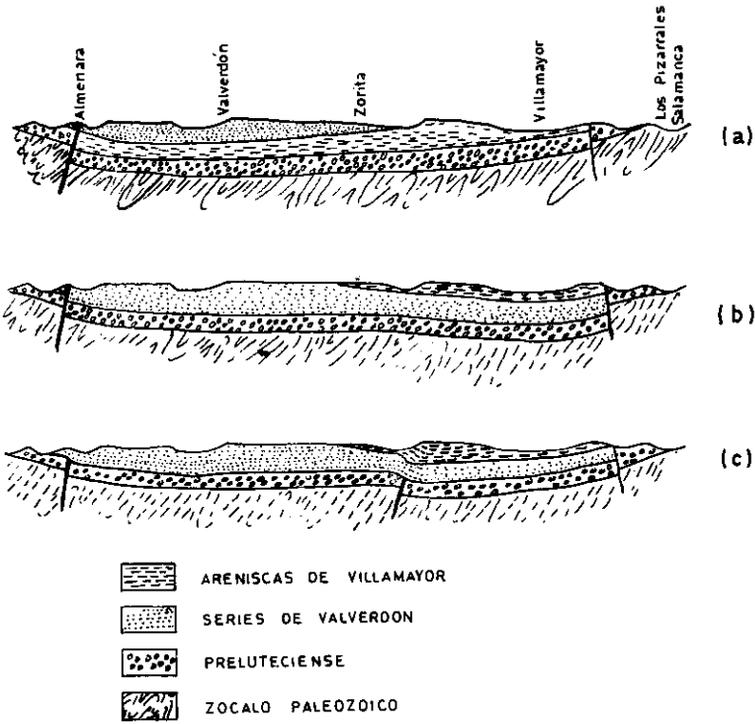


Fig. 12.- Modelos posibles de estructura en la subcuenca paleógena Almenara—Salamanca

3.2.4. ZONA DE ZARAPICOS-ALMENARA DE TORMES.

La litología de esta zona, situada al NW de la anterior, es sensiblemente diferente. En Zarapicos muestra características similares a las de las «areniscas de Salamanca» (Preluteciense), es decir, tamaños de grano irregularmente variables con un cemento silicificado extraordinariamente compacto.

Lo mismo puede decirse de los afloramientos de Almenara de Tormes donde, además, puede apreciarse un claro buzamiento hacia el SE. Al W de Almenara, ya fuera del pueblo, afloran las pizarras paleozoicas debajo de la base preluteciense, por otra parte muy similar a lo hasta ahora conocido.

Ello hizo pensar, en principio, que estos materiales (no el conglomerado base) eran de edad preluteciense. Ante algunas dudas al respecto se ha explorado más cuidadosamente la zona más cercana al zócalo y así se han encontrado dos puntos muy característicos, 1 km al W de Almenara de Tormes y al S de Carrascal de Velambélez (Hoja 451). Especialmente en Almenara, puede verse como la base del Terciario, salvo unos conglomerados típicos, está formada por una arena o arenisca poco compacta de tonos blanquecinos; al E, ya en la base del pueblo, se aprecia como esta capa se sumerge debajo de otra totalmente diferente que llamaremos aquí «de Almenara».

En Carrascal de Velambélez aparece también la serie arenosa blanca, especialmente al W del camino que une a este pueblo con San Pedro, donde claramente está debajo de la «serie de Almenara»; pero al E algunas indentaciones de aquella se encuentran intercaladas en ésta. Ello viene a demostrar que la serie blanca es simplemente la base de la formación y no está separada de ella por ningún hiato.

La edad de la «serie de Almenara» es, por las mismas razones de situación en la Cuenca, anterior a la de las «areniscas de Villamayor» (Luteciense superior, equiparables a las «areniscas de Cabrerizos»), pero no tiene las características del Preluteciense que puede seguirse por todo el borde occidental de la Armuña.

3.2.5. ZONA CABRERIZOS-ALDEARRUBIA-BABILAFUENTE

El enfoque geológico con el que se ha de contemplar este área es una estructura típica en escalera.

Estratigráficamente dos formaciones han sido definidas, las «areniscas de Cabrerizos» y las «areniscas de Aldearrubia». (JIMENEZ 1968, 1970, 1972, 1973; CORROCHANO 1974). A las primeras se les ha atribuido una edad intermedia entre el Luteciense medio (en Corrales) y el Ludiense. Las areniscas de Aldearrubia son claramente de esta última. Todo ello merced a los hallazgos paleontológicos efectuados en diversos puntos de los escarpes del Tormes.

3.2.5.1. *Tectónica local.*

El hecho más importante que sucede en la región —en la zona investigada queda al E— es la presencia de una importante fractura, la falla de Alba-Villoria, que fue localizada geofísicamente entre ambas poblaciones (AERO-SERVICE 1967) pero cuya trayectoria los sobrepasa ampliamente (JIMENEZ 1973). Es de dirección NNE-SSW, con inflexiones en su rumbo. No cabe la menor duda de que ha roto los sedimentos terciarios. La profundidad del zócalo en el labio oriental (sondeos mecánicos) así lo certifica. Su último movimiento importante, pues creemos que han sido varios en el Terciario, ocurrió en tiempos inmediatamente anteriores al Pontiense, como ha sido comprobado en Cantalpino (JIMENEZ 1973).

Esta fractura debe ir acompañada de otras satélites, subparalelas, cuya acción sobre el Terciario ha sido menor, produciendo con su escalonamiento hacia el E una serie de flexiones monoclinales de gran radio. Solo así puede explicarse como un yacimiento ludiense (San Morales) se encuentra unos 40 m por debajo de otros más antiguos situados al W (Teso de la Flecha, etc.). Sin embargo estas flexiones monoclinales no han sido nunca vistas en campo, debido, seguramente, a su gran radio, por lo que quedan confundidas con simples basculamientos. Donde estas fracturas del zócalo sí son patentes es en el Preluteciense situado al S.

La principal fractura del zócalo con repercusión directa en la zona es la de Carbajosa de La Sagrada (NICOLAU 1975), la única visible en el Terciario de la región. Su rumbo, NNE-SSW, se puede seguir hasta el río Tormes, donde es responsable indirecto del meandro que forma en Aldehuela de los Guzmanes. Más al NNE, ya en el área B, separa claramente —al W de Cabrerizos— los típicos materiales lutecienses, al E, de otros que hemos deducido miocenos. A un km al NW de Cabrerizos la falla queda fosilizada por estos materiales. En realidad la falla de Carbajosa, al N del río Tormes, separa al Preluteciense —que aflora en la vieja urbe salmantina— del Luteciense. Lo que ocurre es que por un fenómeno de formación de escarpe obsecuente durante el Mioceno inferior, el Luteciense quedó destacado sobre el Preluteciense y sobre éste se depositaron los materiales típicos del Mioceno. Se ha comprobado que, por expansión, el Mioceno fue remontando este escarpe hasta rebasarlo, cubriendo en parte la llanura superior (Fig. 13).

Un proceso erosivo cuaternario y un fuerte coluvionamiento impide una precisión cartográfica de estos hechos que solo pueden ser deducidas a grandes rasgos.

La directriz morfoestructural, oculta por los coluviones, puede seguirse al E de Moriscos y Gomecello. Al W de esta línea supuesta, muy oculta por sedimentos cuaternarios pueden verse, sin embargo, las típicas capas miocenas. Al E, pese al coluvionamiento hay indicios de rocas paleógenas, situadas a mayor altura. Sobre la llanura superior, bajo el manto cuaternario, en los pozos afloran los «caleños» miocenos sobre el típico paleógeno a 860 m de altitud.

3.2.5.2. *Areniscas de Cabrerizos y de Aldearrubia.*

Los sedimentos Luteciense-Ludienses comienzan a aflorar al E de la falla de Carbajosa, en el km 108 de la línea férrea Avila-Salamanca. Ha sido datado como

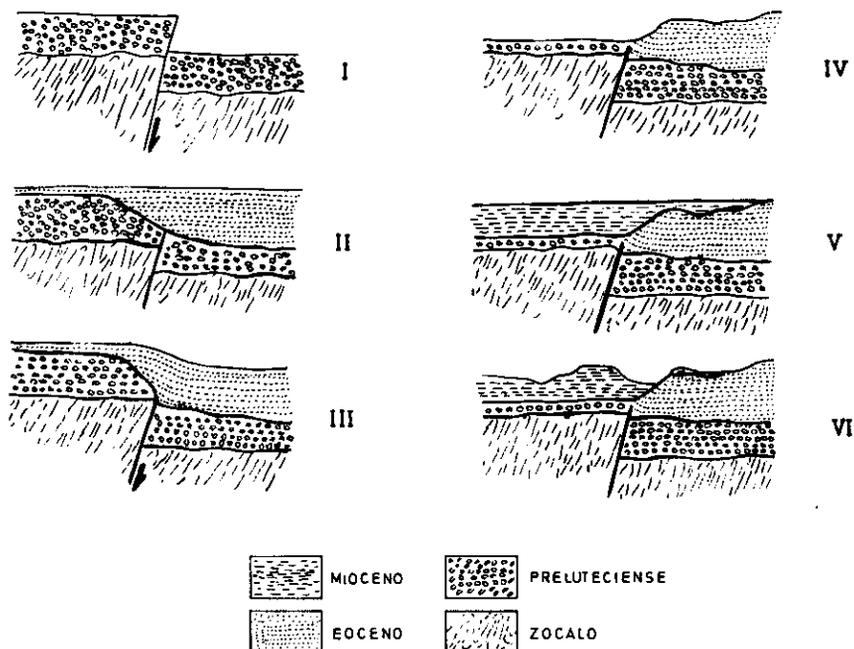


Fig. 13.- Evolución de la falla de Carbajosa, al N del río Tormes, entre Salamanca y Cabrerizos.
 I. Movimiento de la falla, después del Preluteciense.
 II. Sedimentación durante el Eoceno-Oligoceno.
 III. Movimiento de la falla (Oligoceno-Mioceno) con plegamiento monoclinal del Eoceno-Oligoceno.
 IV. Fase de erosión, con formación de escarpe obsecuente.
 V. Sedimentación durante el Mioceno, cubriendo el relieve previo.
 VI. Fase de erosión pliocuaternaria y cuaternaria. Formación del relieve actual.

Luteciense-Ludiense en Cabrerizos (al W), circuito de Los Caenes (con 2 niveles), Teso de la Flecha (3 niveles) y Aldealengua. El Ludiense ha sido datado en San Morales (MIGUEL 1906, CRUSAFONT & TRUYOLS 1975, JIMENEZ 1970, 1972, 1975).

Los escarpes que el Tormes ha formado en su orilla derecha permite hacer buenas observaciones estratigráficas (JIMENEZ 1970, 1972, CORROCHANO 1974) entre Cabrerizos y Aldealengua. Por lo que se refiere al Ludiense típico, ha sido estudiado en localidades fosilíferas (San Morales y Aldearrubia), y en unas canteras muy típicas situadas entre Aldearrubia y Cabezabellosa. Es de destacar la ubicación de estas canteras, situadas en cotas muy altas (tramos casi basales del Ludiense). Parecen, pese a su carácter alentejonado, tener gran continuidad lateral que puede cubrir gran extensión incluso fuera del área. El nivel se encuentra mucho más bajo topográficamente en el balneario de Babilafuente.

En las «areniscas de Cabrerizos» predominan los materiales detríticos medios y comienzan a abundar los paquetes con estratificación oblicua tabular y superficies de erosión planas. Los fósiles encontrados testifican un medio fluvial en un clima húmedo y cálido, con fases erosivas e impregnaciones carbonatadas que bien se pueden interpretar como episodios más áridos.

Con el paso del tiempo, en el Ludiense («Areniscas de Aldearrubia») estos episodios y las superficies de erosión se multiplican, con seguridad debido a una tendencia general hacia la aridez, siempre dentro de un clima tórrido, como lo demuestran los fósiles encontrados.

Las litofacies de ambas formaciones son similares desde el punto de vista granulométrico: series rítmicas detríticas. Se diferencian estadísticamente en su mayor predominio, hacia el Ludiense, de series laminadas alternativamente rojas (predominantes) y amarillas o grises. Los episodios carbonatados son también más frecuentes.

Por lo que se refiere a su separación espacial, resulta difícil de efectuar. En el sentido vertical, porque la transición de una a otra formación se efectúa de modo gradual. Horizontalmente parece ser posible una separación, quizás debida a una flexión monoclinial de dirección NNE-SSW situada al E de Cabezabellosa. Esta línea parece separar las compactas areniscas laminadas rojas, típicas ludienses, que ocasionalmente afloran bajo el Cuaternario en Villoruera y Arabayona. Sin embargo la precisión de esta separación litológica a nivel cartográfico no es posible por la extensa cubierta cuaternaria.

Es de destacar el hecho de que la zona de canteras de Cabezabellosa fue en otros tiempos mayor. En las fotografías aéreas de 1956 se vé una cantera al W de la alquería Sordos (al W de Cabezabellosa, en 2888 X - 45468 Y). Se ha comprobado que las labores agrícolas no sólo la ha cubierto, sino también a los caminos que a ella conducían. Cantos y bloques sueltos, esparcidos entre los sembrados, demuestran que el escarpe entre Moriscos y Gomecello puede ofrecer buenas perspectivas de explotación.

Tanto en los escarpes luteciense-ludienses del Tormes, como en los del Balneario de Babilafuente se encuentran con mayor frecuencia capas de buena calidad pero cuya potencia y extensión lateral las hace poco rentables. Sin embargo no es raro encontrar excepciones, que han sido antiguamente explotadas. Su frente de explotación presenta el problema de la verticalidad del escarpe superior.

Las series están muy cubiertas por materiales cuaternarios hacia el S en el valle excavado por el Tormes en su codo de Huerta. Algunos afloramientos permiten separar al Preluteciense del Eoceno en las proximidades de la carretera nacional, entre Encinas y Ventosa del Río Almar.

3.3. MIOCENO.

Consideramos de edad miocénica las siguientes unidades:

- a) Conglomerado basal mioceno
- b) Series rojas (de «El Cubito» o de «La Armuña»)
- c) Facies de Garcihernández

No nos cabe la más mínima duda respecto a la datación de las dos primeras en base al recientísimo hallazgo en la Serie Roja de unos restos de molares de *Gomphotherium angustidens* CUV. en Santibáñez del Río (MAZO & JIMENEZ 1982). Este mastodonte es claramente miocénico.

Respecto a la facies de Garcihernández, pese a su falta hasta ahora total de registros paleontológicos, nadie pone actualmente en duda su edad, estando pendiente de definición los límites inferior y superior.

3.3.1. CONGLOMERADO BASAL MIOCENO

En toda la mitad occidental del área estudiada la base del Mioceno está constituida por un conglomerado típico con película arcillosa alrededor de los cantos. Hasta ahora, erróneamente había sido definido como Paleógeno, pero su similitud y su misma situación siempre infrayacente con respecto a los conglomerados con matriz roja arcillosa que son tan frecuentes en la Armuña y al N de la provincia de Salamanca, sugieren frecuentemente esta datación más correcta.

Localmente, estos conglomerados, que pueden llegar a tener 3 ó 4 m de potencia, tienen intercalados episodios areniscosos, de aspecto aparentemente similar a los paleógenos, pero un examen atento los diferencia netamente.

Pero este conglomerado, por razones paleogeográficas, no siempre constituye la base del Mioceno. No se presenta en la orilla izquierda del Tormes, aunque quizás al NW, en dicha orilla, se encuentre cubierto por derrubios de ladera.

Constatando las alturas a las que se sitúa esta base miocena —en Zarapicos, Almenara, cerro El Tarro, Pino de Tormes, Valverdón, Zorita y Florida de Liébana— se comprueba que las directrices tectónicas que deducíamos independientemente para el Paleógeno (apartado 3.2.3) se dan también en el Mioceno. Hay un pequeño hundimiento entre Zarapicos-Almenara y el cerro El Tarro, y desde este punto hacia el SE se va hundiendo progresivamente hasta el arroyo Valcuevo en que se sitúa a 780 m. A partir de aquí, sube ligeramente, hasta Villamayor. En la orilla izquierda del Tormes puede observarse el mismo hecho: al E del arroyo Villaselva se sitúa a 810 m, mientras que hacia Pino, está a 775 m.

3.3.2. SERIES ROJAS

En el cerro El Tarro puede apreciarse como los conglomerados basales del Mioceno que aquí alcanzar su máxima potencia visible (8 m) pasan insensiblemente a otro conglomerado en el que la matriz va tomando progresivamente un dominante color rojizo. Estos conglomerados, hacia el NE muestran tendencia a la disminución del porcentaje de cantos, y adquiere mayor importancia la matriz arcillosa roja que los aglutina. No es raro encontrar impregnaciones carbonatadas dispersas en su seno. En la zona estudiada parecen constituir pequeños lentejones irregulares margosos. Fuera de ella, al NE, en Calzada de Valdunciel, han sido explotadas algunas canteras para producción de cal, siendo frecuentísimas en determinados niveles las impregnaciones margosas blancas. En dichas canteras es donde aparecieron los moluscos que sirvieron a GIL Y MAESTRE (1880) para definir una edad Pontiense. Una vez más diremos que no son de dicha edad sino más antiguos (¿Serravalliense?).

Sobre los conglomerados basales o bien sobre el Paleógeno directamente se encuentra una potente masa de sedimentos rojizos, esencialmente constituidos por conglomerados con matriz arcillosa que le dá el color; puede alcanzar 50 m de potencia.

En la monografía de JIMENEZ (1975) fueron datados como cuaternarios estos mismos sedimentos en la orilla izquierda del Tormes. Hemos de corregir dicha apreciación pues hemos descubierto la presencia de niveles carbonatados intercalados (entre Doñinos y Carrascal) hecho que no se da en los sedimentos cuaternarios.

En la orilla derecha del Tormes afloran las Series Rojas especialmente al acercarnos hacia el Estadio Helmántico y hacia Mozodiél de Sanchín: En los cerros situados al N y NW del cementerio de Salamanca, afloran directamente sobre el Paleógeno a alturas crecientes hacia el SE (Cotas 848, 860) los conglomerados rojos de La Armuña, con mayor, menor o nula proporción de carbonatos.

Más alto aún, (868 m) en la parte culminante del barrio de Los Pizarrales, directamente sobre el Paleozoico y debajo de sedimentos cuaternarios afloran dos metros de margas y areniscas que forman el techo local del Mioceno. Encima se encuentran materiales cuaternarios.

3.3.3. TRANSICION DE LAS SERIES ROJAS

Resulta clarísimo en la mitad oriental del área estudiada que el Mioceno local tiene carácter expansivo. Ello es evidente si se comparan las alturas a que se presenta en los barrios de la estación ferroviaria de Salamanca (810 m), las calizas detríticas de la carretera de Valladolid (820-830 m), los cerros al N de los anteriores parajes (878 m): en todos ellos las series se superponen.

Pero al E de la falla de Carbajosa, situada inmediatamente al E de Salamanca, el Mioceno se sitúa sobre 830 m en Cabrerizos (donde se encuentran lentejones margosos); a 858 m en el Teso de la Flecha, y a 860-870 m en los «caleños»

de Cabezabellosa. En estos puntos está discontinuo sobre el Paleógeno (¿paraconforme ó disconforme?).

Localmente, el Mioceno más inferior aflora al W de la falla de Carbajosa, en los taludes de la vía férrea. La serie es fácilmente confundible con el Paleógeno, pero lateralmente pasa a capas más claramente miocénicas. Consiste en un conglomerado compactado de matriz gredo-arcillosa con intercalaciones de areniscas pardo-rojizas.

No hemos encontrado aquí el paso vertical con los «conglomerados de Fuentesauco» pero no dudamos que estas series de la estación ferroviaria constituyen su equivalente. En puntos localizados se pierde el carácter conglomerático pero no el de su cemento.

Lateral y verticalmente hacia arriba la serie pasa a las típicas series rojas de La Armuña. Se trata de conglomerados de matriz arcillosa roja, con impregnaciones muy irregulares y frecuentes de carbonatos.

Hacia la cota 820-830 estos carbonatos se hacen dominantes pero siempre se presentan acompañados de detríticos. Generalmente se pueden considerar margas, pero localmente pueden ser calizas compactas, siempre con granos o cantos cuarcíticos, que hacen más o menos rentable su explotación para cal.

Sobre estas capas carbonatadas vuelven a situarse las series rojas de La Armuña. En realidad se trata de un potente paquete que puede llegar a alcanzar 40 m —o hasta 60— con lentejones calcáreos o margosos a diversas alturas.

Hacia el techo de las series se vuelven de tono grisáceo o blanquecino. Ello se dá especialmente en las cotas 840 a 860 entre Salamanca y Pedrosillo el Ralo. Los lentejones con carbonatos son en esta zona muy poco extensos; más bien se trata de impregnaciones. El tono blanquecino o gris se debe a la presencia dominante de arcillas, rara vez de carbonatos.

Esto mismo puede decirse de los afloramientos miocénicos al N de Cabrerizos.

En el Teso de la Flecha la serie miocénica, claramente disconforme sobre el Paleógeno, comienza con un conglomerado de bloques cementados por areniscas carbonatadas. Su potencia aquí es de 8 m. Es posible que esta capa pase lateralmente a los «caleños» de Cabezabellosa, que esporádicamente aparecen bajo el Cuaternario en la región. Estos «caleños» son muy similares a las «calizas» de Salamanca, aunque su proporción de detríticos es sensiblemente mayor.

Recientemente, en parajes situados al NE del área estudiada se ha podido constatar el paso lateral entre las series rojas y otras no tan claramente miocénicas, lo que avala su datación como de tal edad.

3.3.4. LA FACIES DE GARCIHERNANDEZ

Al E de la falla de Alba-Villoria aflora una potente formación miocénica calculada en más de 90 m, constituida por materiales detríticos, generalmente groseros como su estratificación, cuya característica principal es la abundancia de feldspatos frescos.

Su edad se ha deducido pre-Vallesiense, pudiendo pasar a la base del Vallesiense, por comparación litoestratigráfica con las series de Arévalo (Avila) y Coa (Segovia).

En algunos puntos, en la trayectoria de la falla de Alba-Villoria, especialmente al NNE de Castrejón, se ha observado como esta formación —llamada «de Garcihernández» por ser en esta población donde se describió por vez primera (Jiménez, 1973)— se expande hacia el W. Al SSW de Castrejón, hacia Torrecilla de la Orden, se ha visto lo mismo pero solo en ligeros retazos.

En todos estos retazos se ha observado como su demolición, tanto a un lado como al otro de la falla, provoca la formación de arenales, removidos por coluvionamiento y también eólicamente durante el Cuaternario.

En las cumbres más altas, concretamente en Los Artesones, al N. de Babilafuente, hay uno de estos retazos a una altura tal (925 m) que sugiere un retoque eólico. Por toda la llanura alta de Villoruera-Cabezabellosa-Pitiegua son frecuentes estos arenales desagregados cuya edad exacta es difícil de precisar pues no se sabe con certeza si son las propias «areniscas de Garcihernández» meteorizadas por edafización o si han sido arrastradas eólicamente durante el Cuaternario siendo posteriormente meteorizadas. De aquí su representación doble en la leyenda del mapa (Fig. 10).

La potencia local de estos retazos más o menos extensos es de pocos metros a lo sumo y cubren una plataforma irregular.

Al W de Cabezabellosa cubren incluso el escarpe a la llanura inferior y se extienden someramente por ella, pero aquí su edad es evidentemente muy reciente.

3.4. CUATERNARIO.

A la vista del mapa geológico resalta la gran importancia que tiene el Cuaternario. Importancia que se refiere a su extensión más que a la historia geológica en sí.

Parece ser que el Cuaternario más antiguo de la región se extendió por una amplia plataforma que actualmente se sitúa a alturas entre 860 y 880 m. Aparecen en retazos en la llanura de Cabezabellosa-Pitiegua sus sedimentos representativos: conglomerados de matriz gredosa poco seleccionada, que por lixiviado puede dejar sobre la superficie del terreno un somero canturreal.

Con posterioridad a la sedimentación de este canturreal antiguo tuvo lugar una etapa de intensa acción eólica en regiones relativamente próximas. En la zona, tal como hemos hecho referencia en el apartado anterior, tuvo también lugar esta manifestación, aunque a escala más reducida.

Tuvo lugar a continuación un episodio que marca el paisaje actual: el cambio de curso del Tormes, por captura. Ello hace que el Cuaternario posterior, en la orilla derecha pase a ser marcadamente erosivo, formando escarpes pronunciados. Igualmente los afluentes de esta orilla tienen carácter erosivo, uno de los cuales provoca la formación de la llanura media de Moriscos-Gomecello.

Sobre esta llanura media, recientemente, tiene lugar la deposición de sedimentos, cuya tónica general es el predominio de materiales arcillosos oscuros o grises. Un intenso coluvionamiento cubre el escarpe entre las dos llanuras.

Finalmente, en las márgenes de los actuales cursos de agua se verifica la sedimentación aluvial correspondiente, arenosa en el Tormes, arcillosa en los cauces menores.

4. TOMA DE MUESTRAS

Dados los fines de este estudio se ha procurado tomar las muestras en cantera siempre que ello ha sido posible.

Además de las canteras en explotación actual, existen en la región numerosas abandonadas, que se aprovecharon para fines locales durante el siglo XIX y primer tercio del actual. Otras han sido abandonadas en tiempos más pretéritos y han sido redescubiertas durante las exploraciones geológicas que se vienen realizando durante los últimos quince años por el Departamento de Geología y Mineralogía de la Universidad de Salamanca.

Del mismo modo existen numerosas calicatas antiguas, en unos casos trabajadas con vistas a su utilización como posible piedra de sillería, o simplemente para la obtención de piedra de cercado.

Finalmente, algunas canteras han desaparecido totalmente. Así entre Villamayor y Salamanca, varias canteras han sido cubiertas por la ampliación del Basurero Urbano. Un caso más espectacular por lo infrecuente es el de una vieja y pequeña explotación de la alquería Sorgos, visible aún en las fotografías aéreas de 1957 y hoy totalmente desaparecida, con el camino que a ella conducía, por la concentración parcelaria del terreno. En muchos casos la toma ha sido dificultosa por haberse utilizado las canteras en desuso como basureros.

4.1. CANTERAS EN EXPLOTACION.

Como fundamentales se han tomado las muestras de las canteras actualmente en uso en Villamayor: las de La Moral, Sanchón y Las Puertas.

La posición de las tres es superpuesta y en el mismo orden en que se han mencionado y de ellas se ha procedido a hacer todo el tratamiento físico y químico (Muestras A, B y C).

De la cantera de La Moral se han recogido 3 muestras en el mismo nivel a diferentes distancias (Muestras 81, 82 y 83) (Fig. 14).

Cantera Sanchón: Se ha tomado la muestra 30 (Fig. 15).

Cantera Las Puertas: Muestras nº 29, 84 y 85 (Fig. 16).



Fig. 14.- Canteras de Sanchón, en Villamayor. Vista del frente de explotación activa. La potencia es de 5.30 m (Nov. 1981).

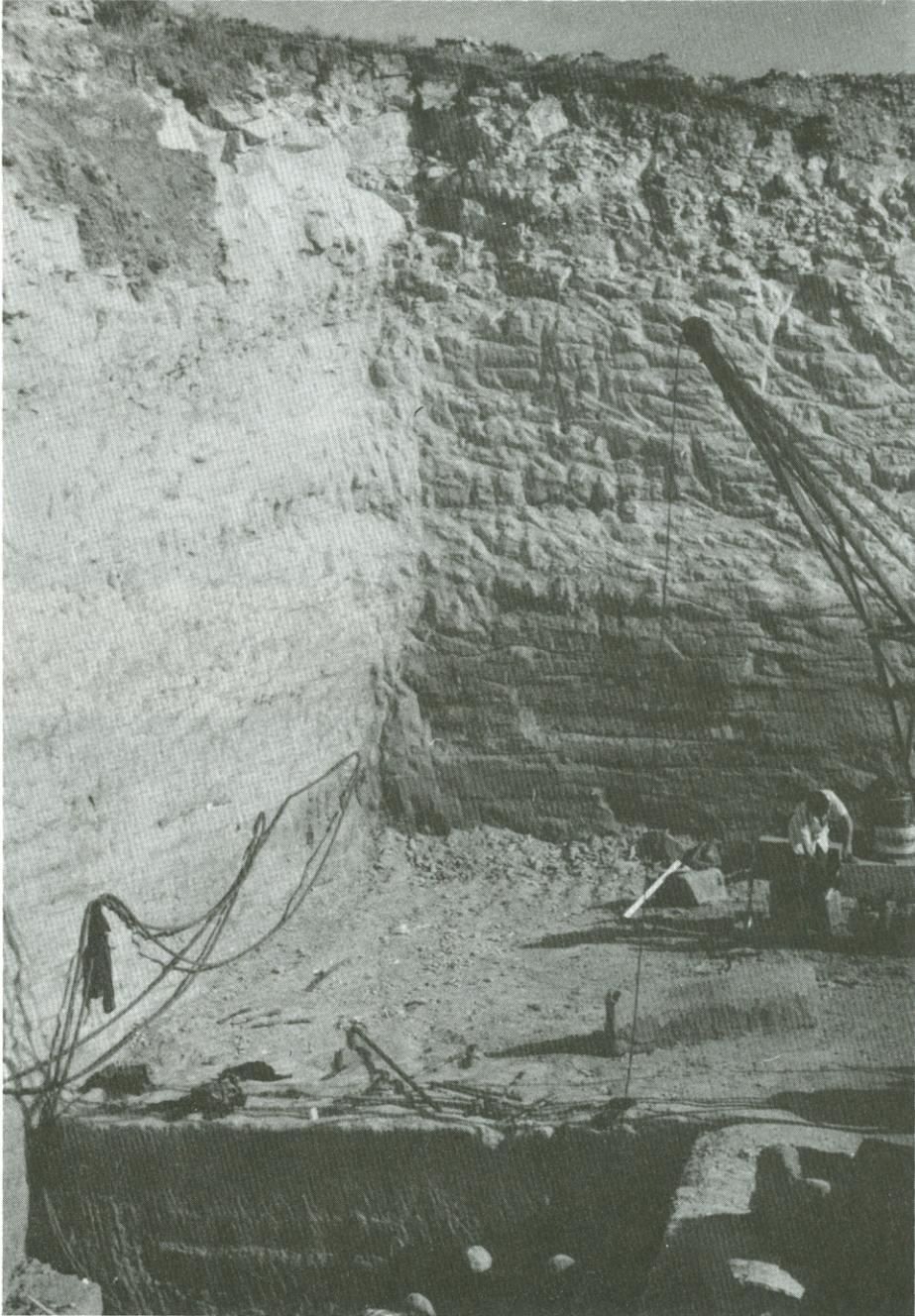


Fig. 15.- Canteras de La Moral, en Villamayor. Frente de explotación activa. La zona mediana, donde está la grúa presenta lajamiento anastomosado. Las zonas inferior y superior son masivas (Nov. 1981).



Fig. 16.- Canteras de La Moral, en Villamayor. Frente de explotación activa. En esta cantera, en octubre de 1981 se extrajo un cocodrilo (*Diplocynodon gracilis*).



Fig. 17.- Canteras de Santibáñez del Río. La capa superior presenta mucho lajamiento. La inferior presenta buenas condiciones de explotación. Abandonadas desde 1920.

4.2. OTRAS CANTERAS Y CALICATAS EN VILLAMAYOR.

Muy próximas a las canteras Sanchón, al SE, hay varias viejas explotaciones en las que puede apreciarse la complicación estratigráfica de la serie superior de dicha cantera. Se han tomado 4 muestras (n.º 22 a 25).

Al S de éstas, otras canteras más pequeñas han suministrado las muestras 20 y 21, y más al S sucesivamente las 18, 19 y 17 en tres sucesivas calicatas. No se han tomado, por ser evidentemente inadecuadas, muestras de los afloramientos prelutecienses, en las que antiguamente también se hicieron calicatas de exploración.

Ocultas hoy por la ampliación del basurero municipal de Salamanca hubo hasta hace no muchos años unas canteras que se explotaron tiempo ha. Algunas muestras recogidas en dicho lugar en 1968 han sido analizadas ahora, (n.º 86, 87) junto a otras del mismo Villamayor (n.º 88, 89, 90).

Cerca de la cantera actualmente en explotación al NE del pueblo, se han tomado 3 muestras dispersas (n.º 28, 91 y 92).

Pese a ser claramente inaprovechables, se han tomado 2 muestras de areniscas (n.º 93 y 94) en los cerros al N (San Miguel) y de Villamayor.

Otras dos (26 y 27) más al N, en canteras abandonadas de Mozodiel de Sanchinigo.

4.3. CANTERAS DE SANTIBAÑEZ DEL RIO.

Como continuación inseparable de la zona de explotación óptima de las areniscas de Villamayor en la orilla izquierda del Tormes hay una serie de antiguas canteras, hoy abandonadas, cubriendo el frente del río. En número de 4, forman en realidad un frente continuo.

Se han tomado en dicha zona las muestras 14, 15 y 16 en las proximidades de Santibáñez del Río; las 95, 96 y 97 en las 3 canteras más al S; las 98, 99 y 100 en diversos puntos de la corta del Canal de Villagonzalo (Fig. 17).

4.4. MUESTRAS DE LA ORILLA IZQUIERDA DEL TORMES, AGUAS ABAJO DE SALAMANCA

4.4.1. DOÑINOS Y CARRASCAL DE BARREGAS

En el término municipal de Doñinos se han tomado las muestras 1 a 7, en serie estratigráfica superpuesta, tomadas en el camino de Santibáñez a Carrascal.

En el término de Carrascal de Barregas, muestras 8 a 13, tomadas en el camino de Barregas a Palacito, en serie estratigráfica superpuesta.

4.4.2. FLORIDA DE LIEBANA Y VILLASELVA

Las muestras 101, 102, han sido tomadas al E del arroyo Villaselva, 1 km al SSW de Florida.

La 103, a 0,5 km al E de Villaselva.

La 104, en la dehesa del Puerto, 2,5 km al E de Villaselva.

105 en «Quiñones», 1,5 km al SE de Florida.

4.4.3. PINO DE TORMES Y ZARATAN

Las muestras 106 y 107 se han tomado en «El Conejar» 1 km al E de Zaratán.

Las 108, 109 y 110 cerca de la presa de Zaratán, sobre la Fuente del Caño.

4.5. ORILLA DERECHA DEL TORMES, AGUAS ABAJO DE SALAMANCA.

4.5.1. ZORITA

Muestras 111 a 114: Escarpes del Tormes, entre Villamayor y Zorita. Areniscas finas.

Muestras 36 y 37: Frente a la Isla de los Patos, cerca de Zorita, 0,5 km al SW de las anteriores.

Muestras 31 a 35: Escarpes del Tormes, en Zorita.

4.5.2. VALVERDON

Muestra 38: 0,5 km al NNW de Valverdón, carretera de Torresmenudas.

Muestra 39: 1,5 km al NW de Valverdón, carretera de Torresmenudas.

Muestra 40: 1,5 km al W de Valverdón.

Muestras 115 a 118: En Los Torrejones.

4.5.3. ALMENARA DE TORMES

Muestras 119 a 121: Teso de Las Viñas.

Muestras 122 a 125: Cerro «El Tarro».

Muestras 126 a 129: Cerro al N de Almenara.

4.6. AGUAS ARRIBA DE SALAMANCA

4.6.1. CABRERIZOS

Muestra 41: Cantera pequeña de areniscas, frente al km 2,800 de la carretera Salamanca-Aldealengua.

Muestra 42: Pequeña cantera en la cima del escarpe, frente al km 4,000 de la misma carretera.

Muestra 43-44: Subida a Cabrerizos. A 800 m de altura, en un fuerte talud, de donde probablemente se extrajo arenisca para uso local.

Muestras 45, 46 y 47: Frente al km 4,800. Tomadas respectivamente en niveles de arenisca, en la cumbre, 10 m por debajo y sobre la trinchera.

Muestras 51 y 52: Escarpes de Los Caenes (km 5,500) Tomadas a media ladera y 15 m por debajo en lentejones gruesos de arenisca.

4.6.2. TESO DE LA FLECHA

Muestras 48, 49 y 50: Tomadas respectivamente a 15 y a 30 m de la cumbre y a 25 m sobre el río Tormes.

Muestras 53 a 56: Huerto de Fray Luis. Tomadas en lechos areniscosos a media ladera y a 3, 4 y 8 m por debajo.

Corresponde a niveles que se han explotado antiguamente.

4.6.3. ALDEALENGUA

Teso del Almendro. Muestras 57 a 60, frente al km 8,000. Tomadas en la cumbre y a 2, 3 y 4 m debajo de ella.

Muestras 61, 62 y 63. Teso del Teatro. Muestras tomadas debajo de las capas conglomeráticas de la cumbre, 15 m por debajo y sobre el ferrocarril.

Muestra 64: Canteras de Aldealengua, 50 m al N de la estación.

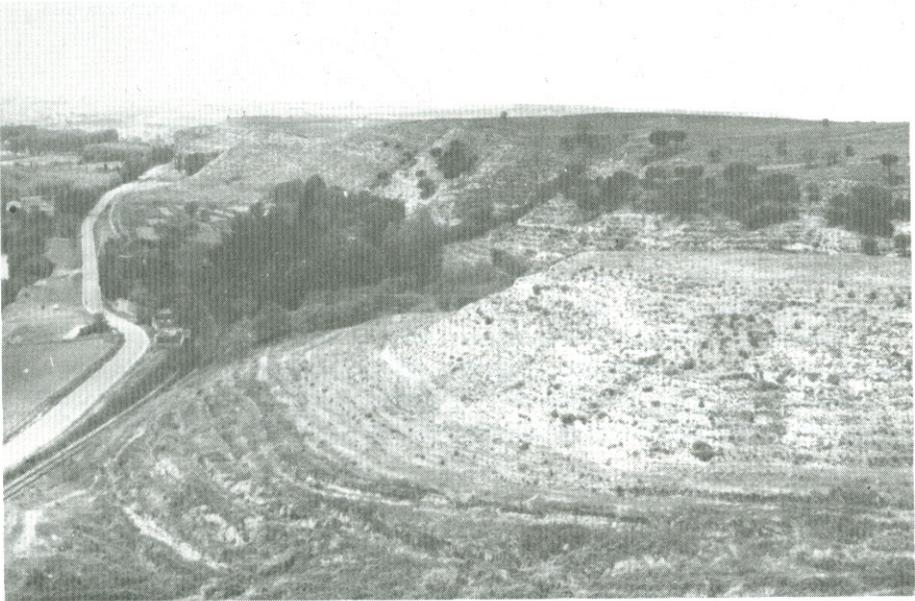


Fig. 18.- Escarpes del Teso de la Flecha. En estos parajes las areniscas son de buena calidad, pero la potencia es pequeña aunque la extensión lateral es grande. Aquí se encontraron tortugas, cocodrilos y mamíferos que definen su edad en el Eoceno Medio Superior (Foto Octubre 1967).

4.6.4. ALDEARRUBIA

En el cerro Terrubio, elevación aislada en la llanura, han sido tomadas dos muestras de areniscas, despreciándose otras muchas que evidentemente no eran explotables. Se trata de los números 65 y 66 (tomadas a 15 y 22 m por debajo de la cumbre). Se trata de areniscas finas de color característico rojo muy peculiar en la zona.

En el Teso de las Canteras, situado al N del anterior, existieron en tiempos unas antiguas canteras, a lo que alude el nombre del Teso en donde se han tomado las muestras 73 y 74. Se trata de areniscas muy similares a las anteriores. Una de ellas de muy buenas condiciones de explotabilidad.

Merced a las obras recientemente efectuadas del canal de Babilafuente se ha podido estudiar con mayor precisión los escarpes del Teso de las Canteras. Tres niveles superpuestos, situados a 28, 15 y 12 m de la cumbre, han suministrado las muestras 130, 131 y 132.

La muestra 75 fue tomada en el cruce del camino de Cabezabellosa a Babilafuente con el de Aldearrubia a Arabayona, en una cantera muy cubierta, casi desaparecida, de la que en tiempos no fijados se sacó piedra para la construcción de una casa próxima, hoy destruída.

4.6.5. BABILAFUENTE

En la montaña del Balneario de Babilafuente (Cerro Artesones) han existido diversas explotaciones locales hoy abandonadas.

Se han tomado las siguientes muestras:

nº 67: A la entrada del camino al Balneario.

nº 68 y 69: Canteras inmediatas al E del Balneario. 2 niveles de areniscas separadas por 1 m de limos arenosos. Aparentemente con carbonatos, colores grises y amarillentos.

nº 70: Cantera inferior abandonada, de menor volumen que la anterior con manos carbonatos, de color rojo.

nº 133: Cantera situada en la finca de D. Alfonso Palomero, de areniscas de grano medio pardo amarillentas.

nº 134 y 135: Canteras situadas cerca de la Fuente Nueva, en un antiguo balneario, al E del actual, hoy abandonado. Son dos niveles de areniscas medias, de color pardo amarillentas con hiladas rojizas.

nº 136: Pared de una fuente situada ya en término de Villorueta, casi cubierta por las obras del canal de Babilafuente. Areniscas finas, rojas.

4.6.6. SAN MORALES

En la orilla derecha del río, próximas a la Aceña de la Fuente, hay dos antiguas canteras de areniscas de grano medio a fino rojizas. Se han tomado las muestras 71 y 82, orientadas de Oeste a Este.

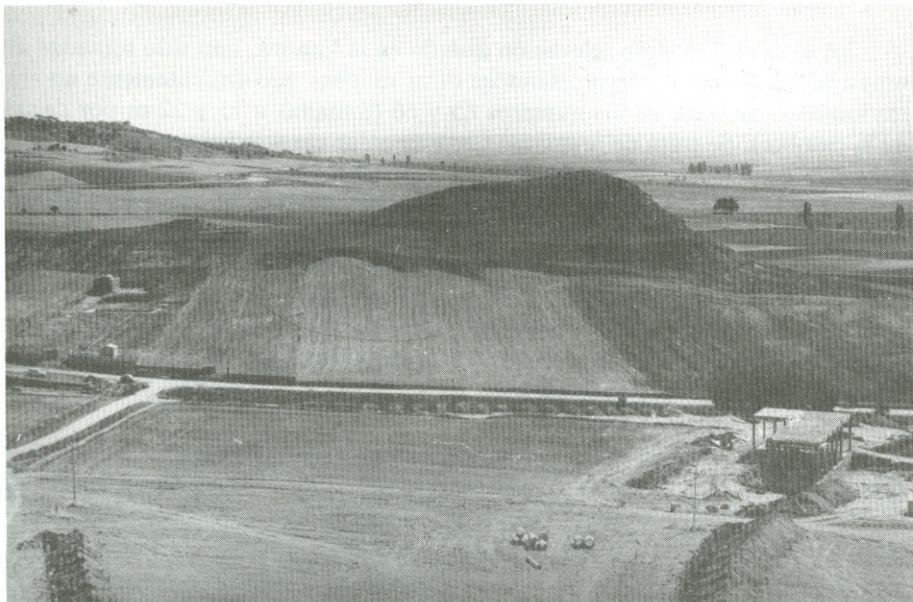


Fig. 19.- Cerro Terrubio, en Aldearrubia. Constituye el mejor afloramiento del Eoceno superior de la zona. Se han encontrado tortugas y cocodrilos muy característicos. Hay buenos niveles de explotación, aunque no muy grandes, en el Teso de las Canteras, desde donde se ha hecho la foto, y en el cerro Artesones que se aprecia al fondo, a la izquierda, pero no en el Terrubio (Foto Noviembre 1981).

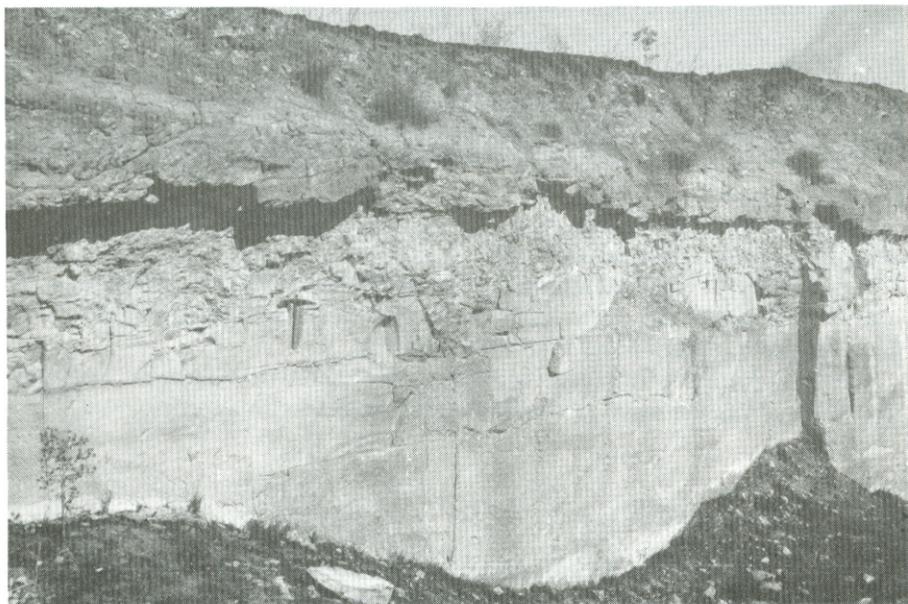


Fig. 19 bis.- Teso de las Canteras, en Aldearrubia. Las areniscas de la capa superior presentan exceso de carbonatos, las de la capa inferior ligero exceso (foto Marzo 1968).

4.6.7. CABEZABELLOSA DE LA CALZADA

A 1,5 km al S de Cabezabellosa, hubo una antigua explotación, la cantera de «El Mimbrón» de areniscas finas blancas y pardo rojizas; en dos niveles, de las que se han tomado las muestras 76 y 77.

En un pozo situado al W de Cabezabellosa, se ha tomado la muestra 137, correspondiente a areniscas de grano medio.

En las mismas condiciones, en otro pozo a 0,5 km al W del anterior, debajo del «Caleño», la muestra 79 es una arenisca fina pardo rojiza con laminaciones pardo-amarillentas.

4.6.8. PITIEGUA

No hay en esta población ninguna explotación de piedra arenisca. Sin embargo al E, debajo de la extensa y llana cubierta cuaternaria, en un pozo, se ha tomado una muestra (a 4 m de profundidad) de arenisca fina pardo-rojiza, la n.º 78.

4.6.9. VILLORIA

En los escarpes al NE de Villoria, cerca de la fuente, camino de Cantalpino, ha sido recogida la muestra 138, de areniscas finas rojizas.

4.6.10. GOMECELLO

300 m al W de la alquería Sorgos, entre Cabezabellosa y Gomecello, se ha tomado la muestra 80, haciendo constar aquí que lo fue en un lugar donde no había sitio donde cogerla in situ. En las fotografías aéreas de 1956 puede verse como existía entonces allí una pequeña cantera de la que hoy no quedan rastros ni caminos. La muestra es de arenisca compacta de grano fino, pardo amarillenta.

5. ESTUDIOS ANTERIORES SOBRE LAS ARENISCAS DE VILLAMAYOR

Los estudios técnicos efectuados con anterioridad se refieren a dos facetas. De un lado está el efectuado por RIBAS & de PRADA (1931) que enfoca la composición química tanto de la arenisca como de su pátina superficial.

De otro los análisis mineralógicos efectuados en 1965 por ARRESE et al.

5.1. ESTUDIOS QUIMICOS DE PRADA Y DE PEDRO

I. RIBAS y P. de PEDRO ante la falta de datos preexistentes establecen en primer lugar la composición química global de la arenisca, referida a tres muestras: Piedra de cantera, piedra vieja sin pátina y pátina superficial, llegando a la conclusión de que no existen diferencias en la composición cuantitativa entre las tres clases, a excepción de la humedad, mayor en la piedra de cantera.

Por lo que se refiere a la pátina, se llega a la conclusión de que el elemento que interviene en su formación es el hierro, descartándose por completo el titanio, y que se produce por un fenómeno de oxidación de hierro ferroso a férrico. Sin embargo el proceso, que podría penetrar profundamente en la roca, no lo hace así debido a que ya al ser extraído de la cantera muestra todo el hierro en forma férrica, aunque en dos formas diferentes, una fácilmente y otra difícilmente solubles en ClH concentrado y caliente; suponen que la primera es un hidróxido y la segunda un silicato. Se descarta a este como formador de la pátina. Como conclusión llegan a afirmar que no existe diferencia cuantitativa ni cualitativa entre la piedra fresca y su pátina, más que en lo referente a la disolución del Fe en los ácidos diluidos, quedan por tanto agentes atmosféricos, siendo únicamente posible una alteración físico-química, probablemente debida a la pérdida de agua y a variación de tamaño de grano con el envejecimiento, con repercusión posible en un cambio en la estructura cristalina del hidróxido férrico.

Basándose en esto exponen un interesante método para la reproducción artificial de la pátina sobre rocas frescas, que por su posible aplicación en obras de restauración, repetiremos literalmente:

«Una disolución de cloruro férrico se precipita con amoníaco; el precipitado se lava bien, se pone en una cápsula y se deseca a 100-110° C en la estufa, hasta peso prácticamente constante. El producto, una vez seco, se pulveriza en un mortero en tres etapas: primero solo, luego mezclado con su peso de polvo de piedra y, por último humedeciendo la mezcla con agua. El polvo obtenido se pone en suspensión en agua en la proporción de 1% de hidróxido, y para estabilizar la

suspensión se agrega 2% de cola. Con este líquido se embebe la piedra que se quiere patinar, hasta conseguir la intensidad de color deseado, siendo la tonalidad obtenida exactamente idéntica a la de la pátina».

5.2. ANALISIS MINERALOGICOS.

Ya en 1931, PRADA & de PEDRO citan cuantitativamente cuarzo y feldespato con cemento caolínico (según San Miguel de la Cámara). IÑIQUEZ HERRERO (1958) indica «como constituyentes: cuarzo, plagioclasa en pequeña cantidad, mica blanca y granos frecuentes de granate e ilmenita».

En 1964, ARRESE et al. estudian detenidamente la cantera próxima al río, actualmente en explotación. Con el paso de los años la estratigrafía del frente explotado muestra más uniformidad, así, no aparece el «codón» o al menos, este estrato calcáreo queda reducido a impregnaciones en fisuras. Posiblemente, todas las capas de peor calidad fueron desmanteladas para la mejor explotación de las capas próximas al nivel freático.

Texturalmente la arenisca está constituida en su fracción ligera por cuarzo y feldespatos, con moscovita y/o biotita. Entre los minerales pesados: granate, epidota, distena, turmalina, óxidos de titanio, circón, andalucita, siendo los dos primeros los más frecuentes, y variando en proporción los demás.

En cuanto a las arcillas, estudiadas por A.T.D. y por rayos X, arrojan un contenido en oxi-hidróxidos de hierro y fundamentalmente illita, con moscovita en algunas muestras.

Se efectúan también estudios granulométricos y de porosidad. Respecto a esta parece que la mejor calidad está comprendida entre 50 y 65%.

5.3. ESTUDIO GEOLOGICO DE BARROSO.

La monografía de M.G. BARROSO (1944) da la impresión de ser de carácter eminentemente didáctico, mostrando amplias dotes para la explicación de fenómenos generales de mineralogía química.

En una primera parte el autor expone un corte geológico muy hipotético, suponiendo una superposición de estratos que no se da en parte alguna de los alrededores de Salamanca y que, es más, resulta imposible, a la vista de los conocimientos actuales.

Lo más interesante de esta monografía es su observación de la alteración de la roca, que motiva un reforzamiento en la base de algunos edificios o la sustitución por otro tipo de roca; la influencia de la situación y orientación de las fachadas, más alteradas de cara al S y al W y la ubicación en zonas húmedas.

Resulta curioso que el autor suponga una mayor acción eólica en las partes altas de los edificios, cuando lo lógico sería todo lo contrario. Más bien se puede suponer de tal hecho que la corrosión alveolar es producida por acción química alrededor de cantos o granos mayores, en rocas de peor calidad.

Acierta al dar gran importancia a los cambios de temperatura, reconociendo que es selectiva, aunque no vemos que relación pueda haber con la que se da en Egipto, donde tan importante es la acción eólica.

Perfectos son los razonamientos sobre la meteorización química, aunque no nuevos, y muy lógica su observación sobre los arrollamientos pluviales que producen mayor erosión en las fachadas con adornos de sentido vertical.

Se trata, en suma, de un trabajo de escaso valor geológico, donde el autor demuestra sus magníficas dotes de observación y de didacta de la química.

6. ESTUDIOS FISICO-QUIMICOS

6.1. ANALISIS QUIMICO DE ELEMENTOS MAYORITARIOS

Para el análisis cuantitativo de los elementos mayores se ha seguido el método que se expone a continuación.

Después de pulverizadas las muestras de arenisca en un molino Tema de ágata hasta alcanzar un tamaño de partícula inferior a las 200 mallas, se pesan 0,100 g de cada muestra y se mezclan 0,50 g de metaborato de litio R.A. Esta mezcla se introduce en un horno dentro de crisol de platino y se calienta hasta 1000° C manteniéndose a esta temperatura durante aproximadamente 12 horas. Transcurrido este tiempo se saca del horno y una vez frío se introduce el crisol de platino con la perla obtenida en un recipiente de polietileno que contiene 100 cc de ácido fenobórico diluido; este ácido después de dos horas de agitación disuelve la perla obtenida por fusión, lo que nos permite la determinación por vía húmeda de los elementos objeto de estudio. Debido a que la concentración de algunos elementos no es la más adecuada para su medida con el equipo instrumental utilizado, se diluyen todas las muestras 10 veces con agua destilada.

Simultáneamente y para hacer posible el análisis se ponen en disolución rocas patrones de composición conocida, siguiendo para ello exactamente el mismo procedimiento que para los problemas.

Las medidas instrumentales se han efectuado en un aparato de análisis por espectrofotometría de absorción atómica marca Jarrell Ash, modelo 82-546, modificado en alguna de sus partes, lo que permite unos resultados muy superiores al modelo original. Con este equipo y empleando las disoluciones obtenidas se han determinado todos los elementos excepto el fósforo que se ha hecho por espectrofotometría de absorción en fase líquida (colorimetría), mediante el procedimiento del vanadato-molibdato haciendo las medidas instrumentales en el conocido modelo Spectronic 20.

La materia volátil se determinó calcinando la muestra en el horno hasta 1000° C en crisol de porcelana hasta peso constante.

Comparando los resultados con los obtenidos por PRADA & de PEDRO (1931) puede comprobarse su casi coincidencia con nuestras muestras (a) y (b). Las diferencias con las otras muestras se pueden explicar teniendo en cuenta la procedencia de las mismas. Así, la muestra (c) de la cantera Las Puertas, de Villamayor, tiene mas Ca, lo que puede ser debido a la cercanía vertical del Mioceno; las de Aldearrubia y Babilafuente aún son más cálcicas, probablemente debido a su origen en un clima más árido que las anteriores. Los resultados de las muestras de Aldealengua pueden considerarse normales.

TABLA I
ANALISIS QUIMICO DE ARENISCAS TERCIARIAS
DE SALAMANCA

| | a | b | c | d | e | f | g |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 85,62 | 86,12 | 84,93 | 82,15 | 80,21 | 77,49 | 86,32 |
| Al ₂ O ₃ | 4,57 | 4,32 | 4,81 | 4,35 | 4,87 | 6,12 | 4,32 |
| K ₂ O | 0,17 | 0,14 | 0,20 | 0,16 | 0,19 | 0,83 | 0,15 |
| Na ₂ O | 0,33 | 0,30 | 0,30 | 0,34 | 0,32 | 0,31 | 0,30 |
| CaO | 0,04 | 0,05 | 0,54 | 1,07 | 0,92 | 0,55 | 0,12 |
| Fe ₂ O ₃ | 1,52 | 1,86 | 1,63 | 3,27 | 3,42 | 1,98 | 2,35 |
| MgO | 2,52 | 2,82 | 3,01 | 2,34 | 2,91 | 3,12 | 1,71 |
| TiO ₂ | 0,45 | 0,42 | 0,39 | 0,47 | 0,43 | 0,51 | 0,61 |
| P ₂ O ₅ | 0,83 | 0,85 | 0,80 | 1,12 | 1,25 | 1,91 | 0,93 |
| M.V. | 3,88 | 3,10 | 3,25 | 4,80 | 5,25 | 7,02 | 3,00 |

- a) Villamayor. Cantera de La Moral. Arenisca feldespática.
b) Villamayor. Cantera de Sanchón. Arenisca feldespática.
c) Villamayor. Cantera de las Puertas. Arenisca arcósica; cemento ligeramente carbonatado.
d) Aldearrubia. Cantera del Teso. Arenisca arcósica roja, cemento arcilloso-carbonatado.
e) Babilafuente. Cantera de La Fuente Nueva. Arenisca arcósica roja.
f) Teso de la Flecha. (Aldealengua). Arenisca arcósica, cemento arcilloso, ligeramente carbonatado.
g) Huerto de Fray Luis (Aldealengua). Arenisca feldespática.

6.2. CONTENIDO EN CARBONATOS

El magnesio y calcio contenidos en 0,1 g de cada muestra fueron disueltos por ácido clorhídrico en concentración acuosa 0,1 M y se han determinado utilizando un aparato de absorción atómica Jarrell-Ash*; la llama empleada para ambos elementos ha sido la de óxido nitroso-acetline; por este procedimiento se analizan fácilmente, con límites de detección de 10 ppb para el Ca y 2 ppb para el Mg. Debido al gran número de muestras analizadas y a la variabilidad en las concentraciones y con objeto de hacer una sola medida para cada muestra se establecieron las concentraciones por debajo de las cuales no se realizaba análisis en 0,1% para el Mg.

Como patrones se usaron los carbonatos Lafatsch y Topla del Instituto Geotécnico de Viena, haciéndose la puesta en solución con el mismo ácido clorhídrico solución acuosa 0,1 M y haciendo las diluciones necesarias.

Para comprobar la bondad de los resultados, se calculó la pérdida de volátiles entre 300° y 1000° C, obteniéndose en todos los casos buena concordancia con la correspondiente pérdida de CO₂.

Para evitar el error que podía suponer la presencia de sulfatos, como el calcio es parcialmente soluble en ácido clorhídrico 0,1 M, se comprobó la ausencia de sulfatos en los líquidos analizados por absorción atómica, utilizando una disolución de Cl₂Ba al 1%.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla III, columna de la izquierda.

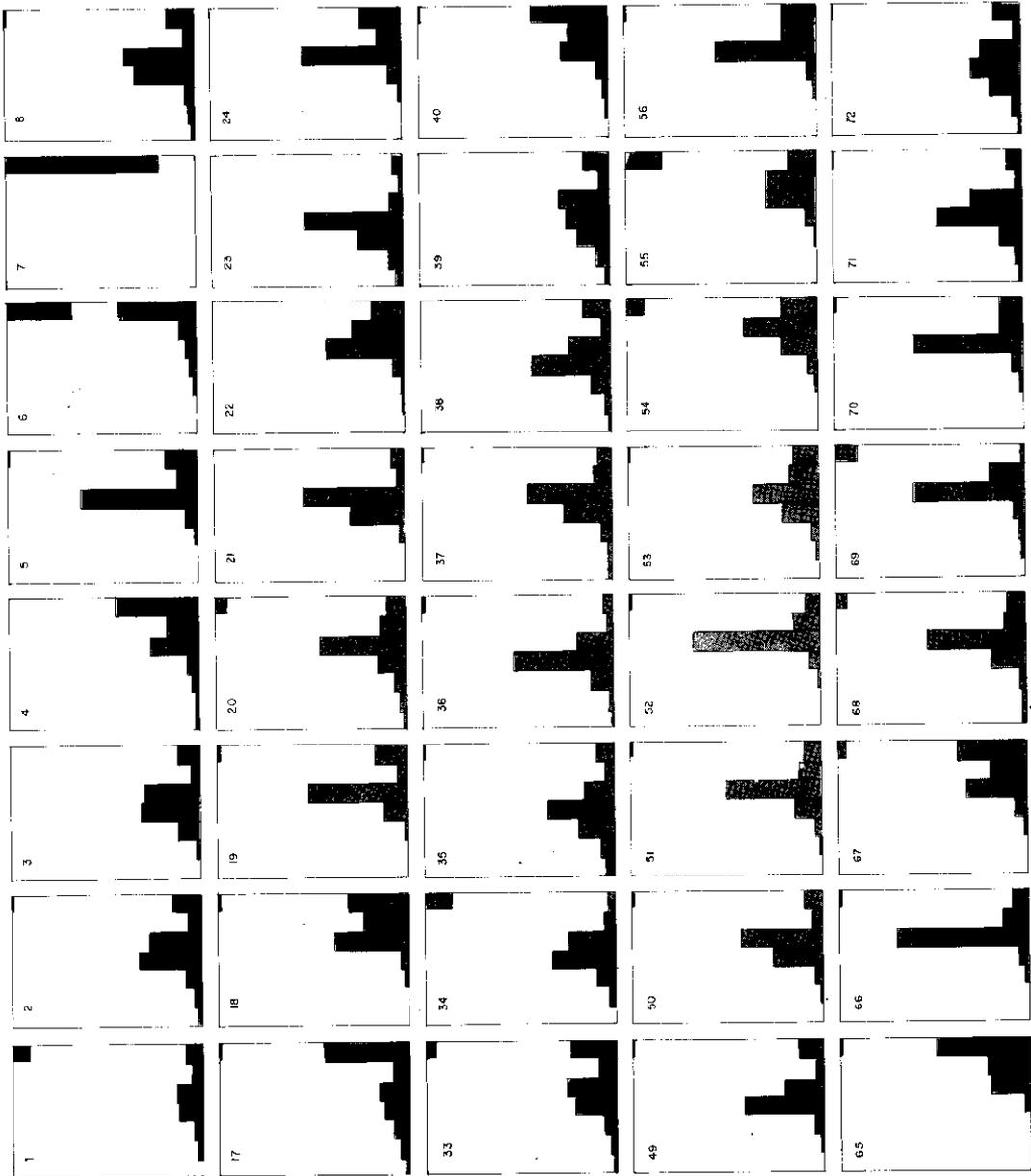
6.3. GRANULOMETRIA

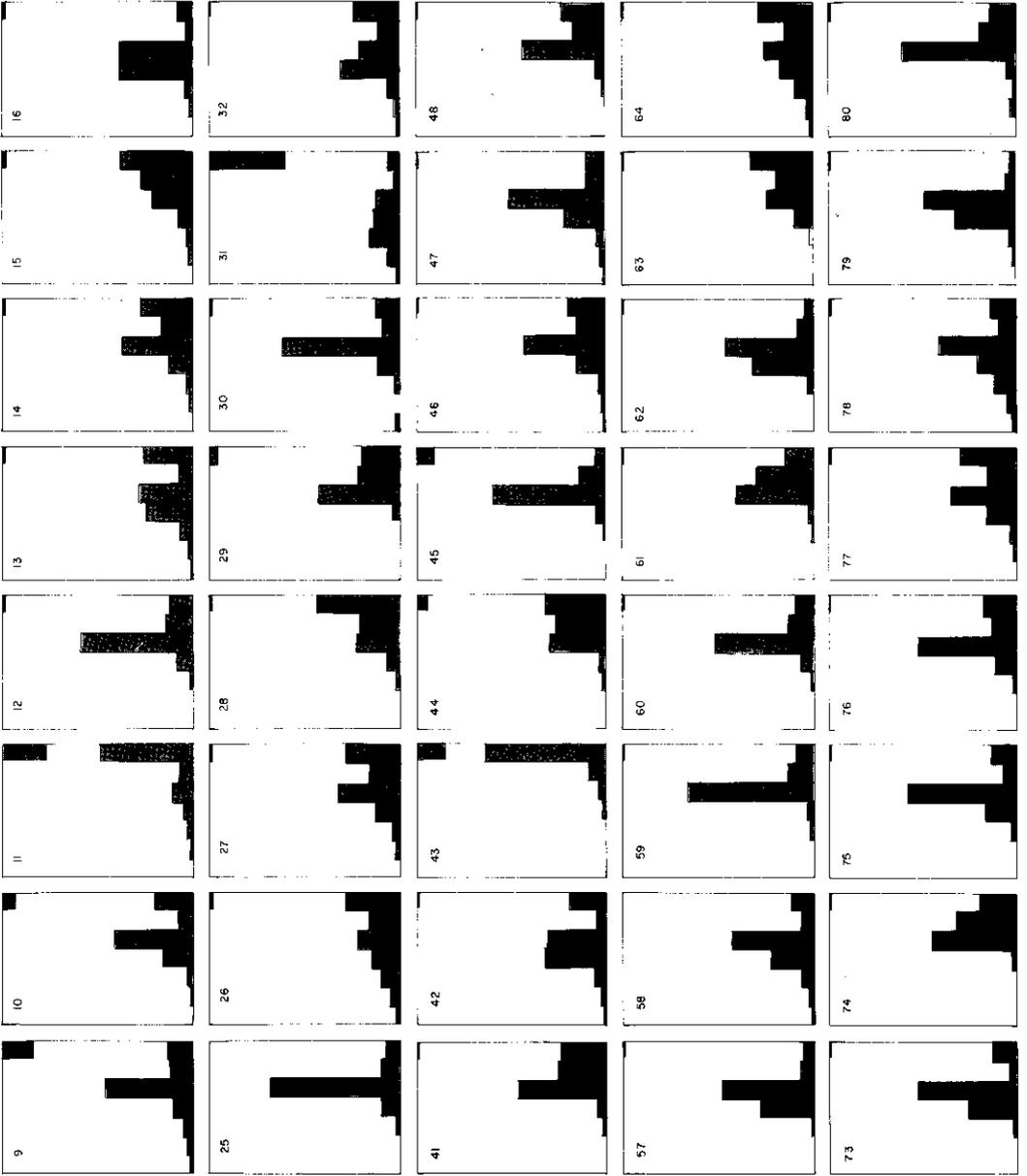
6.3.1. TRATAMIENTO

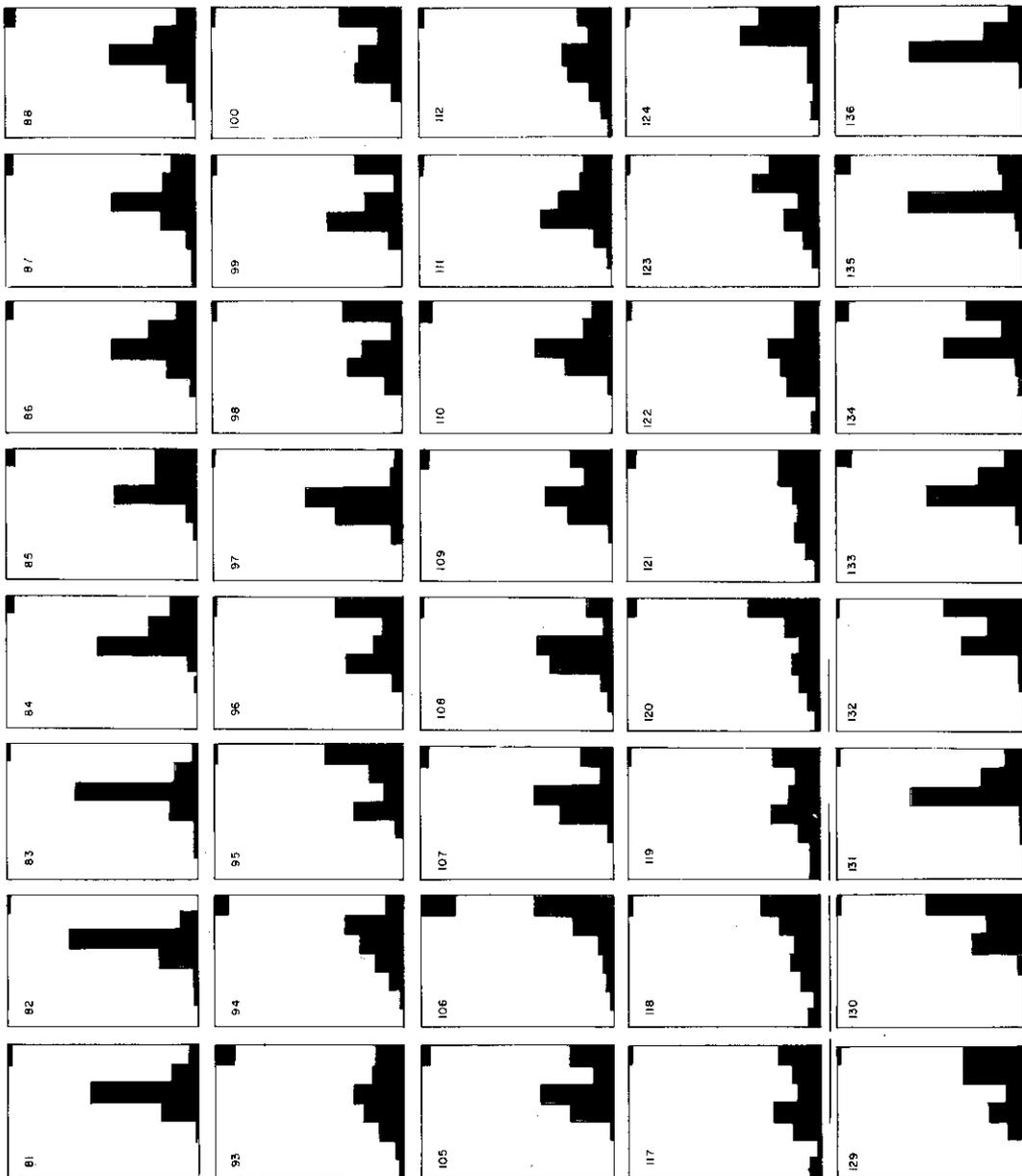
Para el análisis granulométrico se tomaron 100 gr. de cada muestra, que dado el tamaño de grano de las mismas se consideró suficientemente representativo. Las muestras fueron posteriormente sumergidas en agua para su desagregación. Un elevado número de ellas se desagregó mediante este simple tratamiento, en algunos casos bastante prolongado, pero algunas de ellas, cementadas por carbonatos o por sílice fueron tratadas con ácido clorhídrico diluido las primeras o por KOH caliente en último caso.

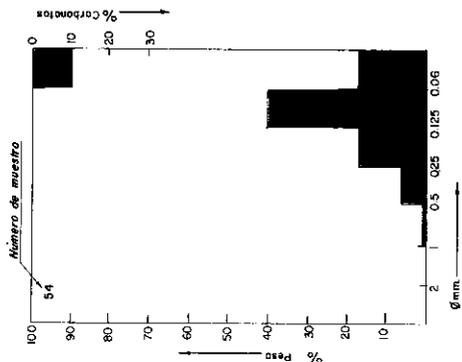
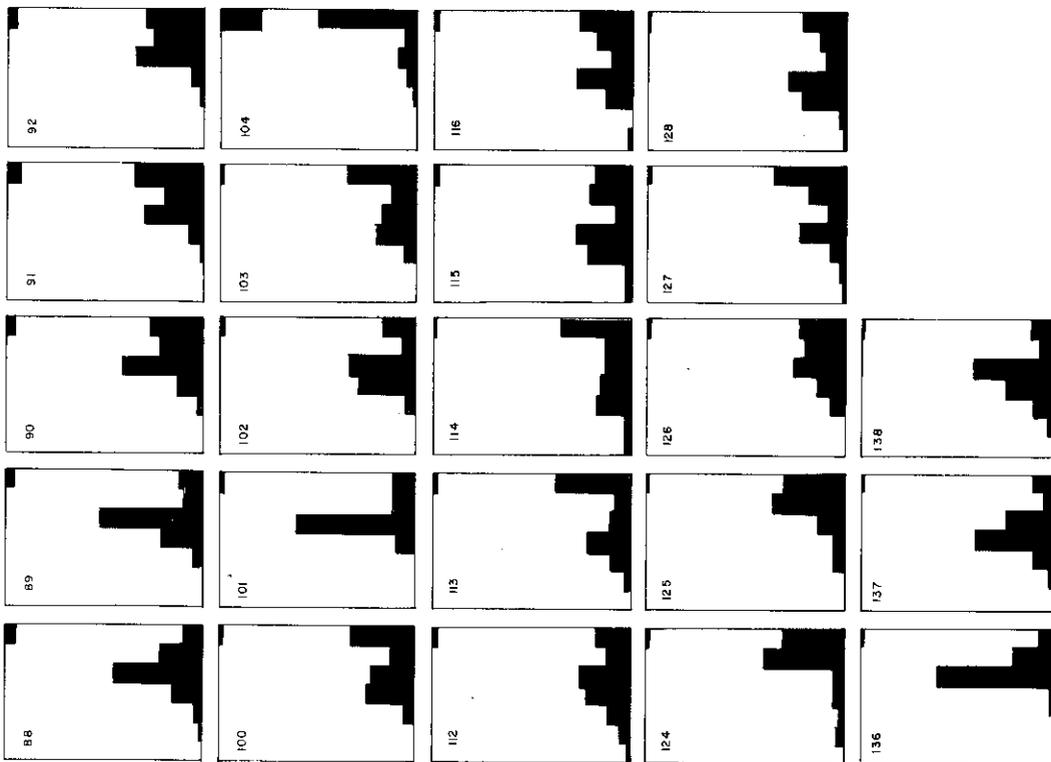
Posteriormente se trataron en un agitador mecánico de paletas durante una hora para lograr la total desagregación y una mejor dispersión de las partículas finas, para lo cual se añadió al agua Hexametrafosfato sódico. Una vez desagregadas se procedió a su tamizado en húmedo, separándose tres fracciones, mayor

* Modelo 82-546 (el mismo que se ha empleado para el análisis de elementos mayoritarios).









| | | | | |
|--|-------------------|---------------------------|---------------------|--------|
| INSTITUTO DE GEOLOGIA APLICADA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA Y MINERALOGIA "INSTITUTO F. P. RODRIGUEZ FABRES" | | HISTORAMAS GRANULOMETRICO | | CLAVE: |
| | | FECHA: 1981-82 | DIBUJADO: J. Romero | |
| COMPROBADO: E. Jimenez | AUTOR: E. Jimenez | ARENISCAS DE VILLAMAYOR | | Nº |
| ESCALA: | | | | |

de 0,5 mm; 0,5 mm-0,06 mm y menor de 0,06 mm. Las dos mayores se secaron para su posterior tamizado en seco mediante vibración. La fracción menor de 0,06 mm se recogió, pesó y en algunos casos se trató por difracción de rayos X para la identificación de los minerales que la componen.

La parte de muestra recogida en cada uno de los tamices utilizados (de mallas 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 y 0,062 mm) se pesó y fue puesta en datos porcentuales. Estos se presentan gráficamente en la Fig. 20 (1 y 2) por ser de gran visualización práctica.

Los resultados numéricos, en porcentajes acumulados, son de gran importancia estadística. Se presentan en la Tabla III-1 (muestras 1 a 80) y III-2 (muestras 81 a 136).

Las 80 primeras muestras habían sido ya tratadas antes de comenzar este trabajo, pero no analizadas estadísticamente.

6.3.2. ANALISIS ESTADISTICO

Para una representación numérica de las curvas granulométricas se han obtenido los valores de la mediana (Md) o tamaño que tiene el 50% de los granos, los cuartiles Q_1 y Q_3 o tamaños de grano que tienen el 25 y 75% y los deciles P_{10} y P_{90} o tamaños con el 10 y 90% respectivamente. Estos valores se han obtenido gráficamente a partir de curvas acumuladas en escala de probabilidad (Fig. 21). Los resultados de las 80 primeras muestras, inéditas, se presentan en la Tabla IV.

Las curvas obtenidas se definen numéricamente a partir de los parámetros ya mencionados, considerados «de rango» y de los parámetros de relación. Estos representan alguna característica del conjunto de valor estadístico.

Se han tomado los siguientes:

Dispersión o clasificación (Shorting). Matemáticamente es Q_3/Q_1 . Mide la desviación en la clasificación de un sedimento e indica la oscilación en la energía cinética en el ambiente sedimentario respecto a su valor medio.

Asimetría. $Q_3 \cdot Q_1 / Md^2$

Determina numéricamente la asimetría en la distribución de frecuencias marcando la posición de la media respecto a la mediana; si la media se desplaza hacia los tamaños gruesos la asimetría es negativa.

Angulosidad (Curtosis). $\frac{Q_3 - Q_1}{2 (P_{90} - P_{10})}$

Manifiestan la agudeza de la curva de frecuencia como relación de la proximidad entre los valores externos y los externos centrales. El valor normal es 0,263; en curvas angulosas, valores mayores.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla V.

La interpretación de resultados se expresa en el apartado 6.9.

TABLA III.1
DATOS GRANULOMETRICOS. PORCENTAJES ACUMULADOS

| Muestra n.º | % CO ₃ (Ca + Mg) | < 0,06 | < 0,125 | < 0,25 | < 0,50 | < 1 | < 2 | > 2 |
|-------------|-----------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 55 | 62,40 | 67,4 | 80,83 | 93,38 | 98,23 | 100,00 | 100,22 |
| 2 | 1,59 | 18,02 | 25,36 | 53,54 | 89,14 | 97,65 | 99,51 | 99,80 |
| 3 | 1,0 + (<0,4) | 13,40 | 18,82 | 49,93 | 85,07 | 97,74 | 99,77 | 99,89 |
| 4 | 0,5 + (<0,4) | 46,56 | 65,47 | 93,60 | 98,50 | 99,67 | 100,28 | 100,40 |
| 5 | 1,0 + (<0,4) | 18,95 | 29,15 | 93,67 | 99,95 | 100,35 | 100,40 | 100,40 |
| 6 | 25,0 + 10,5 | 78,26 | 87,94 | 93,61 | 97,54 | 99,70 | 100,00 | 100,00 |
| 7 | 80 | — | — | — | — | — | — | — |
| 8 | 0,7 + (<0,4) | 16,60 | 22,6 | 59,95 | 92,85 | 97,56 | 99,52 | 100,02 |
| 9 | 12 + 4,6 | 28,99 | 39,94 | 85,63 | 96,64 | 98,90 | 99,82 | 100,00 |
| 10 | 3,5 + 1,2 | 28,30 | 37,51 | 79,44 | 98,56 | 99,88 | 99,99 | 100,00 |
| 11 | 14,30 + 7,11 | 71,93 | 80,42 | 92,16 | 97,30 | 99,27 | 99,97 | 100,00 |
| 12 | 0,7 + (<0,4) | 15,50 | 30,14 | 91,02 | 99,56 | 100,01 | 100,08 | 100,08 |
| 13 | 0,7 + (<0,4) | 27,90 | 35,93 | 66,37 | 93,33 | 99,24 | 99,92 | 100,04 |
| 14 | 0,7 + (<0,4) | 30,10 | 47,42 | 86,31 | 99,09 | 99,92 | 100,03 | 100,03 |
| 15 | 0,9 + (<0,4) | 40,10 | 68,82 | 92,07 | 98,98 | 100,11 | 100,23 | 100,26 |
| 16 | 1,25 + (<0,4) | 11,01 | 14,73 | 55,50 | 96,25 | 99,89 | 100,21 | 100,25 |
| 17 | 0,50 + (<0,4) | 46,90 | 56,25 | 72,56 | 85,98 | 94,60 | 98,95 | 100,36 |
| 18 | 0,8 + (<0,4) | 33,20 | 59,13 | 97,55 | 99,93 | 100,24 | 100,28 | 100,28 |
| 19 | 0,7 + (<0,4) | 20,70 | 27,95 | 84,75 | 99,47 | 99,99 | 100,04 | 100,04 |
| 20 | 3,7 + 1,7 | 15,77 | 28,98 | 77,93 | 94,17 | 98,28 | 99,63 | 100,00 |
| 21 | 0,2 + (<0,4) | 7,00 | 11,66 | 67,31 | 98,95 | 99,93 | 100,00 | 100,00 |
| 22 | 0,4 + (<0,4) | 19,93 | 49,88 | 92,98 | 99,14 | 100,09 | 100,20 | 100,20 |
| 23 | 0,4 + (<0,4) | 3,64 | 4,22 | 8,56 | 61,72 | 88,34 | 97,58 | 100,30 |
| 24 | 0,5 + (<0,4) | 24,43 | 38,24 | 92,37 | 99,85 | 100,18 | 100,20 | 100,20 |
| 25 | 0,4 + (<0,4) | 9,31 | 19,49 | 89,21 | 99,79 | 100,17 | 100,20 | 100,20 |
| 26 | 0,7 + (<0,4) | 31,35 | 47,37 | 69,37 | 84,70 | 95,69 | 99,12 | 100,10 |
| 27 | 4,5 + 1,8 | 31,33 | 46,89 | 83,11 | 96,63 | 99,46 | 100,04 | 100,10 |
| 28 | 1 + 1,25 | 48,43 | 70,63 | 93,93 | 99,46 | 99,98 | 100,00 | 100,00 |
| 29 | 5 | 26,33 | 49,78 | 97,17 | 99,99 | 100,10 | 100,11 | 100,11 |
| 30 | 0,54 + 0,73 | 14,10 | 23,78 | 87,95 | 99,68 | 100,20 | 100,23 | 100,26 |

Tabla III.1

DATOS GRANULOMETRICOS. PORCENTAJES ACUMULADOS (Continuación)

| Muestra n° | % CO ₃ (Ca + Mg) | < 0,06 | < 0,125 | < 0,25 | < 0,50 | < 1 | < 2 | > 2 |
|------------|-----------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 31 | 28,6 + 11,5 | 46,09 | 49,20 | 58,60 | 74,11 | 91,11 | 98,73 | 100,00 |
| 32 | 2,14 + 1 | 28,37 | 39,82 | 60,81 | 92,66 | 96,79 | 99,57 | 100,01 |
| 33 | 4,64 + 1,25 | 31,25 | 41,25 | 68,33 | 91,49 | 97,97 | 99,92 | 100,00 |
| 34 | 11,5 + 3,6 | 19,24 | 24,72 | 50,58 | 84,67 | 96,08 | 99,25 | 100,00 |
| 35 | 0,8 + (< 0,4) | 11,20 | 14,68 | 31,66 | 66,60 | 86,59 | 86,85 | 91,18 |
| 36 | 3,2 + (< 0,4) | 6,71 | 9,24 | 30,70 | 86,63 | 98,59 | 99,99 | 100,10 |
| 37 | 1,25 + (< 0,4) | 9,95 | 18,80 | 65,31 | 93,42 | 98,45 | 99,34 | 100,05 |
| 38 | 0,5 + (< 0,4) | 15,28 | 20,30 | 43,93 | 85,61 | 97,38 | 99,99 | 100,20 |
| 39 | 0,5 + (< 0,4) | 15,40 | 23,17 | 50,10 | 53,61 | 70,76 | 78,35 | 80,21 |
| 40 | 1,43 + 1,15 | 43,61 | 66,15 | 93,60 | 98,70 | 99,69 | 99,97 | 100,00 |
| 41 | 0,8 + (< 0,4) | 25,96 | 51,01 | 97,19 | 100,34 | 100,55 | 100,60 | 100,60 |
| 42 | 0,7 + (< 0,4) | 21,82 | 26,57 | 58,45 | 92,68 | 98,87 | 98,86 | 100,10 |
| 43 | 10,34 + 5,54 | 84,27 | 95,34 | 99,15 | 99,80 | 99,95 | 100,00 | 100,00 |
| 44 | 6,43 + 0,88 | 39,39 | 67,48 | 98,43 | 99,84 | 99,99 | 100,00 | 100,00 |
| 45 | 9 + 0,5 | 16,22 | 32,03 | 93,97 | 99,49 | 99,95 | 100,00 | 100,00 |
| 46 | 0,8 + (< 0,4) | 22,38 | 39,34 | 81,63 | 97,59 | 99,55 | 100,00 | 100,10 |
| 47 | 2,6 + (< 0,4) | 13,33 | 23,53 | 74,38 | 95,94 | 98,66 | 99,67 | 100,00 |
| 48 | 1 + (< 0,4) | 29,41 | 48,54 | 95,36 | 100,48 | 100,90 | 100,95 | 101,00 |
| 49 | 0,7 + (< 0,4) | 19,40 | 24,82 | 48,20 | 93,38 | 99,83 | 100,07 | 100,10 |
| 50 | 1,8 + (< 0,4) | 13,35 | 20,07 | 65,81 | 95,24 | 99,92 | 100,20 | 100,20 |
| 51 | 2,7 + (< 0,4) | 12,80 | 26,65 | 80,16 | 97,13 | 99,46 | 99,95 | 100,00 |
| 52 | 0,7 + (< 0,4) | 10,45 | 24,65 | 93,86 | 100,02 | 100,10 | 100,10 | 100,10 |
| 53 | 0,8 + (< 0,4) | 19,16 | 38,05 | 75,66 | 96,80 | 99,81 | 99,96 | 99,99 |
| 54 | 9 + (< 0,4) | 30,20 | 70,26 | 92,95 | 99,74 | 99,99 | 100,00 | 100,00 |
| 55 | 20 + (< 0,4) | 34,95 | 63,12 | 91,24 | 99,64 | 99,99 | 100,00 | 100,00 |
| 56 | 1 + (< 0,4) | 20,84 | 39,35 | 94,01 | 100,05 | 100,18 | 100,20 | 100,20 |
| 57 | 1,25 + (< 0,4) | 9,09 | 16,63 | 67,92 | 99,26 | 100,13 | 100,20 | 100,20 |
| 58 | 0,5 + (< 0,4) | 12,96 | 19,20 | 66,60 | 92,63 | 98,36 | 100,00 | 100,20 |
| 59 | 0,8 + (< 0,4) | 11,24 | 27,30 | 96,67 | 100,00 | 100,17 | 100,20 | 100,20 |
| 60 | 0,9 + (< 0,4) | 13,35 | 28,27 | 81,48 | 88,65 | 88,97 | 88,98 | 88,98 |

TABLA III.1
DATOS GRANULOMETRICOS. PORCENTAJES ACUMULADOS (continuación)

| Muestra n.º | % CO ₃ (Ca + Mg) | < 0,06 | < 0,125 | < 0,25 | < 0,50 | < 1 | < 2 | > 2 |
|-------------|-----------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 61 | 2,2 + (< 0,4) | 20,35 | 54,36 | 97,23 | 99,95 | 100,09 | 100,10 | 100,10 |
| 62 | 1,25 + (< 0,4) | 9,45 | 16,53 | 64,17 | 96,86 | 99,69 | 99,74 | 99,75 |
| 63 | 3,2 + 0,9 | 38,54 | 60,83 | 88,61 | 99,39 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 64 | 0,9 + (< 0,4) | 29,12 | 44,95 | 69,56 | 87,60 | 97,73 | 99,88 | 100,20 |
| 65 | 0,7 + (< 0,4) | 52,19 | 76,12 | 98,65 | 99,97 | 100,06 | 100,10 | 100,10 |
| 66 | 0,7 + (< 0,4) | 9,93 | 23,72 | 94,95 | 99,95 | 100,08 | 100,10 | 100,10 |
| 67 | 6,1 + 1 | 42,07 | 63,28 | 95,20 | 102,29 | 102,86 | 102,90 | 102,90 |
| 68 | 5 + (< 0,4) | 14,69 | 26,46 | 79,95 | 98,80 | 99,81 | 99,80 | 99,92 |
| 69 | 12,5 + (< 0,4) | 13,84 | 34,85 | 94,06 | 98,85 | 99,95 | 100,08 | 100,08 |
| 70 | 2,7 + (< 0,4) | 18,79 | 33,69 | 91,89 | 99,61 | 100,06 | 100,10 | 100,10 |
| 71 | 2,6 + (< 0,4) | 9,33 | 12,08 | 39,14 | 85,16 | 98,66 | 99,98 | 100,10 |
| 72 | 4,9 + 1,2 | 20,19 | 24,40 | 48,00 | 76,66 | 94,86 | 99,70 | 100,00 |
| 73 | 0,7 + (< 0,4) | 14,66 | 17,11 | 70,69 | 99,44 | 100,08 | 100,10 | 100,10 |
| 74 | 0,7 + (< 0,4) | 22,74 | 54,14 | 98,27 | 100,04 | 100,09 | 100,10 | 100,10 |
| 75 | 0,7 + (< 0,4) | 15,31 | 23,31 | 81,37 | 99,79 | 100,06 | 100,10 | 100,10 |
| 76 | 0,7 + (< 0,4) | 19,33 | 32,62 | 86,67 | 99,13 | 100,04 | 100,10 | 100,10 |
| 77 | 0,7 + (< 0,4) | 32,09 | 46,67 | 82,91 | 98,13 | 100,00 | 100,10 | 100,10 |
| 78 | 0,1 + (< 0,4) | 12,61 | 21,25 | 62,43 | 83,51 | 94,34 | 98,38 | 99,12 |
| 79 | 0,5 + (< 0,4) | 3,17 | 9,11 | 60,18 | 97,64 | 99,96 | 100,10 | 100,10 |
| 80 | 0,8 + (< 0,4) | 16,06 | 36,70 | 97,16 | 99,35 | 99,84 | 99,97 | 100,00 |

TABLA III.2
DATOS GRANULOMETRICOS. PORCENTAJES ACUMULADOS

| Muestra n.º | % CO ₃ (Ca + Mg) | < 0,06 | < 0,125 | < 0,25 | < 0,50 | < 1 | < 2 | > 2 |
|-------------|-----------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 81 | 0,43 + 0,42 | 7,30 | 22,57 | 79,72 | 98,94 | 99,41 | 99,53 | 99,58 |
| 82 | 1,22 + (< 0,4) | 2,90 | 13,28 | 81,71 | 101,94 | 102,92 | 103,15 | 103,16 |
| 83 | 0,52 + (< 0,4) | 4,27 | 17,48 | 82,61 | 97,73 | 99,35 | 99,50 | 99,50 |
| 84 | 3,21 + 0,65 | 17,77 | 41,25 | 93,46 | 98,59 | 99,01 | 99,06 | 99,06 |
| 85 | 4,21 + 1,62 | 27,26 | 47,44 | 90,37 | 96,65 | 97,72 | 97,80 | 97,81 |
| 86 | 2,95 + 1,12 | 14,19 | 37,64 | 81,55 | 96,97 | 99,90 | 100,12 | 100,27 |
| 87 | 3,91 + (< 0,4) | 15,24 | 30,62 | 73,83 | 92,08 | 96,21 | 97,36 | 99,44 |
| 88 | 3,21 + 1,27 | 13,50 | 34,63 | 79,81 | 95,09 | 98,21 | 99,23 | 99,23 |
| 89 | 2,78 + 1,52 | 14,43 | 23,88 | 74,90 | 76,08 | 100,23 | 101,55 | 102,05 |
| 90 | 2,45 + 1,21 | 29,07 | 46,69 | 88,88 | 99,31 | 101,44 | 101,46 | 101,55 |
| 91 | 3,15 + 1,52 | 39,84 | 60,67 | 90,99 | 98,27 | 99,48 | 99,53 | 99,53 |
| 92 | 2,02 + 1,05 | 32,49 | 57,54 | 93,16 | 99,58 | 100,48 | 100,53 | 100,63 |
| 93 | 7,28 + 2,21 | 24,81 | 41,22 | 66,36 | 87,18 | 98,63 | 100,91 | 102,06 |
| 94 | 6,53 + 1,15 | 18,60 | 50,78 | 74,68 | 90,11 | 98,45 | 99,58 | 100,09 |
| 95 | 0,90 + (< 0,4) | 41,42 | 60,47 | 70,82 | 97,95 | 101,97 | 102,09 | 102,09 |
| 96 | 0,90 + (< 0,4) | 36,46 | 46,73 | 62,64 | 92,66 | 98,81 | 99,06 | 99,06 |
| 97 | 1,10 + (< 0,4) | 5,67 | 10,80 | 61,22 | 97,05 | 102,37 | 102,52 | 102,56 |
| 98 | 1,25 + (< 0,4) | 33,85 | 39,87 | 61,00 | 91,41 | 101,49 | 101,59 | 101,59 |
| 99 | 2,10 + (< 0,4) | 27,69 | 31,84 | 52,86 | 92,95 | 100,10 | 100,35 | 100,35 |
| 100 | 0,70 + (< 0,4) | 34,52 | 47,07 | 70,28 | 95,41 | 100,53 | 100,58 | 100,58 |
| 101 | 0,70 + (< 0,4) | 15,08 | 28,71 | 89,83 | 98,95 | 99,46 | 99,48 | 99,48 |
| 102 | 0,7 + (< 0,4) | 19,55 | 28,00 | 63,13 | 93,55 | 98,67 | 99,30 | 99,45 |
| 103 | 0,7 + (< 0,4) | 37,52 | 52,73 | 70,85 | 91,98 | 99,12 | 99,63 | 99,81 |
| 104 | 14,05 + 6,32 | 71,70 | 79,33 | 89,85 | 96,99 | 99,22 | 100,02 | 100,12 |
| 105 | 4,30 + 1,1 | 27,28 | 37,71 | 75,92 | 98,05 | 99,40 | 99,60 | 99,60 |
| 106 | 12,24 + 5,35 | 58,71 | 80,62 | 89,67 | 95,88 | 99,03 | 99,70 | 99,70 |
| 107 | 3,60 + 1,2 | 21,94 | 27,63 | 67,90 | 95,02 | 97,15 | 97,30 | 97,30 |
| 108 | 0,5 + (< 0,4) | 13,92 | 19,13 | 59,23 | 90,72 | 95,74 | 97,86 | 98,46 |
| 109 | 3,5 + 1,5 | 25,19 | 39,14 | 74,38 | 98,20 | 99,35 | 99,48 | 99,48 |

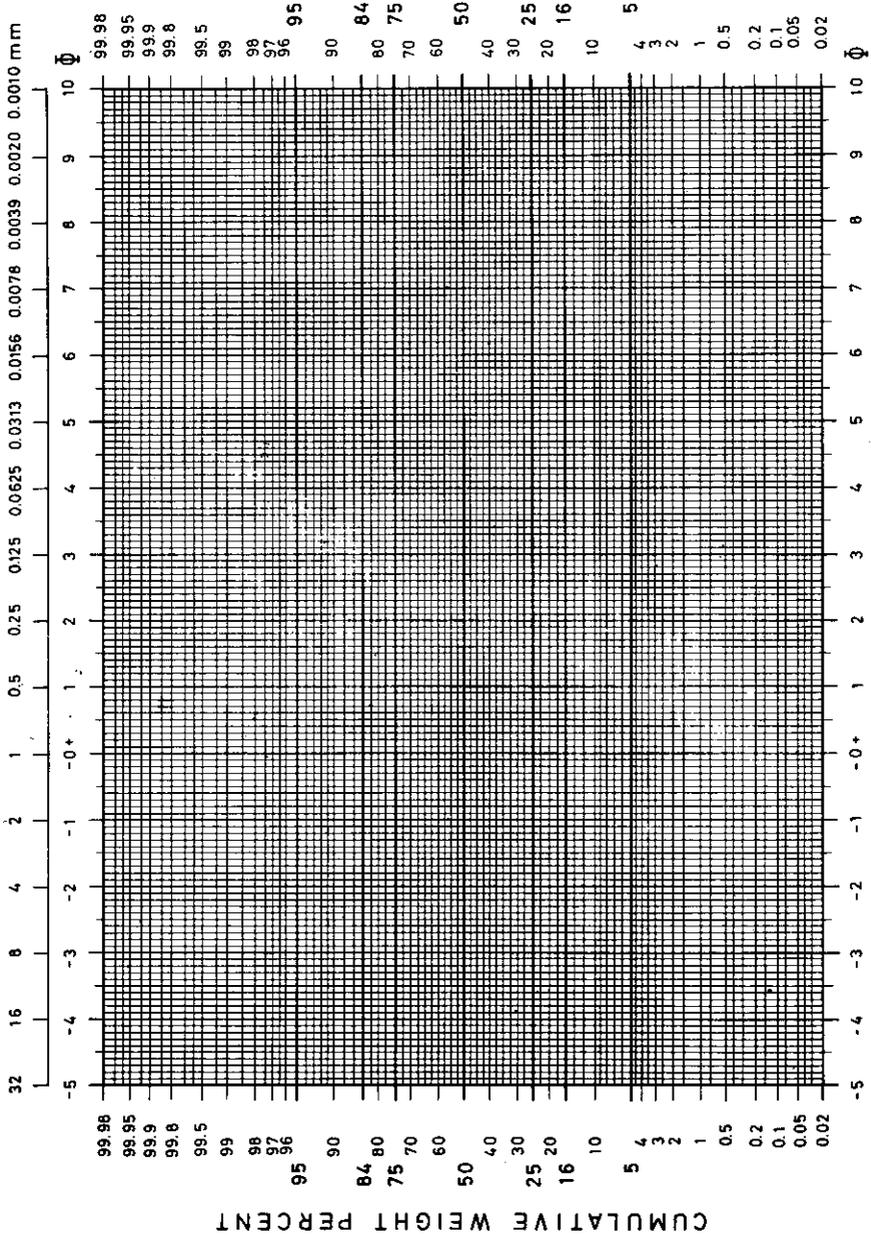


Fig. 21

TABLA IV
DATOS GRANULOMETRICOS. PUNTOS REPRESENTATIVOS

| Muestra n° | Decil P ₁₀ | Cuartil Q ₁ | Mediana Md | Cuartil Q ₃ | Decil P ₉₀ |
|------------|-----------------------|------------------------|------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | 0,065 | 0,120 | 0,210 | 0,400 | 0,630 |
| 2 | 0,088 | 0,125 | 0,250 | 0,430 | 0,630 |
| 3 | 0,020 | 0,045 | 0,080 | 0,150 | 0,255 |
| 4 | 0,030 | 0,080 | 0,120 | 0,160 | 0,240 |
| 5 | — | — | — | — | — |
| 6 | — | — | — | — | — |
| 7 | 0,100 | 0,125 | 0,200 | 0,350 | 0,500 |
| 8 | — | — | — | — | — |
| 9 | 0,060 | 0,100 | 0,150 | 0,200 | 0,320 |
| 10 | — | — | — | — | — |
| 11 | — | — | — | — | — |
| 12 | 0,060 | 0,110 | 0,150 | 0,200 | 0,280 |
| 13 | 0,060 | 0,110 | 0,190 | 0,310 | 0,470 |
| 14 | 0,050 | 0,075 | 0,115 | 0,200 | 0,310 |
| 15 | 0,031 | 0,050 | 0,088 | 0,150 | 0,230 |
| 16 | 0,025 | 0,180 | 0,230 | 0,350 | 0,430 |
| 17 | 0,010 | 0,040 | 0,100 | 0,250 | 0,610 |
| 18 | 0,060 | 0,077 | 0,110 | 0,160 | 0,220 |
| 19 | 0,079 | 0,110 | 0,150 | 0,220 | 0,280 |
| 20 | 0,090 | 0,123 | 0,180 | 0,290 | 0,500 |
| 21 | 0,120 | 0,150 | 0,200 | 0,240 | 0,310 |
| 22 | 0,050 | 0,079 | 0,120 | 0,190 | 0,250 |
| 23 | 0,290 | 0,390 | 0,480 | 0,750 | 1,200 |
| 24 | 0,079 | 0,110 | 0,150 | 0,210 | 0,270 |
| 25 | 0,100 | 0,125 | 0,170 | 0,220 | 0,300 |
| 26 | 0,040 | 0,075 | 0,160 | 0,350 | 0,650 |
| 27 | 0,050 | 0,083 | 0,140 | 0,230 | 0,360 |
| 28 | 0,040 | 0,060 | 0,095 | 0,150 | 0,400 |
| 29 | 0,080 | 0,105 | 0,125 | 0,180 | 0,210 |
| 30 | 0,100 | 0,125 | 0,180 | 0,230 | 0,290 |

TABLA IV
 DATOS GRANULOMETRICOS.
 PUNTOS REPRESENTATIVOS (continuación)

| Muestra n° | Decil P ₁₀ | Cuartil Q ₁ | Mediana Md | Cuartil Q ₃ | Decil P ₉₀ |
|------------|-----------------------|------------------------|------------|------------------------|-----------------------|
| 31 | — | — | — | — | — |
| 32 | 0,050 | 0,100 | 0,180 | 0,350 | 0,600 |
| 33 | 0,045 | 0,088 | 0,170 | 0,300 | 0,550 |
| 34 | — | — | — | — | — |
| 35 | 0,125 | 0,230 | 0,430 | 0,750 | 1,200 |
| 36 | 0,160 | 0,230 | 0,310 | 0,450 | 0,630 |
| 37 | 0,130 | 0,170 | 0,230 | 0,310 | 0,450 |
| 38 | 0,117 | 0,190 | 0,270 | 0,420 | 0,620 |
| 39 | — | — | — | — | — |
| 40 | 0,030 | 0,050 | 0,095 | 0,180 | 0,290 |
| 41 | 0,078 | 0,100 | 0,130 | 0,180 | 0,210 |
| 42 | 0,090 | 0,140 | 0,220 | 0,380 | 0,550 |
| 43 | — | — | — | — | — |
| 44 | 0,050 | 0,075 | 0,105 | 0,140 | 0,190 |
| 45 | — | — | — | — | — |
| 46 | 0,080 | 0,115 | 0,170 | 0,250 | 0,390 |
| 47 | 0,095 | 0,125 | 0,200 | 0,290 | 0,420 |
| 48 | 0,080 | 0,105 | 0,125 | 0,180 | 0,210 |
| 49 | 0,060 | 0,140 | 0,280 | 0,370 | 0,500 |
| 50 | 0,110 | 0,155 | 0,230 | 0,310 | 0,430 |
| 51 | 0,090 | 0,120 | 0,190 | 0,270 | 0,400 |
| 52 | 0,110 | 0,135 | 0,170 | 0,210 | 0,245 |
| 53 | 0,085 | 0,120 | 0,190 | 0,270 | 0,430 |
| 54 | — | — | — | — | — |
| 55 | — | — | — | — | — |
| 56 | 0,095 | 0,110 | 0,150 | 0,200 | 0,230 |
| 57 | 0,120 | 0,160 | 0,215 | 0,275 | 0,380 |
| 58 | 0,100 | 0,160 | 0,290 | 0,390 | 0,560 |
| 59 | 0,120 | 0,125 | 0,170 | 0,205 | 0,240 |
| 60 | 0,099 | 0,125 | 0,180 | 0,240 | 2,000 |

TABLA IV
DATOS GRANULOMETRICOS.
PUNTOS REPRESENTATIVOS (continuación)

| Muestra n° | Decil P ₁₀ | Cuartil Q ₁ | Mediana Md | Cuartil Q ₃ | Decil P ₉₀ |
|------------|-----------------------|------------------------|------------|------------------------|-----------------------|
| 61 | 0,075 | 0,095 | 0,120 | 0,170 | 0,220 |
| 62 | 0,120 | 0,170 | 0,235 | 0,380 | 0,480 |
| 63 | 0,045 | 0,080 | 0,120 | 0,190 | 0,280 |
| 64 | 0,045 | 0,090 | 0,175 | 0,300 | 0,550 |
| 65 | 0,040 | 0,055 | 0,090 | 0,125 | 0,180 |
| 66 | 0,110 | 0,125 | 0,180 | 0,210 | 0,260 |
| 67 | 0,060 | 0,090 | 0,120 | 0,170 | 0,220 |
| 68 | 0,110 | 0,130 | 0,180 | 0,230 | 0,300 |
| 69 | — | — | — | — | — |
| 70 | 0,088 | 0,110 | 0,160 | 0,210 | 0,280 |
| 71 | 0,130 | 0,200 | 0,280 | 0,430 | 0,600 |
| 72 | 0,088 | 0,150 | 0,260 | 0,480 | 0,850 |
| 73 | 0,115 | 0,150 | 0,200 | 0,250 | 0,350 |
| 74 | 0,075 | 0,100 | 0,120 | 0,160 | 0,210 |
| 75 | 0,105 | 0,130 | 0,180 | 0,230 | 0,300 |
| 76 | 0,080 | 0,115 | 0,160 | 0,220 | 0,300 |
| 77 | 0,060 | 0,100 | 0,150 | 0,220 | 0,320 |
| 78 | 0,088 | 0,150 | 0,220 | 0,430 | 0,850 |
| 79 | 0,125 | 0,190 | 0,220 | 0,310 | 0,410 |
| 80 | 0,090 | 0,110 | 0,140 | 0,190 | 0,220 |

TABLA V
DATOS GRANULOMETRICOS. ESTADISTICA

| Muestra n° | SHORTING | SIMETRIA | | KURTOSIS |
|------------|-----------|------------------------|------------------|------------------------------------|
| | Q_3/Q_1 | $Q_1 \cdot Q_3 / Md^2$ | $Q_1 Q_3 / Md^2$ | $(Q_3 - Q_1) / 2(P_{10} - P_{10})$ |
| 1 | 1,82 | 1,08 | 1,04 | 0,042 |
| 2 | 1,85 | 0,86 | 0,93 | 0,049 |
| 3 | 1,82 | 1,05 | 1,02 | 0,014 |
| 4 | 1,41 | 0,88 | 0,94 | 0,030 |
| 5 | — | — | — | — |
| 6 | — | — | — | — |
| 7 | 1,67 | 1,09 | 1,04 | 0,054 |
| 8 | — | — | — | — |
| 9 | 1,48 | 0,97 | 0,98 | 0,025 |
| 10 | — | — | — | — |
| 11 | — | — | — | — |
| 12 | 1,34 | 0,97 | 0,98 | 0,078 |
| 13 | 1,67 | 0,94 | 0,97 | 0,041 |
| 14 | 1,63 | 1,13 | 1,06 | 0,029 |
| 15 | 1,73 | 0,96 | 1,98 | 0,037 |
| 16 | 1,39 | 1,19 | 1,09 | 0,077 |
| 17 | 2,50 | 1,00 | 1,00 | 0,008 |
| 18 | 1,44 | 1,02 | 1,01 | 0,038 |
| 19 | 1,41 | 1,07 | 1,03 | 0,060 |
| 20 | 1,53 | 1,10 | 1,05 | 0,043 |
| 21 | 1,26 | 0,90 | 1,95 | 0,094 |
| 22 | 1,55 | 1,04 | 1,02 | 0,037 |
| 23 | 1,38 | 1,26 | 1,12 | 0,160 |
| 24 | 1,38 | 1,02 | 1,01 | 0,060 |
| 25 | 1,32 | 0,95 | 1,97 | 0,068 |
| 26 | 2,16 | 1,02 | 1,01 | 0,021 |
| 27 | 1,66 | 0,97 | 0,98 | 0,031 |
| 28 | 1,58 | 0,99 | 0,99 | 0,012 |
| 29 | 1,31 | 1,20 | 1,09 | 0,072 |
| 30 | 1,35 | 0,88 | 0,94 | 0,075 |

TABLA V
DATOS GRANULOMETRICOS. ESTADISTICA (continuación)

| Muestra nº | SHORTING | SIMETRIA | | KURTOSIS |
|------------|-----------|------------------------|------------------|------------------------------------|
| | Q_3/Q_1 | $Q_1 \cdot Q_3 / Md^2$ | $Q_1 Q_3 / Md^2$ | $(Q_3 - Q_1) / 2(P_{10} - P_{10})$ |
| 31 | — | — | — | — |
| 32 | 1,87 | 1,08 | 1,04 | 0,032 |
| 33 | 1,84 | 0,91 | 0,95 | 0,026 |
| 34 | — | — | — | — |
| 35 | 1,80 | 0,93 | 0,96 | 0,080 |
| 36 | 1,40 | 1,07 | 1,04 | 0,110 |
| 37 | 1,35 | 0,99 | 0,99 | 0,082 |
| 38 | 1,48 | 1,09 | 1,04 | 0,079 |
| 39 | — | — | — | — |
| 40 | 1,89 | 0,99 | 1,00 | 0,017 |
| 41 | 1,34 | 1,06 | 1,03 | 0,068 |
| 42 | 1,64 | 1,09 | 1,05 | 0,058 |
| 43 | — | — | — | — |
| 44 | 1,36 | 0,95 | 0,97 | 0,037 |
| 45 | — | — | — | — |
| 46 | 1,47 | 0,99 | 0,99 | 0,046 |
| 47 | 1,52 | 0,90 | 0,95 | 0,055 |
| 48 | 1,30 | 1,21 | 1,10 | 0,072 |
| 49 | 1,62 | 0,66 | 0,81 | 0,058 |
| 50 | 1,41 | 0,90 | 0,95 | 0,075 |
| 51 | 1,50 | 0,89 | 0,95 | 0,052 |
| 52 | 1,24 | 0,98 | 0,99 | 0,104 |
| 53 | 1,50 | 0,89 | 0,95 | 0,046 |
| 54 | — | — | — | — |
| 55 | — | — | — | — |
| 56 | 1,34 | 0,97 | 0,99 | 0,081 |
| 57 | 1,31 | 0,95 | 0,97 | 0,084 |
| 58 | 1,56 | 1,08 | 1,04 | 0,067 |
| 59 | 1,28 | 0,88 | 0,94 | 0,106 |
| 60 | 1,38 | 0,92 | 0,96 | 0,008 |

TABLA V

DATOS GRANULOMETRICOS. ESTADISTICA (continuación)

| Muestra n.º | SHORTING | SIMETRIA | | KURTOSIS |
|-------------|-----------|------------------------|------------------|------------------------------------|
| | Q_3/Q_1 | $Q_1 \cdot Q_3 / Md^2$ | $Q_1 Q_3 / Md^2$ | $(Q_3 - Q_1) / 2(P_{10} - P_{10})$ |
| 61 | 1,33 | 1,12 | 1,05 | 0,055 |
| 62 | 1,49 | 1,16 | 1,03 | 0,088 |
| 63 | 1,54 | 1,05 | 1,02 | 0,032 |
| 64 | 1,82 | 0,88 | 0,94 | 0,027 |
| 65 | 1,50 | 0,84 | 0,92 | 0,024 |
| 66 | 1,29 | 0,81 | 0,90 | 0,087 |
| 67 | 1,37 | 1,06 | 1,03 | 0,048 |
| 68 | 1,33 | 0,92 | 0,96 | 0,078 |
| 69 | — | — | — | — |
| 70 | 1,38 | 0,92 | 0,96 | 0,060 |
| 71 | 1,46 | 1,09 | 1,05 | 0,091 |
| 72 | 1,79 | 1,06 | 1,03 | 0,047 |
| 73 | 1,29 | 0,93 | 0,97 | 0,080 |
| 74 | 1,26 | 1,11 | 1,05 | 0,059 |
| 75 | 1,33 | 0,92 | 0,96 | 0,077 |
| 76 | 1,38 | 0,98 | 0,99 | 0,057 |
| 77 | 1,48 | 0,97 | 0,99 | 0,042 |
| 78 | 1,69 | 1,33 | 1,15 | 0,042 |
| 79 | 1,27 | 1,21 | 1,10 | 0,103 |
| 80 | 1,31 | 1,06 | 1,03 | 0,080 |

6.4. DIFRACCION DE RAYOS X.

En general la fracción fina de las rocas, y por consiguiente de las areniscas de Villamayor, ($< 0,062$ mm) actúa como matriz y cemento y de ella depende la compacidad y posible alteración posterior de la roca. En efecto, parece ser que el llamado «mal de la piedra» que afecta a gran parte de las construcciones históricas y obras de arte arquitectónicas de España se debe a la disolución por las aguas de lluvia del material carbonatado que lo cementa en su mayoría, y que pueden acentuar su acción corrosiva en caso de contaminación atmosférica.

Aunque la alteración es mucho menor en los casos en que la piedra está cementada por arcillas, sin embargo el análisis de la fracción fina es de gran interés, así como el contenido en carbonatos, cuyo método se ha descrito en el apartado 6.2.

Para analizar la fracción menor de $0,062$ mm se utilizó la difracción de rayos X. una vez separada dicha fracción por tamización en húmedo se obtuvieron los siguientes diagramas.

- a) Agregado orientado.
- b) Agregado calentado a 500° C durante una hora
- c) Agregado orientado tratado con glicerol

cuya finalidad era evitar las interferencias que algunos minerales arcillosos tienen entre sí en el agregado orientado normal.

El análisis semicuantitativo se obtuvo considerando las áreas de los picos correspondientes a las determinadas reflexiones y utilizando los siguientes poderes reflectantes:

| | |
|---------------------|-----|
| Montmorillonita | 1 |
| Interestratificados | 1 |
| Illita | 0,5 |
| Caolinita | 1 |
| Cuarzo | 5 |
| Feldespatos | 1 |
| Plagioclasas | 1 |

No se ha considerado el material amorfo que pudiera contener la fracción fina por lo que los % obtenidos se refieren únicamente a la fracción menor de $0,062$ mm cristalina.

La determinación se ha efectuado con un difractómetro JEOL AX-GO-S, radiación de CuK, 30 mA; detector de centelleo, 1050 V, discriminación 32, amplificación 16, 3, 8 anchura de canal y 1,2 línea base. Velocidad del goniómetro $1^{\circ} 2 \theta/\text{minuto}$. Velocidad de la carta 1 mm/minuto.

Los resultados se exponen a continuación. Teniendo en cuenta que la mineralogía de las areniscas es muy monótona no se ha creído necesario analizar todas las muestras y se han cogido 12 al azar representantes de las tres zonas en que se ha dividido el trabajo.

Dichas muestras son los números 27, 28, 29, 30, 32, 37, 40, 47, 68, 71, 76 y 80 y sus resultados figuran individualmente en la Tabla VI.

En las muestras estudiadas se han identificado siete minerales fundamentales. El cuarzo es de todos ellos el más abundante en todas las muestras. Junto

TABLA VI
MINERALES DE LA FRACCION FINA (Sobre el 100% de dicha fracción)

| Muestra | 27 | 28 | 29 | 30 | 32 | 37 | 40 | 47 | 68 | 71 | 76 | 80 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Montmorillonita | 6,25 | 12,85 | 9,69 | 28,72 | 16,52 | 43,75 | 5,21 | 15,85 | 19,68 | 51,19 | 0,00 | 9,01 |
| Interstratificados | 36,25 | 7,14 | 7,27 | 8,51 | 5,50 | 5,41 | 4,34 | 12,19 | 12,88 | 0,00 | 11,68 | 4,09 |
| Illita | 2,50 | 12,85 | 9,69 | 10,63 | 5,93 | 8,33 | 8,69 | 8,75 | 12,37 | 4,76 | 10,38 | 2,45 |
| Caolinita | 1,25 | 4,25 | 3,03 | 2,12 | 2,11 | 2,08 | 0,00 | 2,43 | 3,60 | 0,59 | 0,00 | 0,00 |
| Cuarzo | 43,75 | 57,14 | 60,60 | 37,23 | 65,67 | 35,41 | 78,26 | 48,78 | 41,23 | 35,71 | 61,68 | 61,47 |
| Feldspatos K | 3,00 | 2,14 | 3,63 | 5,85 | 2,11 | 1,21 | 3,47 | 3,65 | 2,06 | 1,78 | 9,74 | 4,50 |
| Plagioclasas | 5,00 | 3,57 | 6,06 | 6,91 | 2,11 | 3,75 | 0,00 | 7,31 | 8,24 | 5,95 | 6,49 | 18,44 |

(NOTA: Estos datos corresponden a muestras analizadas en 1977, en el Departamento de Mineralogía, Univ. de Salamanca. No publicadas).

con los feldespatos y las plagioclasas forman la matriz de las areniscas, teniendo sin duda origen detrítico.

Los otros cuatro minerales identificados son arcillas y actúan fundamentalmente como cemento de las areniscas, aunque en parte puedan formar la matriz. Tres de ellas, Interestratificados, Illita y Caolinita son citadas habitualmente como minerales heredados de la roca madre; los interestratificados y la illita representan términos degradados de las micas e indican una acción edafogenética moderada o un transporte muy corto. La caolinita está escasamente representada y viene a confirmar lo anteriormente dicho pues es un mineral que necesita un elevado potencial de lixiviación y un transporte relativamente largo.

La montmorillonita está presente en casi todas las muestras estudiadas en cantidades sumamente variables que pueden alcanzar el 50% del total de la fracción fina. Su génesis en los sedimentos es muy discutida, pero todo parece indicar (MILLOT, 1964) que la montmorillonita es un mineral de neoformación típico de cuencas químicas y alcalinas en donde se forman carbonatos, fosfatos, etc, y en donde la sílice es muy abundante ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2$). Como se deduce de los diagramas de equilibrio, su génesis se favorece con el aumento de las concentraciones de Ca^{++} y Mg^{++} y del pH.

Es un mineral muy abundante en la cuenca del Duero (GARCIA MARCOS 1976) y dado que es incompatible en el área fuente con la illita y el caolín, debe pensarse que es un mineral de neoformación, en la misma cuenca y por lo tanto posterior a la deposición de los detríticos. La gran porosidad de estos sedimentos favorecería la infiltración de soluciones ricas en Ca y Mg, contemporáneas de depósitos de caliza detríticas que rematan frecuentemente las series estudiadas o de calizas interestratificadas con las areniscas, desaparecidas antes de la deposición de las capas superiores, y que formarían también el cemento carbonatado de algunas de estas areniscas.

Destaca la propiedad de expandirse por hidratación que presentan muchas arcillas, especialmente algunas montmorillonitas, lo cual puede ser un serio obstáculo en construcción si el contenido sobrepasa los límites normales.

6.5. PETROGRAFIA.

De las muestras estudiadas petrográficamente, se ha sacado la siguiente clasificación de las areniscas de Villamayor y similares, cuya descripción se hará a continuación.

1. Areniscas arcósicas con cemento calcáreo.
2. Areniscas arcósicas.
3. Areniscas feldespáticas microconglomeráticas.
4. Areniscas feldespáticas.
5. Intraesparita.

1. Las areniscas arcósicas con cemento calcáreo presentan una estructura compacta, microconglomerática, textura heterogranular, y, cemento dolomítico.

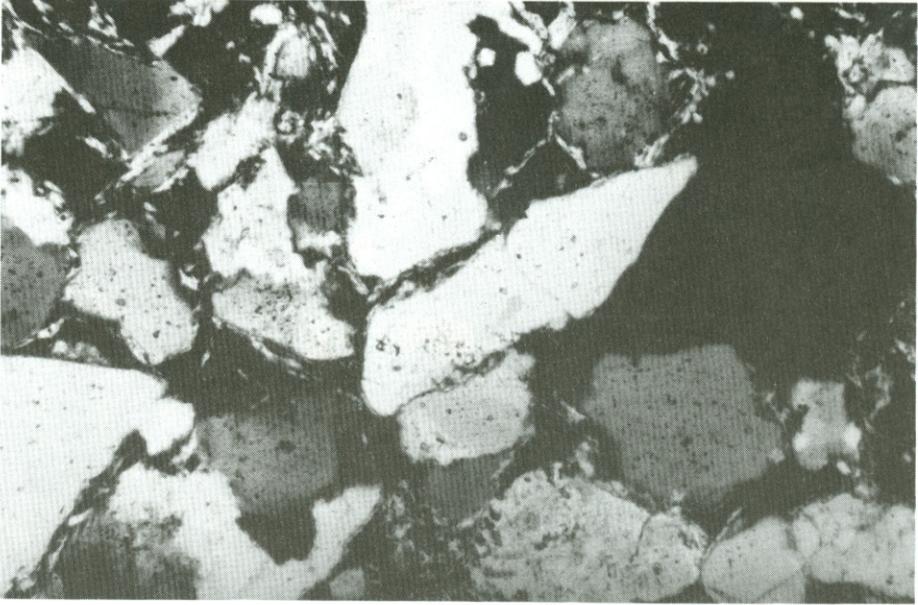


Fig. 22.- VM-88. Villamayor. Arenisca feldespática, cemento arcilloso ligeramente carbonatada (x 60).

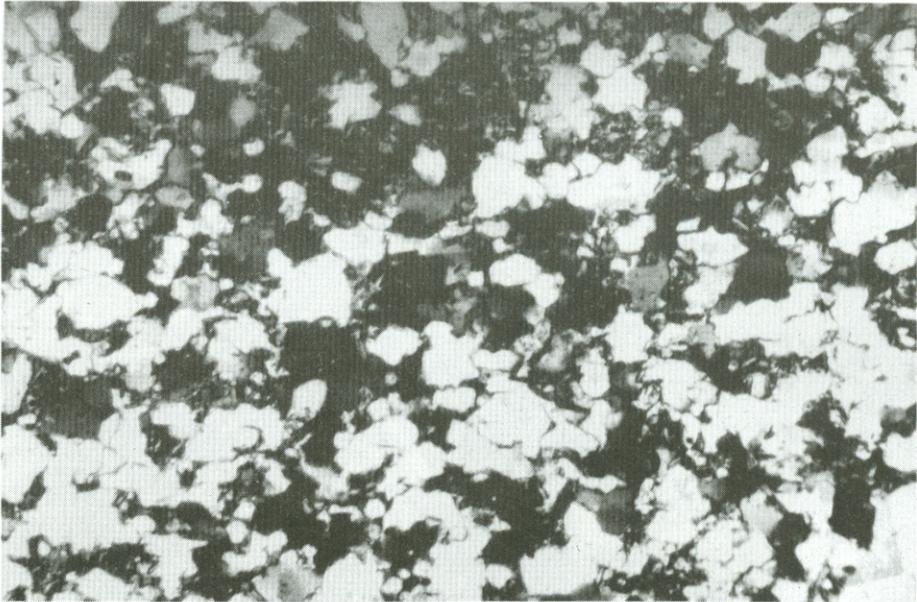


Fig. 23.- VM-97. Santibáñez del Río. Arenisca arcósica (x 60).

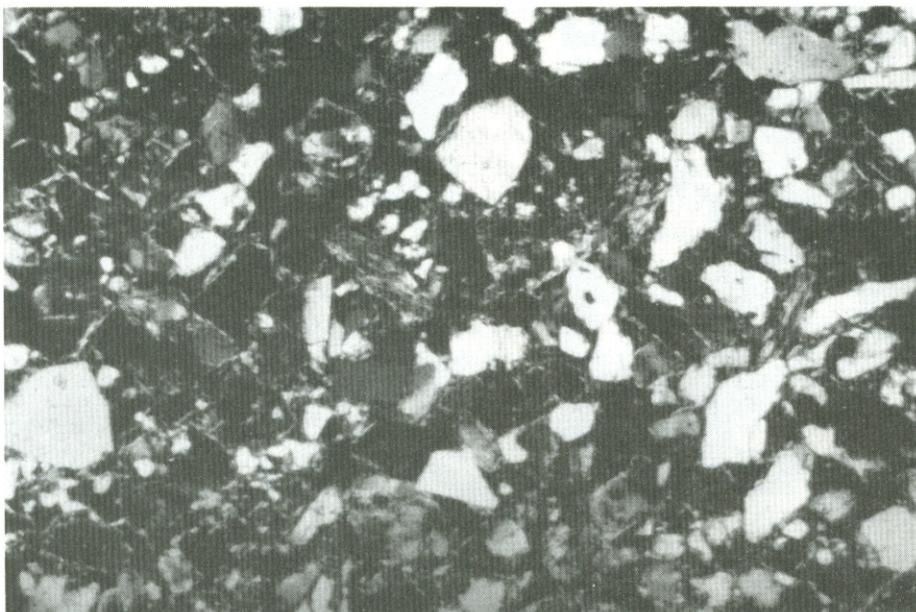


Fig. 23 bis.- VM-101. Florida de Liébana. Arenisca feldespática microconglomerática. (x 60).

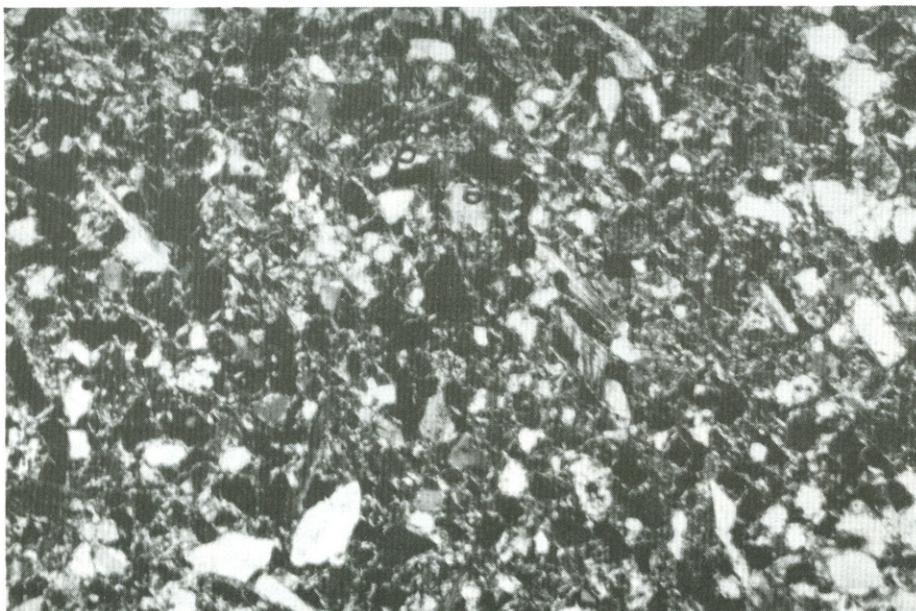


Fig. 24.- VM-108. Zaratán. Arenisca arcósica, matriz arcillosa con abundantes micas (x 60).

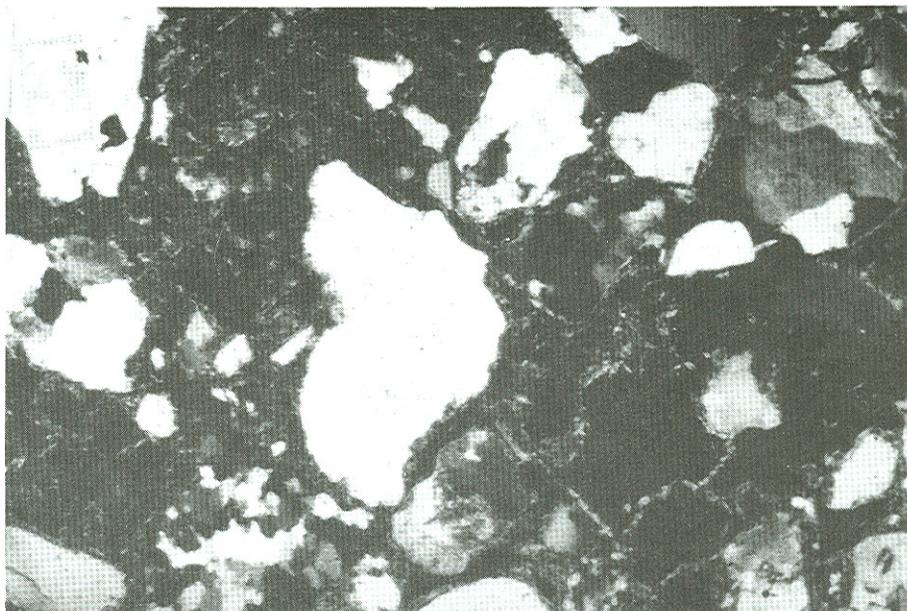


Fig. 24 bis.- VM-110. Zaratán. Arenisca feldespática, cemento ligeramente carbonatado (x 60).



Fig. 25.- VM-115. Los Torrejones. Arenisca feldespática (x 60).

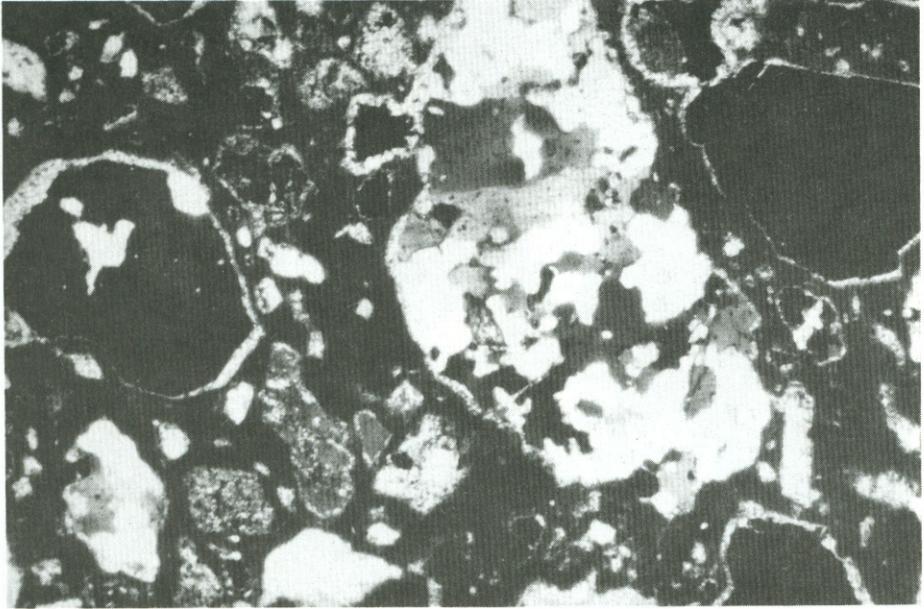


Fig. 26.- VM-122. Cerro «El Tarro» (Almenara). Arenisca feldespática (x 60).



Fig. 26 bis.- VM-127. Almenara de Tormes. Arenisca feldespática, matriz arcillosa (x 60).

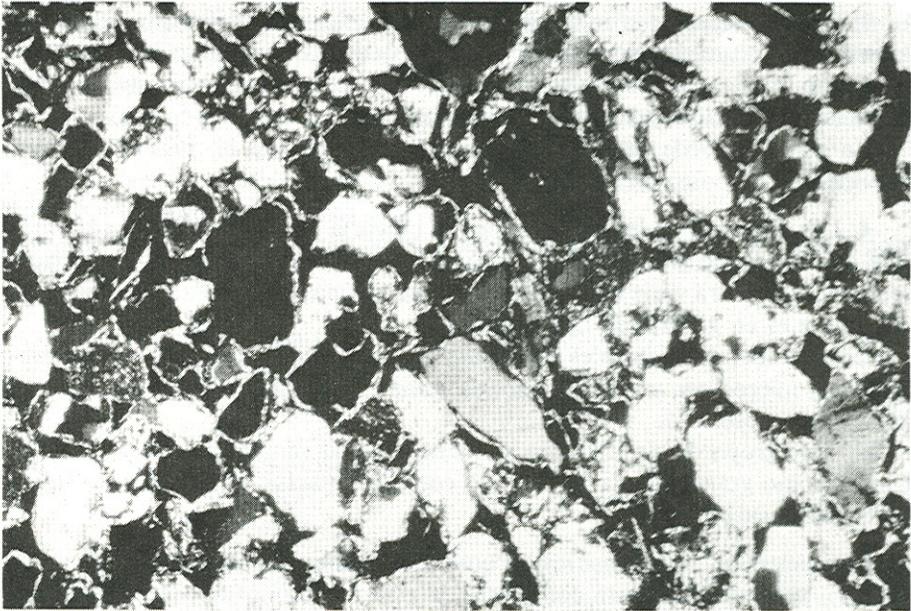


Fig. 27.- VM-133. Artesones (Babilafuente). Arenisca feldespática, cemento ligeramente arcilloso (x 60).

Como minerales esenciales presentan: Cuarzo, microclina, plagioclasas y fragmentos de rocas, y como accesorios, granate, turmalina, zoisita-epidota, biotita, moscovita, esfena y rutilo.

A este tipo de areniscas pertenece la muestra número uno.

2. Areniscas arcóicas: presentan en general, una estructura compacta, algo porosa, de grano medio a fino, textura homogranular y matriz arcillosa o detrítica poco abundante como en el caso de la número 25.

Como minerales esenciales presentan: Cuarzo, fragmentos de rocas (cuarcitas) y microclina-plagioclasa, y como accesorios, zoisita-epidota, granate, circón, turmalina, moscovita y distena.

Dentro de éste tipo de areniscas se encuentran las muestras números 16, 25 y 10.

3. Las areniscas feldespáticas microconglomeráticas, presentan estructura conglomerática, textura heterogranular y matriz detrítica abundante.

Como minerales esenciales presentan: Cuarzo, fragmentos de rocas y plagioclasa-microclina y como accesorios granate.

En este grupo de areniscas se encuentra clasificada la muestra número veintitres.

4. Las areniscas feldespáticas tienen la mayoría de ellas una estructura granuda de tamaño de grano medio a fino, si bien algunas la presentan compacta y porosa. La textura varía de homogranular en algunas a heterogranular en otras y la matriz es en general de tipo arcilloso.

Como minerales esenciales presentan: Cuarzo, fragmentos de cuarcitas, plagioclasas y microclina, y como accesorios granate, epidota-distena, rutilo, circón, turmalina y moscovita.

En este grupo de clasificación se encuentran las muestras números 29, 47, 76 y 78, como granudas y la 30, 31 y 35 como compactas, siendo la 31 la única con cemento carbonatado.

La muestra n° 7 está clasificada como una intra-esparita (según clasificación de Folk), presenta estructura compacta, de grano medio a fino, textura heterogranular y cemento carbonatado muy abundante.

Como minerales esenciales presenta: Cuarzo, plagioclasas-microclina y fragmentos de cuarcita y esquistos, y, como accesorios turmalina, circón, granate, zoisita, epidota, moscovita, biotita y rutilo.

6.6. MINERALES MINORITARIOS.

Los minerales minoritarios o accesorios pueden ser estudiados según tres técnicas.

A. En preparación microscópica normal, según los procedimientos normales en petrografía. De su estudio (Apartado 6.5) obtenemos que los minerales petrográficos accesorios son:

Granate
Turmalina
Epidota-Zoisita
Biotita
Moscovita
Estauroлита
Rutilo
Zircón
Distena

La distribución de estos minerales en cada muestra no puede hacerse estadísticamente por este método, dada la pequeña cantidad de ella que se requiere.

B. Separación de minerales pesados. Es este un método que permite la exploración estadística de minerales en grano. Se basa en la toma de muestra en una cantidad mayor (100, 200 ó 500 g), lavado, desagregado, tamizado, (malla 0,05 mm) y separación en mesa vibratoria como fase previa.

Posteriormente el material ya seleccionado se pasa por una separación con líquidos densos. Se ha usado bromoformo de densidad 2.9.

Una vez separado el mineral ligero se procede a su recuento en lupa o microscopio, identificando cada especie mineral.

Los minerales que se han encontrado en esta investigación, efectuada sobre 42 muestras son:

Turmalina (Tr)
Andalucita (An)
Distena (Di)
Granate (Gr)
Epidota-Zoisita (Ep)
Zircón (Ci)
Estauroлита (Et)
Moscovita (Mo)
Biotita (Bi)
Sillimanita (Si)
Rutilo (Ru)
Topacio (To)
Apatito (Ap)
Clorita-Sericita (Cl)

Se ha procedido a efectuar el porcentaje de minerales opacos sobre cada 100 granos transparentes (O-T). Los resultados del recuento se exponen en la Tabla VII.

C. Separación de minerales pesados con batea. Este método tradicional de los aureanos solo puede hacerse con arenas de aluvión, nunca con rocas consolidadas, pero puede aprovecharse si tenemos en cuenta que aquellas proceden de la demolición de éstas.

Para ello se ha tomado una cantidad de muestra equivalente a unos 20 kg de cada una, que se han bateado en cursos de agua próximos.

TABLA VII
DISTRIBUCION DE MINERALES PESADOS

| | O-T | Tr | An | Di | Gr | Ep | Cl | Et | Mo | Bi | Si | Ru | To | Ap | Cl |
|----------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 81. Cantera La Moral | 25 | 6 | 4 | 3 | 37 | 13 | 8 | — | 6 | 18 | — | 1 | 3 | — | 1 |
| 82. " " " | 32 | 14 | 9 | 8 | 37 | 19 | 7 | — | 3 | 1 | — | 1 | — | — | 1 |
| 83. " " " | 17 | 3 | 11 | 10 | 26 | 29 | 4 | — | 3 | 3 | — | 1 | 3 | 1 | 6 |
| 30. Cantera Sanchón | 43 | 24 | 14 | 4 | 13 | 11 | 16 | — | 6 | 3 | — | 1 | 3 | — | 5 |
| 29. Cantera Las Puertias | 35 | 15 | 18 | 9 | 31 | 14 | 3 | — | 5 | 3 | — | — | 2 | — | 2 |
| 84. " " " | 23 | 3 | 18 | 4 | 32 | 26 | 2 | — | 9 | — | — | — | 2 | — | 3 |
| 85. " " " | 27 | 6 | 17 | 12 | 22 | 21 | 1 | — | 8 | 3 | — | 1 | 3 | — | 6 |
| 88. Villamayor | 47 | 15 | 5 | 9 | 27 | 11 | 4 | 1 | 11 | 1 | — | 1 | 5 | — | 10 |
| 89. " " | 52 | 13 | 30 | — | 11 | 4 | 13 | — | 15 | 13 | — | — | 2 | — | — |
| 90. " " | 39 | 10 | 30 | 3 | 12 | 16 | 15 | — | 3 | 5 | — | — | 2 | — | 3 |
| 101. Florida de Liébana | 22 | 20 | 28 | 8 | 2 | 2 | 2 | 2 | 20 | 7 | — | 1 | 2 | — | 6 |
| 103. Villaselva | 10 | 22 | 14 | 6 | 16 | 4 | 2 | — | 26 | 4 | — | 1 | 2 | — | 3 |
| 105. Quiñones | 20 | 10 | 17 | 21 | 24 | 6 | 4 | 3 | 2 | 5 | — | 2 | 3 | — | 5 |
| 106. «El Conejar» | 9 | 5 | 15 | 20 | 40 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | — | 2 | 2 | — | 5 |
| 107. " " | 8 | 4 | 48 | 37 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | — | 1 | 1 | — | 1 |
| 110. Zaratán | 24 | 11 | 32 | 16 | 17 | 11 | 1 | 1 | 2 | 2 | — | 1 | 1 | — | 5 |
| 112. Zorita | 32 | 42 | 17 | 4 | 16 | 5 | — | — | 14 | — | — | — | 1 | — | 1 |
| 38. Valverdón | 45 | 7 | 22 | 3 | 41 | 2 | 2 | — | 18 | 1 | — | — | 2 | — | 2 |
| 115. Los Torrejones | 27 | 5 | 18 | 8 | 38 | 3 | 2 | — | 17 | 2 | — | 2 | 3 | — | 2 |
| 119. Teso de Las Viñas | 37 | 27 | 16 | 5 | 28 | 4 | 2 | — | 12 | 2 | — | 1 | 2 | — | 1 |
| 123. El Tarro | 52 | 12 | 35 | 2 | 19 | 12 | 1 | — | 13 | 1 | — | — | 3 | — | 2 |
| 126. Almenara | 26 | 8 | 21 | 3 | 31 | 7 | 1 | — | 27 | — | — | — | 1 | — | 2 |
| 51. Cabrerizos | 29 | 19 | 16 | 6 | 9 | 6 | 2 | 4 | 25 | 8 | 2 | — | 1 | — | 2 |
| 52. " " | 31 | 34 | 17 | 6 | 10 | 8 | 1 | — | 11 | 10 | 1 | — | 1 | — | 1 |
| 48. Teso Flecha | 42 | 8 | 6 | 6 | 13 | 15 | — | 5 | 28 | 7 | 2 | — | 2 | 2 | 6 |
| 49. " " | 29 | 16 | 10 | 3 | 31 | 22 | 2 | 2 | 6 | 2 | — | 1 | 5 | — | — |
| 50. " " | 31 | 20 | 8 | 4 | 10 | 8 | 2 | 2 | 28 | 10 | 1 | — | — | — | 5 |
| 53. Huerto F. Luis | 3 | — | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | — | 11 | 81 | — | — | — | — | — |
| 54. " " | 37 | 1 | 7 | 2 | 10 | 8 | 2 | 1 | 5 | 64 | — | — | — | — | 1 |
| 55. " " | 25 | 5 | 24 | 9 | 16 | 11 | 1 | — | 5 | 27 | — | — | 2 | — | — |
| 56. " " | 54 | 3 | 7 | 1 | 14 | 17 | 2 | — | 25 | 30 | — | — | 1 | — | — |
| 60. Aldealegua | 26 | 11 | 17 | 2 | 6 | 2 | 1 | 2 | 20 | 27 | 1 | — | 1 | — | 1 |
| 130. Canal de Babilafuente | 40 | 6 | 9 | 6 | 21 | 27 | 2 | 2 | 7 | 6 | — | 5 | 2 | — | 7 |
| 131. " " | 24 | 6 | 12 | 1 | 34 | 29 | 2 | 2 | 4 | 1 | — | 6 | 2 | — | 1 |
| 132. " " | 31 | 9 | 25 | — | 8 | 20 | 2 | 1 | 7 | 24 | 1 | 3 | 2 | — | 1 |
| 134. F. Nueva | 37 | 3 | 10 | 17 | 21 | 16 | — | 2 | 9 | 18 | 0 | 2 | — | — | 2 |
| 135. " " | 10 | — | 26 | 1 | 3 | 18 | 2 | 2 | 43 | 4 | 2 | 2 | 1 | — | 7 |
| 137. Cabezabellosa | 22 | 7 | 14 | 2 | 12 | 18 | 1 | 2 | 17 | 17 | 3 | 1 | 1 | — | 7 |
| 79. " " | 31 | 6 | 4 | 4 | 26 | 25 | 6 | — | 8 | 6 | 3 | 2 | 3 | — | 7 |
| 78. Pitiegua | 22 | 3 | 24 | 2 | 24 | 21 | 3 | — | 9 | 5 | 1 | 2 | 3 | — | 1 |
| 80. Gomecello | 28 | 2 | 2 | 1 | 24 | 8 | 3 | 1 | 30 | 51 | — | 2 | 3 | — | 3 |
| 138. Villoria | 29 | 9 | 9 | 2 | 14 | 22 | 4 | 1 | 19 | 10 | — | 3 | 4 | — | 3 |

Los minerales recogidos, observados con lupa binocular son los mismos que los de la técnica anterior por lo que se refiere a transparentes. De entre los opacos, destacan magnetita e ilmenita, fácilmente separables en seco.

Una muestra arrojó una minúscula partícula de oro.

De la observación de la Tabla VII puede deducirse una dependencia de su distribución espacial, que teniendo en cuenta que depende de las formaciones geológicas sugiere una variación con el tiempo.

Este mismo hecho ha sido observado igualmente por CORROCHAO (1977, 1980) en la provincia de Zamora.

Se explican estas variaciones por el cambio de área fuente con el paso del tiempo.

Desde el punto de vista de una posible alteración, de estos minerales, pueden establecerse las siguientes consideraciones:

A) Los filosilicatos (moscovita, biotita, cloritas, sericitas) pueden alterarse produciéndose una ligera pigmentación ferruginosa bajo condiciones muy intensas de ataque.

B) Lo mismo puede decirse de los minerales magnéticos pero estos requieren un mayor grado de alteración.

C) El resto de los minerales accesorios es resistente a la corrosión química.

6.7. POROSIDAD.

Para determinar la porosidad de la arenisca se ha seguido el procedimiento siguiente:

- a) Secado en estufa a 100° C hasta peso constante.
- b) Pesado de la piedra en seco.
- c) Pesado de la muestra sumergida.

Para esta fase, igual que para la anterior, se usó una balanza con precisión de centésimas de gramo. El material utilizado para este apartado consistió en un vaso de plástico con agua; dentro del recipiente y sin tocar sus paredes se colocó una red metálica sumergida en el líquido y sostenida por un soporte apoyado fuera de la balanza. Las muestras se sumergían rápidamente en el agua quedando apoyadas en la red metálica; de esta forma las diferencias de peso obtenidas antes y después de sumergir la piedra nos dan el peso de líquido desalojado y conociendo su densidad obtenemos su volumen que se corresponde con el volumen de la arenisca.

Se consideró que la densidad del agua es igual a 1, y los cálculos fueron estos:

Datos:

Peso de la muestra seca = P.

Peso del equipo para determinar el volumen sin muestra = P₁.

Peso del equipo para determinar el volumen con muestra = P₂.

$V_{\text{total}} = (P_2 - P_1)_g = \text{volumen total de la muestra en c.c.}$

TABLA VIII
POROSIDAD

| n° muestra | P ₁ | P ₂ | P | V _t | V _m | V _a | d | % porosidad |
|------------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|----------------|------|-------------|
| VM- 1 | 762,38 | 789,12 | 63,72 | 26,74 | 24,05 | 2,69 | 2,38 | 10,06 |
| 2 | 760,24 | 793,00 | 67,14 | 32,76 | 25,34 | 7,42 | 2,05 | 22,65 |
| 3 | 752,46 | 765,66 | 45,00 | 23,20 | 16,92 | 6,22 | 1,94 | 26,81 |
| 4 | 747,17 | 782,94 | 67,93 | 35,77 | 25,63 | 10,14 | 1,90 | 28,35 |
| 5 | 738,36 | 872,96 | 72,75 | 34,10 | 27,45 | 6,65 | 2,13 | 19,50 |
| 6 | 727,49 | 753,99 | 56,27 | 26,50 | 29,23 | 5,27 | 2,21 | 19,89 |
| 7 | 720,30 | 747,00 | 65,97 | 26,70 | 24,89 | 1,81 | 2,47 | 6,78 |
| 8 | 717,18 | 751,18 | 71,87 | 33,00 | 27,12 | 5,88 | 2,18 | 17,82 |
| 9 | 707,02 | 741,52 | 70,55 | 34,50 | 26,62 | 7,88 | 2,04 | 22,84 |
| 10 | 702,00 | 734,82 | 68,50 | 33,82 | 25,85 | 7,97 | 2,03 | 23,57 |
| 11 | 771,43 | 799,53 | 57,04 | 28,10 | 25,52 | 2,58 | 2,03 | 9,18 |
| 12 | 766,63 | 795,63 | 55,08 | 29,00 | 20,78 | 8,22 | 1,90 | 28,34 |
| 13 | 758,24 | 791,25 | 65,79 | 33,01 | 24,83 | 8,18 | 1,99 | 24,78 |
| 14 | 751,20 | 792,90 | 77,87 | 41,70 | 29,38 | 12,32 | 1,87 | 29,54 |
| 15 | 746,64 | 788,04 | 78,92 | 41,40 | 29,78 | 11,62 | 1,91 | 28,07 |
| 16 | 743,83 | 783,00 | 79,75 | 39,17 | 30,09 | 9,08 | 2,04 | 23,18 |
| 17 | 733,56 | 769,06 | 68,73 | 35,50 | 25,94 | 9,56 | 1,94 | 26,93 |
| 18 | 731,10 | 750,40 | 37,62 | 19,30 | 14,20 | 5,10 | 1,95 | 26,42 |
| 19 | 729,96 | 775,06 | 87,62 | 45,10 | 33,10 | 12,00 | 1,95 | 26,61 |
| 20 | 722,33 | 754,63 | 65,62 | 31,90 | 24,76 | 7,14 | 2,06 | 23,38 |
| 21 | 753,52 | 778,02 | 51,43 | 24,50 | 19,41 | 5,09 | 2,10 | 20,78 |
| 22 | 744,48 | 764,48 | 37,73 | 22,00 | 14,24 | 4,76 | 1,89 | 28,80 |
| 23 | 740,50 | 763,20 | 47,31 | 22,70 | 17,85 | 4,85 | 2,08 | 21,37 |
| 24 | 735,00 | 758,50 | 40,93 | 23,50 | 15,45 | 8,05 | 1,74 | 34,26 |
| 25 | 733,30 | 760,80 | 50,94 | 27,50 | 19,22 | 8,28 | 1,85 | 30,11 |
| 26 | 729,93 | 783,63 | 107,06 | 53,70 | 40,40 | 13,30 | 1,99 | 24,77 |
| 27 | 727,26 | 764,76 | 73,95 | 37,50 | 27,91 | 9,59 | 1,97 | 25,57 |
| 28 | 724,33 | 759,33 | 69,82 | 35,20 | 26,35 | 8,85 | 1,98 | 25,14 |
| 29 | 722,45 | 754,55 | 61,57 | 32,10 | 23,33 | 8,87 | 1,92 | 27,63 |
| 30 | 719,63 | 752,53 | 59,54 | 32,90 | 22,47 | 10,43 | 1,81 | 31,70 |
| 31 | 772,88 | 797,68 | 57,25 | 24,80 | 21,60 | 3,20 | 2,31 | 12,90 |
| 32 | 770,75 | 788,15 | 38,02 | 17,40 | 14,35 | 3,05 | 2,19 | 17,53 |
| 33 | 769,00 | 797,50 | 58,56 | 28,50 | 22,21 | 6,29 | 2,24 | 22,07 |
| 34 | 766,13 | 810,73 | 104,45 | 44,60 | 39,42 | 5,18 | 2,34 | 11,61 |
| 35 | 841,03 | 859,73 | 39,79 | 18,70 | 15,02 | 3,65 | 2,02 | 19,52 |
| 36 | 836,00 | 858,90 | 45,84 | 22,90 | 17,30 | 5,60 | 2,00 | 24,45 |
| 37 | 830,09 | 860,99 | 58,50 | 30,90 | 22,08 | 8,82 | 1,89 | 28,54 |
| 38 | 825,34 | 838,44 | 24,56 | 13,10 | 9,27 | 3,83 | 1,87 | 29,24 |
| 39 | 823,40 | 841,00 | 34,76 | 17,60 | 13,12 | 4,48 | 2,15 | 25,45 |
| 40 | 821,22 | 838,02 | 30,95 | 16,80 | 11,68 | 5,52 | 1,84 | 30,48 |

TABLA VIII
POROSIDAD (continuación)

| n.º muestra | P ₁ | P ₂ | P | V _t | V _m | V _a | d | % porosidad |
|-------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|------|-------------|
| VM-41 | 816,78 | 859,98 | 77,35 | 43,20 | 29,19 | 14,01 | 1,79 | 32,43 |
| 42 | 813,10 | 853,80 | 78,65 | 40,70 | 29,68 | 11,02 | 1,93 | 27,08 |
| 43 | 807,00 | 834,00 | 54,63 | 27,00 | 20,62 | 6,38 | 2,02 | 23,63 |
| 44 | 805,62 | 853,02 | 91,57 | 47,40 | 34,55 | 12,85 | 1,93 | 27,11 |
| 45 | 803,06 | 834,86 | 61,02 | 31,80 | 23,03 | 8,77 | 2,15 | 27,58 |
| 46 | 799,46 | 828,76 | 56,93 | 35,98 | 21,48 | 14,50 | 1,94 | 40,30 |
| 47 | 792,78 | 821,80 | 50,63 | 29,02 | 19,11 | 9,91 | 1,74 | 34,15 |
| 48 | 792,65 | 812,67 | 36,13 | 20,02 | 13,63 | 6,39 | 1,80 | 31,92 |
| 49 | 790,13 | 809,03 | 35,93 | 18,90 | 13,56 | 5,34 | 1,90 | 28,25 |
| 50 | 787,22 | 806,64 | 38,84 | 19,42 | 14,66 | 4,76 | 1,53 | 24,51 |
| 51 | 750,75 | 769,55 | 37,78 | 18,80 | 14,26 | 4,54 | 1,99 | 24,15 |
| 52 | 750,52 | 785,52 | 61,74 | 35,00 | 23,30 | 11,70 | 1,74 | 33,43 |
| 53 | 745,70 | 774,40 | 55,74 | 28,70 | 21,03 | 7,67 | 1,94 | 26,72 |
| 54 | 742,27 | 766,07 | 46,93 | 23,80 | 17,71 | 6,09 | 1,97 | 25,59 |
| 55 | 738,77 | 775,17 | 73,14 | 36,40 | 27,60 | 8,80 | 2,01 | 24,18 |
| 56 | 736,54 | 781,54 | 89,62 | 45,00 | 33,82 | 11,18 | 1,99 | 24,84 |
| 57 | 730,07 | 754,35 | 48,26 | 24,28 | 18,21 | 6,07 | 1,99 | 25,00 |
| 58 | 725,93 | 764,23 | 74,23 | 38,30 | 27,01 | 10,29 | 1,94 | 26,87 |
| 59 | 722,92 | 735,62 | 25,49 | 12,70 | 9,62 | 3,09 | 2,01 | 24,25 |
| 60 | 728,01 | 751,51 | 46,16 | 23,50 | 17,42 | 6,08 | 1,96 | 25,87 |
| 61 | 759,87 | 776,47 | 31,72 | 16,60 | 11,97 | 4,63 | 1,91 | 27,89 |
| 62 | 756,11 | 772,11 | 29,88 | 16,00 | 11,28 | 4,72 | 1,76 | 29,50 |
| 63 | 754,22 | 771,42 | 33,96 | 17,20 | 12,82 | 4,38 | 1,97 | 25,47 |
| 64 | 735,20 | 792,30 | 80,30 | 39,10 | 30,30 | 8,80 | 2,05 | 22,51 |
| 65 | 750,34 | 782,34 | 61,33 | 32,00 | 23,14 | 8,86 | 1,92 | 27,69 |
| 66 | 748,11 | 790,41 | 86,31 | 42,30 | 32,57 | 9,73 | 2,04 | 23,00 |
| 67 | 736,42 | 753,96 | 35,77 | 17,54 | 13,50 | 4,04 | 2,04 | 23,03 |
| 68 | 735,64 | 759,44 | 42,78 | 23,80 | 16,14 | 7,66 | 1,80 | 32,18 |
| 69 | 733,10 | 747,10 | 26,23 | 14,00 | 9,90 | 4,10 | 1,87 | 29,29 |
| 70 | 730,96 | 765,74 | 64,67 | 34,78 | 24,40 | 10,38 | 1,86 | 29,84 |
| 71 | 829,31 | 846,11 | 31,58 | 16,80 | 11,92 | 4,88 | 1,88 | 29,05 |
| 72 | 826,31 | 842,71 | 32,90 | 16,40 | 12,42 | 3,98 | 2,01 | 24,27 |
| 73 | 821,01 | 837,04 | 29,09 | 16,03 | 10,98 | 5,05 | 1,78 | 31,50 |
| 74 | 819,50 | 840,77 | 37,00 | 21,27 | 13,96 | 7,31 | 1,74 | 34,37 |
| 75 | 817,91 | 830,84 | 23,74 | 12,93 | 8,96 | 3,97 | 1,84 | 30,70 |
| 76 | 816,54 | 834,44 | 31,29 | 17,90 | 11,81 | 6,09 | 1,75 | 34,02 |
| 77 | 815,00 | 823,30 | 15,79 | 8,30 | 5,96 | 2,34 | 1,90 | 28,19 |
| 78 | 813,87 | 828,37 | 28,78 | 14,20 | 10,82 | 3,38 | 1,98 | 23,80 |
| 79 | 812,30 | 824,60 | 26,58 | 12,30 | 10,03 | 2,27 | 1,16 | 18,46 |
| 80 | 837,72 | 819,80 | 21,30 | 12,08 | 8,04 | 4,04 | 1,76 | 33,44 |

Se considera que la densidad media de los componentes minerales de la arenisca es aproximadamente igual a 2,65, y en consecuencia el volumen que realmente ocupan estos componentes minerales vendrá dado por:

$$V_m = \frac{P}{d_m}$$

V = volumen real de los minerales de la arenisca.
P = peso
d = 2,65

La diferencia entre el volumen total y el volumen de los minerales nos permite conocer el volumen de los pozos que normalmente estarán llenos de aire.

$$V_a = V_t - V_m$$

V_a = volumen de aire en la muestra.

V_t = volumen total de la muestra.

Y la porosidad viene dada por el volumen de huecos cuando el volumen total de la piedra es igual a 100.

$$\text{Porosidad } \% = \frac{V_a}{V_t} \times 100$$

Los resultados obtenidos se expresan a continuación en la Tabla VIII.

En la columna d, figuran las densidades de cada muestra, obtenidas directamente a partir de los cálculos anteriores.

6.8. RESISTENCIA A LA COMPRESION.

Aunque consideramos que no es la compresión un factor que afecte demasiado a la «arenisca de Villamayor» se ha procedido a efectuar medidas de resistencia para añadir nuevos datos al conocimiento.

Para ello hemos partido de muestras tomadas en óptimas condiciones granulométricas. Concretamente la granulometría escogida es similar a la de la muestra 30. Los pasos seguidos han sido los siguientes:

1. Trozado de la muestra en probetas según patrones establecidos. Se ha elegido el cubo de 20 x 20 x 20 cm. Se han hecho tres probetas que se pesaron después de 15 días de desecación en campana.

2. Humedecido de las muestras.

La muestra B-1 (B equivale a la n° 30 granulométrica) se dejó en una campana de desecación durante toda la fase.

La B-3 se dejó sumergida en agua (salvo la cara superior para no impedir la salida de aire) durante 15 días; finalizados estos, se pesó la muestra (2ª pesada), considerándose que el aumento de peso en ese momento correspondería al de una humedad del 100%. Pesándola posteriormente día a día hasta conseguir que el aumento de peso desde la 1ª pesada fuese del 50% con respecto al de la 2ª, deducimos que las condiciones de humedad eran de esta misma proporción.

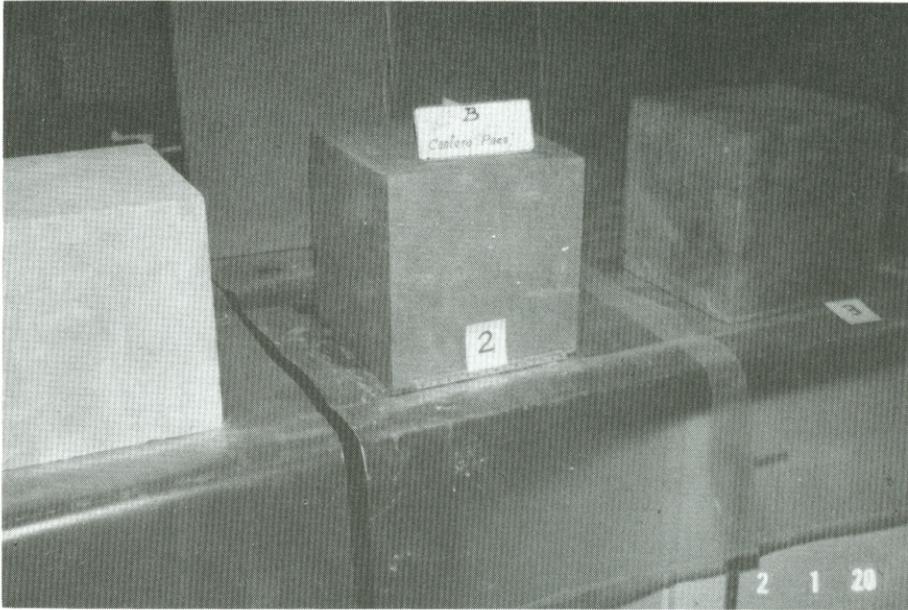


Fig. 28.- Las tres probetas de 20 x 20 x 20 cm preparadas para la prueba de compresión. La 1, seca; la 2 y la 3 con 50% y 100% de humedad respectivamente.



Fig. 29.- Manómetro de la prensa ICON mostrando la fuerza que rompió la probeta 1ª (46,5 Tm) equivalente a una presión de 116,25 kg/cm².



Fig. 30.- Prensa ICON para rotura de probetas. Se encuentra colocada la muestra 3ª (con 100% de humedad) que soportó una fuerza de 19.5 Tm.

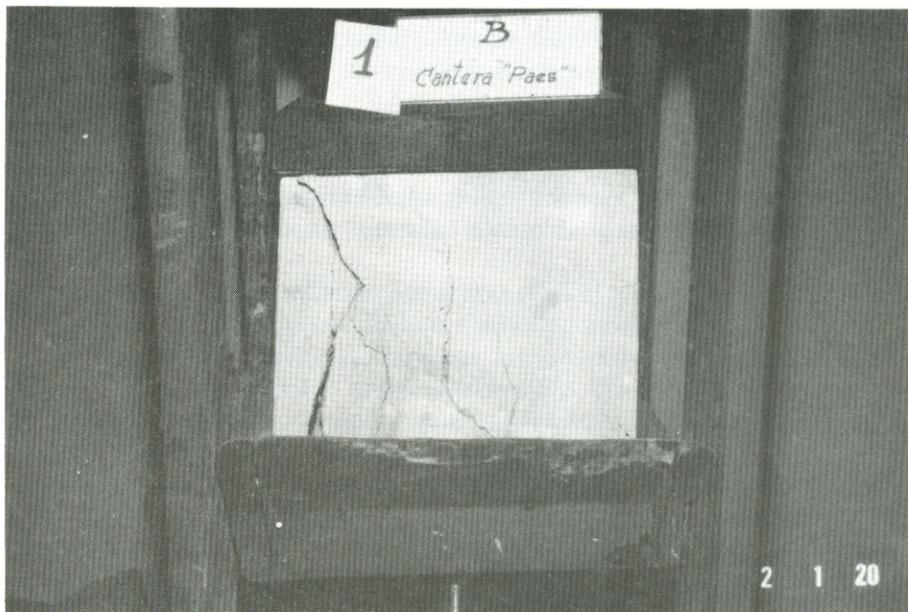


Fig. 31.- Fracturas de cizalla simple en la probeta 1ª Rompió a 46,5 Tm.



Fig. 32.- Fracturas de cizalla simple en la probeta 2ª La fuerza que soportó fue de 29.5 Tm, equivalente a una presión de 73,75 kg/cm².

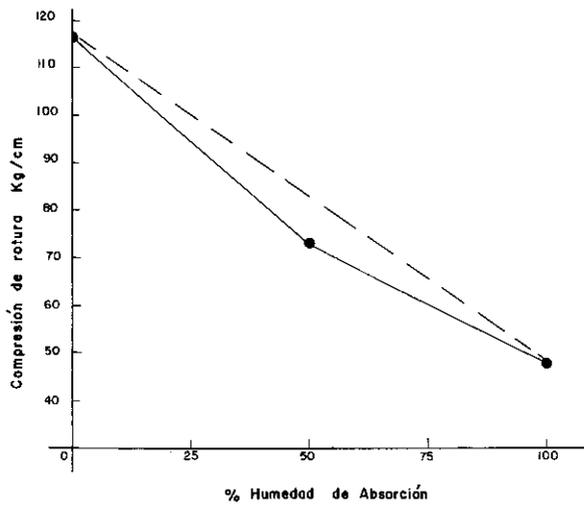


Fig. 33.- % Humedad de Absorción

Ello se consiguió a los 9 días, si bien pensamos que este dato es accidental, dependiente de la granulometría y condiciones de desecación.

La muestra B-2, se dejó sumergida (salvo la superficie superior) durante toda esta fase.

Por tanto al finalizar esta fase, las muestras B-1, B-3 y B-2 estaban en condiciones de 0, 50 y 100% de humedad respectivamente.

Los 15 días de inmersión fueron suficientes para conseguir una impregnación total, demostrada al no aumentar el peso de la muestra B-3 entre los días 15º y 24º

Se procedió a fotografiar las 3 muestras (Fig. 28). Las diferencias de coloración de las tres se deben a su distinto grado de humedad.

3. Rotura de las probetas. Para esta fase se contó con una prensa ICON, con admisión de compresión hasta 100 Tm. (Fig. 29).

La presión que soportaron las muestras fue 46.5, 29.5 y 19.5 Tm (Figs. 29, 30) respectivamente.

En los tres casos, las fracturas respondieron a las condiciones teóricas de resistencia de materiales competentes sin resistencia en las paredes, resultado fracturas de cizalla simple (Figs. 31, 32 y 29).

4. Cálculo de la resistencia absoluta. Se obtiene directamente por la relación fuerza en el momento de rotura/superficie perpendicular a la misma (ésta era de 400 cm²). Los resultados se expresan en Kg/cm². (Fig. 33).

| | B-1 | B-3 | B-2 |
|--|--------|--------|--------|
| Peso en seco (0% de humedad kg) | 14,60 | 14,350 | 14,500 |
| Peso (kg) con 100% de humedad | — | 16,350 | 16,200 |
| Peso (kg) con 50% de humedad | — | 15,300 | — |
| Fuerza absoluta (Tm) | 46,5 | 29,5 | 19,5 |
| Compresión de rotura (Kg/cm ²) | 116,25 | 73,75 | 48,75 |

5. Densidad y porosidad ocupada. La densidad de las muestras era de 1,82, 1,79 y 1,81 g/cm³ respectivamente (cálculo directo). La porosidad ocupada por inmersión durante 15 días, para las dos últimas probetas es de 25 y 21%.

6.9. RELACION GRANULOMETRIA-POROSIDAD-CEMENTACION

La experiencia práctica en materiales de construcción evidencia unas características determinadas cuando la piedra escogida es la arenisca.

El peligro actual en gran cantidad de monumentos es su contenido en carbonatos, muy solubles a las aguas de lluvia cargadas de CO₂.

El problema en este caso se resuelve difícilmente; recordemos el deterioro sufrido en los monumentos construidos con piedra caliza, agravado en los últimos tiempos por la contaminación atmosférica urbana y automovilística.

Por lo que respecta a la arenisca de Villamayor su contenido en carbonatos suele ser bajo, aunque puede haber excepciones (ver apartado 6.3). Ello hace que, pensando en el futuro, haya que desechar el material inadecuado. Un simple molido y posterior calcimetría puede ayudar a determinarlo.

Los problemas físicos-químicos que más pueden condicionar la bondad en la arenisca de Villamayor o, si se prefiere hablar en términos clínicos, la «preservación de futuras enfermedades», son los derivados del tamaño de grano y del espacio que estos dejan entre sí, es decir, la porosidad.

El tamaño de grano es fundamental a la hora de determinar la calidad de la piedra. No puede ser grueso pues la meteorización provocaría el desmoronamiento de cantos o granos, dejando fácilmente una superficie similar a la producida por la erosión alveolar (Fig. 34 y 35).

Estos alveolos han sido detectados en varios monumentos salmantinos: en San Esteban y en la Catedral Nueva. Especialmente importante fue el deterioro producido en la parte más baja de algunos edificios, en los que se emplearon areniscas de grano grueso o incluso conglomerados (extraídos de las canteras prelucecienses del área Salamanca-Alba de Tormes, o del Ludiense, ambas totalmente inadecuadas). No desentona el empleo de otro tipo de material al pie de la obra, p.e. granitos.

Tampoco el tamaño de grano puede ser demasiado fino puesto que sería, igualmente, fácilmente erosionable.

El otro factor físico fundamental para la calidad de las areniscas es la porosidad. Esta depende no solo del tamaño de grano sino también, sobre todo, de la cementación, que puede ser arcillosa, limosa, calcárea, silicea o ferruginosa (puede haber otras, poco abundantes) o bien la conjunción de varias. La cementación calcárea no es la más adecuada por las razones ya apuntadas; la ferruginosa también puede sufrir importantes alteraciones químicas (hidratación, oxidación); la silicea es de inmejorables condiciones pero su laboreo es muy difícil por su dureza. La cementación que reúne mejores cualidades es la limosa y la arcillosa, especialmente la primera de éstas, pues resulta evidente que la cantidad de cementación es inversamente proporcional a la porosidad.

Hemos relacionado la porosidad, además de con la granulometría —con dos parámetros granulométricos, la mediana y el shorting—, con la cementación.

6.9.1. RELACION POROSIDAD-CEMENTACION

Se ha considerado la cementación como adición de los carbonatos con el porcentaje granulométrico conjunto de los limos y de las arcillas.

Los datos numéricos se exponen en la Tabla IX y se han representado en la Fig. 36.

El uso del total de la cementación hubiera falseado la visualización de los resultados. Por ello, las muestras con carbonatos tienen dos valores, con ellos y sin ellos, unidos por una línea. Consideramos que un segmento equivalente al 7% o más de carbonatos hace a la muestra totalmente inadecuada.

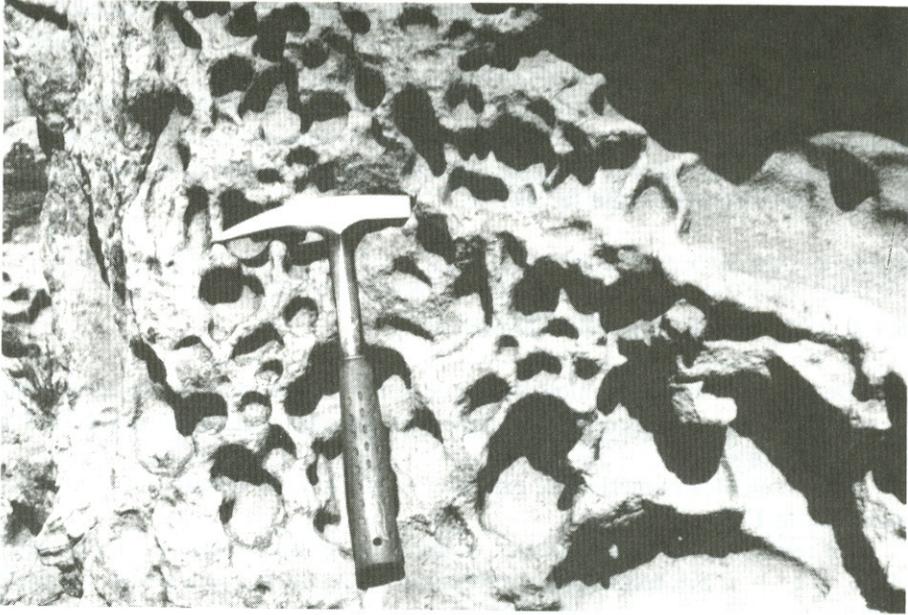


Fig. 34.- Erosión alveolada en areniscas conglomeráticas de cemento carbonatado, en el cerro Terrubio (Aldearrubia). La disolución de los carbonatos por las aguas de lluvia alrededor de los cantos provoca la posterior caída de estos.

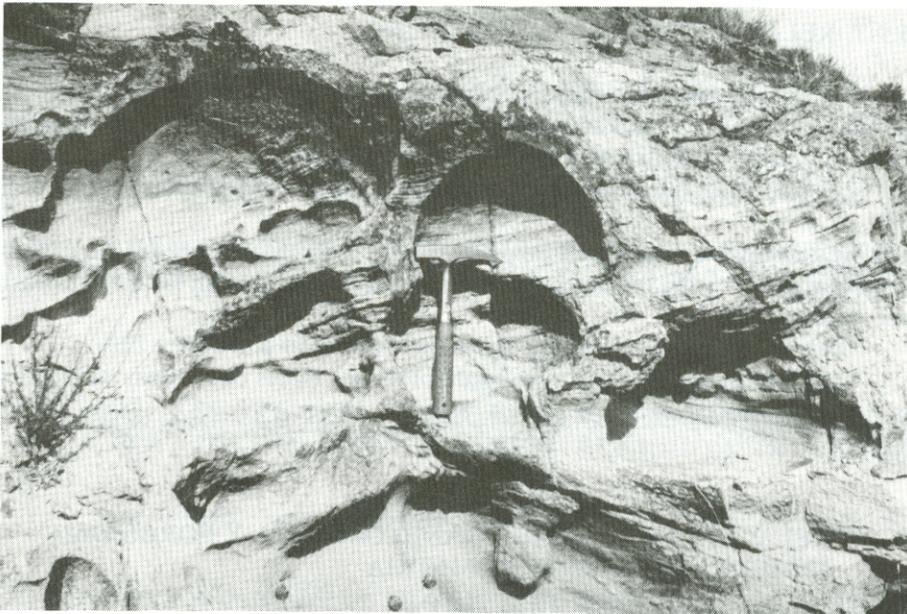


Fig. 35.- Erosión cavernosa en areniscas microconglomeráticas con cemento carbonatado.

La nube de puntos obtenida se sintetiza en agrupaciones de tendencia según la alineación - X + Y (Fig. 36) lo que viene a significar el hecho ya conocido de una relación inversa entre cementación y porosidad.

El óptimo parece situarse en 30% de Porosidad y 15% de cementación. El máximo de frecuencia en el 25% y 16% respectivamente. Es decir, estadísticamente puede decirse que la cementación adecuada no es rara en el área explorada, pero la porosidad suele ser menor.

6.9.2. RELACION POROSIDAD-MEDIANA

De los parámetros granulométricos de rango hemos considerado la mediana para comparar con la porosidad; se han descartado las muestras con más de 7% de carbonatos.

Los resultados numéricos se expresan en la Tabla X visualizados conjuntamente en la Fig. 37.

La relación debería ser directa, es decir, en agrupaciones de puntos según el eje + x, + y. Sin embargo los resultados no patentizan este hecho, teniendo una distribución aparentemente vertical.

Achacamos este hecho a no ser la mediana un parámetro —con ser el mejor de los de rango— muy representativo del tamaño de grano.

6.9.3. RELACION POROSIDAD-SHORTING

Por lo expresado en el párrafo anterior hemos considerado el shorting como parámetro de relación más adecuado para definir una granulometría definida para las areniscas de Villamayor consideradas óptimas.

Los resultados numéricos se presentan en la tabla X y gráficamente en la Fig. 38.

Se acumulan en dos nubes de puntos: una, horizontal o sobre el eje x, para muestras con shorting menor de 1,45 y en la cual se encuentran las mejores para uso arquitectónico.

Otra de distribución vertical, para una porosidad entre 30 y 22%.

Otra interpretación podría ser según otras dos nubes de puntos, paralelas y en relación inversa según eje (- x, + 3 y).

6.9.4. RELACION POROSIDAD-GRANULOMETRIA Y POROSIDAD-CEMENTACION-GRANULOMETRIA

La relación porosidad-granulometría puede determinarse teóricamente a partir de modelos esféricos sin cementación. Naturalmente, los valores obtenidos de-

TABLA IX
RELACION POROSIDAD - CEMENTACION

| N° muestra | Porosidad | Cemento % | Carbonatos % | N° muestra | Porosidad | Cemento % | Carbonatos % |
|------------|-----------|-----------|--------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 1 | 10,60 | 62,40 | 55,00 | 41 | 33,43 | 25,96 | — |
| 2 | 22,65 | 18,02 | 1,59 | 42 | 27,08 | 21,82 | — |
| 3 | 26,81 | 13,40 | 1 | 43 | 23,63 | 84,27 | 15,88 |
| 4 | 28,35 | 46,56 | 1 | 44 | 27,11 | 39,39 | 7,31 |
| 5 | 19,50 | 18,95 | 1 | 45 | 27,58 | 16,22 | 9,50 |
| 6 | 18,89 | 78,26 | 35,50 | 46 | 40,30 | 22,38 | — |
| 7 | 6,78 | 80,00 | 80,00 | 47 | 34,15 | 13,33 | 3,00 |
| 8 | 17,82 | 16,60 | — | 48 | 31,92 | 29,41 | — |
| 9 | 22,84 | 28,99 | 16,60 | 49 | 28,25 | 19,40 | — |
| 10 | 23,57 | 28,30 | 4,70 | 50 | 24,51 | 13,35 | — |
| 11 | 9,18 | 71,93 | 21,41 | 51 | 24,15 | 12,80 | 3,10 |
| 12 | 28,34 | 15,50 | — | 52 | 33,43 | 10,45 | — |
| 13 | 24,78 | 27,90 | — | 53 | 26,72 | 19,16 | — |
| 14 | 29,54 | 30,10 | — | 54 | 25,59 | 30,20 | 9,50 |
| 15 | 28,07 | 40,10 | — | 55 | 24,18 | 34,95 | 20,40 |
| 16 | 23,18 | 11,01 | — | 56 | 24,84 | 20,84 | — |
| 17 | 26,93 | 46,90 | — | 57 | 25,00 | 9,09 | — |
| 18 | 26,42 | 33,20 | — | 58 | 26,87 | 12,96 | — |
| 19 | 26,61 | 20,70 | — | 59 | 11,24 | 11,24 | — |
| 20 | 22,38 | 15,77 | 5,40 | 60 | 25,87 | 13,35 | — |
| 21 | 20,78 | 7,00 | — | 61 | 27,89 | 20,35 | 2,60 |
| 22 | 28,80 | 19,93 | — | 62 | 29,50 | 9,45 | — |
| 23 | 21,37 | 3,64 | — | 63 | 25,47 | 38,53 | 4,10 |
| 24 | 34,26 | 24,43 | — | 64 | 22,51 | 29,12 | — |
| 25 | 30,11 | 9,31 | — | 65 | 27,69 | 52,19 | — |
| 26 | 24,77 | 31,35 | — | 66 | 23,00 | 9,93 | — |
| 27 | 25,57 | 31,33 | 6,30 | 67 | 23,03 | 42,07 | 7,10 |
| 28 | 25,14 | 48,43 | 2,25 | 68 | 32,18 | 14,69 | 5,40 |
| 29 | 27,63 | 26,33 | 5,00 | 69 | 29,29 | 13,84 | 12,90 |
| 30 | 31,70 | 14,10 | — | 70 | 29,84 | 18,79 | 3,10 |
| 31 | 12,90 | 46,09 | 40,10 | 71 | 29,05 | 9,33 | 3,00 |
| 32 | 17,53 | 28,37 | 3,14 | 72 | 20,19 | 20,19 | 6,10 |
| 33 | 22,07 | 31,25 | 5,89 | 73 | 31,50 | 14,66 | — |
| 34 | 11,61 | 19,24 | 15,10 | 74 | 34,37 | 22,74 | — |
| 35 | 19,52 | 11,20 | — | 75 | 30,70 | 15,31 | — |
| 36 | 24,45 | 6,71 | — | 76 | 34,02 | 19,33 | — |
| 37 | 28,54 | 9,95 | — | 77 | 28,19 | 32,09 | — |
| 38 | 29,24 | 15,28 | — | 78 | 23,80 | 12,61 | — |
| 39 | 25,45 | 15,40 | — | 79 | 18,46 | 3,17 | — |
| 40 | 30,48 | 43,61 | 2,60 | 80 | 33,44 | 16,06 | — |

TABLA X
RELACION POROSIDAD - MEDIANA

| N° muestra | Porosidad | Md x 100 | Shorting | N° muestra | Porosidad | Md x 100 | Shorting |
|------------|-----------|----------|----------|------------|-----------|----------|----------|
| 1 | — | — | — | 41 | 32,5 | 13 | 1,34 |
| 2 | 22,7 | 21 | 1,82 | 42 | 27,0 | 22 | 1,64 |
| 3 | 26,8 | 25 | 1,85 | 43 | — | — | — |
| 4 | 28,4 | 8 | 1,82 | 44 | 27,1 | 10,5 | 1,36 |
| 5 | 19,5 | 12 | 1,41 | 45 | — | — | — |
| 6 | — | — | — | 46 | 40,3 | 17 | 1,47 |
| 7 | — | — | — | 47 | 34,1 | 20 | 1,52 |
| 8 | 17,8 | 20 | 1,67 | 48 | 32,0 | 12,5 | 1,30 |
| 9 | — | — | — | 49 | 28,2 | 28 | 1,62 |
| 10 | 23,5 | 15 | 1,48 | 50 | 24,5 | 23 | 1,41 |
| 11 | — | — | — | 51 | 24,1 | 19 | 1,50 |
| 12 | 28,3 | 15 | 1,34 | 52 | 33,4 | 17 | 1,24 |
| 13 | 24,8 | 19 | 1,67 | 53 | 26,7 | 19 | 1,50 |
| 14 | 29,5 | 11,5 | 1,63 | 54 | — | — | — |
| 15 | 28,0 | 8,5 | 1,73 | 55 | — | — | — |
| 16 | 23,2 | 23 | 1,39 | 56 | — | — | — |
| 17 | 27,0 | 10 | 2,50 | 57 | 24,9 | 15 | 1,34 |
| 18 | 26,5 | 11 | 1,44 | 58 | 25,0 | 15 | 1,31 |
| 19 | 26,5 | 15 | 1,41 | 59 | 26,9 | 24 | 1,56 |
| 20 | 22,4 | 18 | 1,53 | 60 | 24,2 | 17 | 1,28 |
| 21 | 20,8 | 20 | 1,26 | 61 | 25,9 | 18 | 1,38 |
| 22 | 28,9 | 12 | 1,55 | 62 | 27,9 | 12 | 1,33 |
| 23 | 21,4 | 48 | 1,38 | 63 | 29,5 | 23,5 | 1,49 |
| 24 | 34,2 | 15 | 1,38 | 64 | 25,5 | 12 | 1,54 |
| 25 | 30,1 | 17 | 1,52 | 65 | 22,5 | 17,5 | 1,82 |
| 26 | 24,8 | 16 | 2,16 | 66 | 27,7 | 9 | 1,50 |
| 27 | 25,6 | 14 | 1,66 | 67 | 23,0 | 18 | 1,29 |
| 28 | 25,1 | 9,5 | 1,58 | 68 | 23,0 | 12 | 1,37 |
| 29 | 27,6 | 12,5 | 1,31 | 69 | 32,2 | 18 | 1,33 |
| 30 | 31,7 | 18 | 1,35 | 70 | — | — | — |
| 31 | — | — | — | 71 | 29,9 | 16 | 1,38 |
| 32 | 17,5 | 18 | 1,87 | 72 | 29,0 | 28 | 1,46 |
| 33 | 22,0 | 17 | 1,84 | 73 | 24,3 | 26 | 1,79 |
| 34 | — | — | — | 74 | 31,5 | 20 | 1,29 |
| 35 | 19,5 | 43 | 1,80 | 75 | 34,4 | 12 | 1,26 |
| 36 | 24,5 | 31 | 1,40 | 76 | 30,7 | 18 | 1,33 |
| 37 | 28,5 | 23 | 1,35 | 77 | 34,0 | 16 | 1,38 |
| 38 | 29,2 | 27 | 1,48 | 78 | 28,2 | 15 | 1,48 |
| 39 | — | — | — | 79 | 23,8 | 22 | 1,69 |
| 40 | 30,5 | 9,5 | 1,89 | 80 | 18,5 | 22 | 1,27 |
| | | | | | 33,5 | 14 | 1,31 |

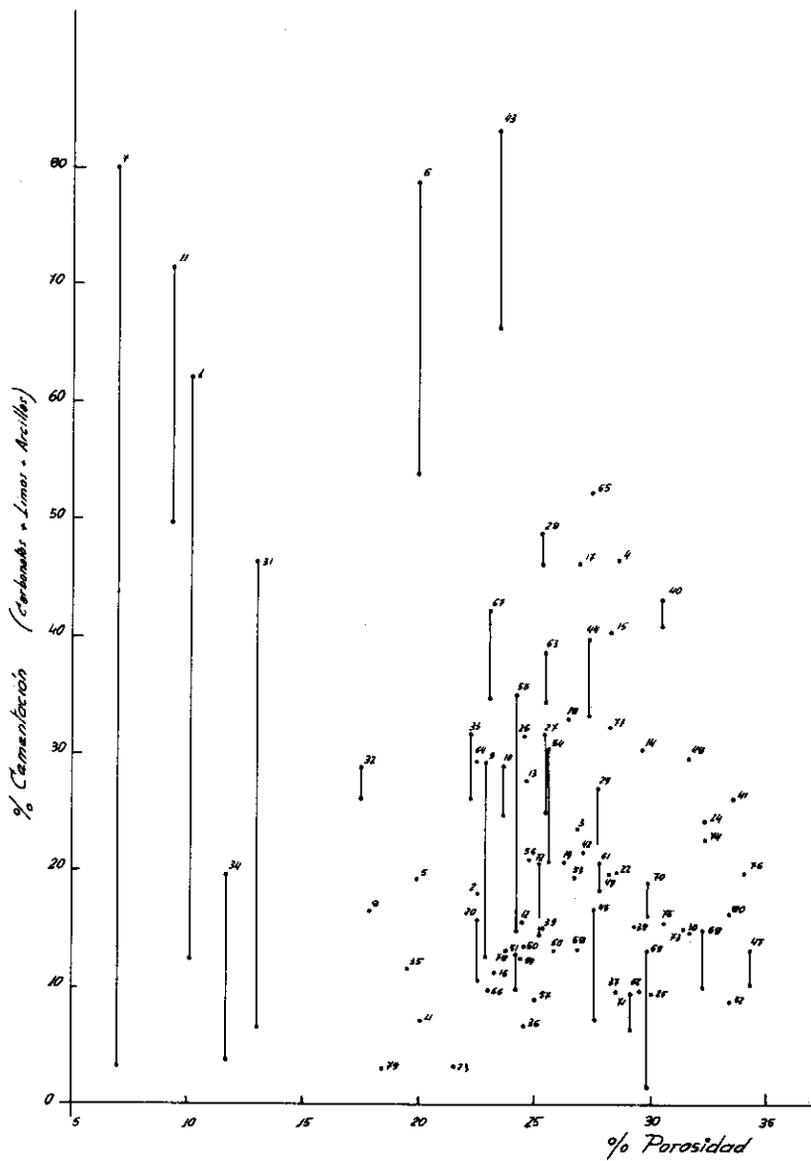


Fig. 36.-

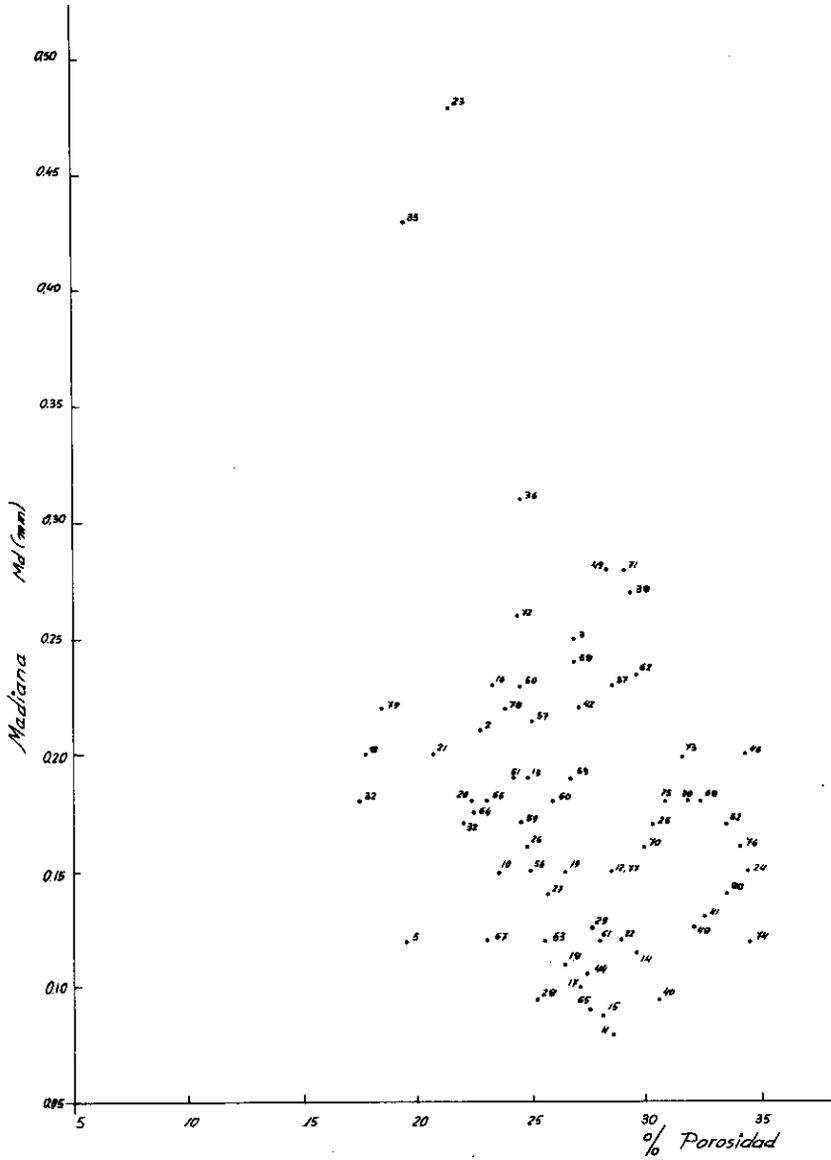


Fig. 37.-

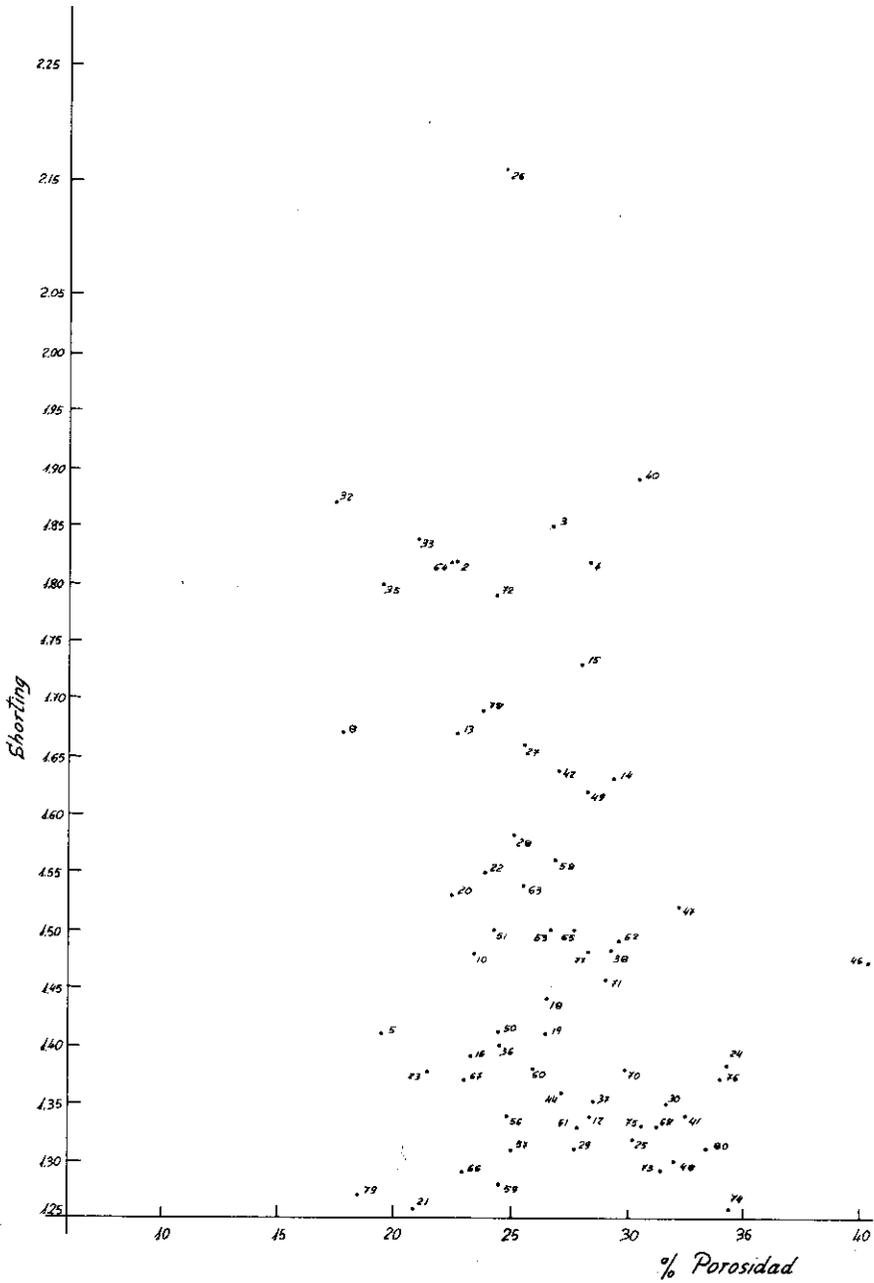


Fig. 38.-

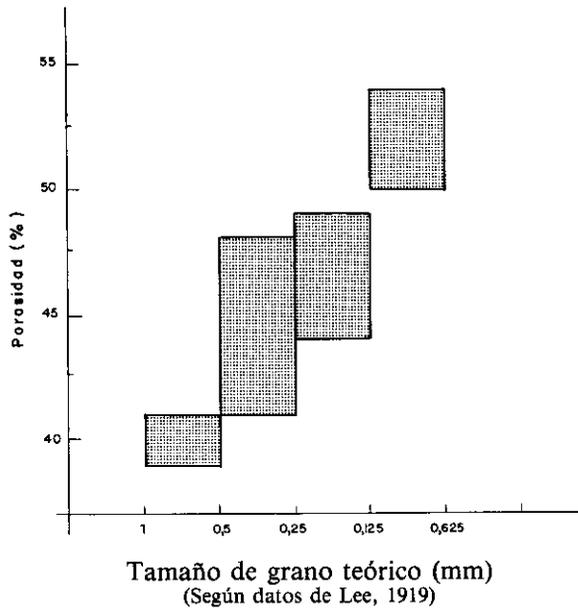


Fig. 39

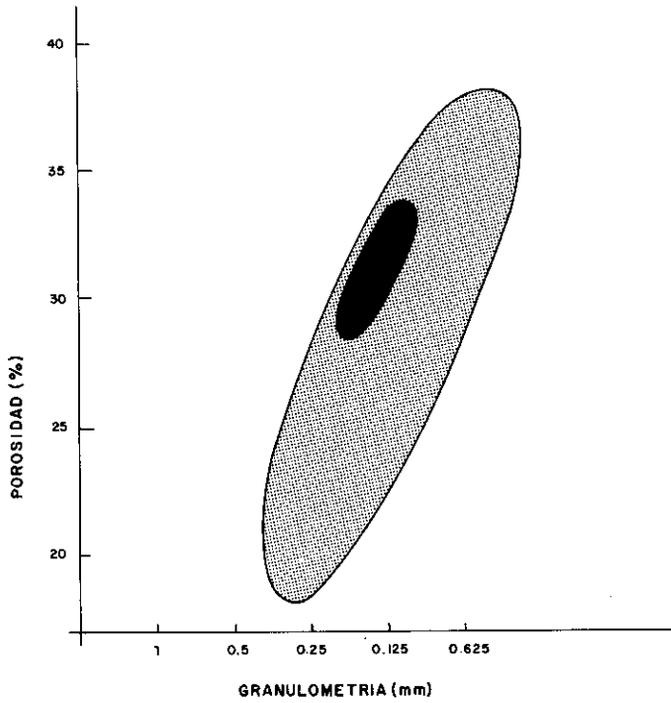


Fig. 40.- Nube de áreas P-G para las areniscas de Villamayor

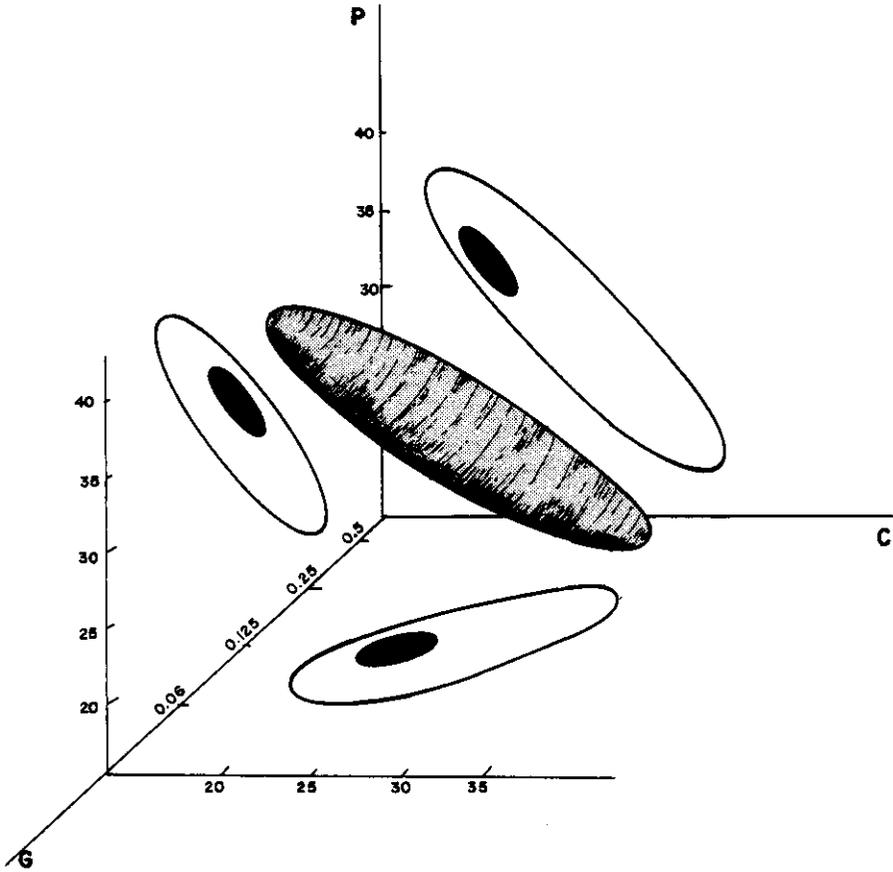


Fig. 41.- Imagen de la nube tridimensional del dominio Granulometría (G)-Cementación (C)-Porosidad (P) para las areniscas de Villamayor.

penderán del ordenamiento de los modelos, según ocupen un empaquetado denso de tipo cúbico o hexagonal o bien estén totalmente desordenados.

Estos valores fueron determinados por LEE en 1919 siendo la porosidad de las arenas gruesas de 39 a 41%, la de las medias de 41 a 48%, de las finas de 44 a 49% y de las muy finas de 50 a 54% (Fig. 39).

Con los datos de porosidad que hemos calculado en el apartado 6.7 se ha intentado establecer una comparación con la granulometría, similar a la de la Fig. 39.

El problema está en escoger el parámetro más adecuado, que puede no ser representativo si la dispersión de tamaños no es pequeña.

En cualquier caso ello puede resolverse si, en la gráfica, en lugar de representar el par porosidad-parámetro granulométrico con un punto, tomamos a éste como centro de un área mayor o menor según sea su dispersión.

Haciendo esto, tomando como parámetro granulométrico la mediana (Fig. 37) se ha representado una nube de áreas en la Fig. 40, con una zona más oscura para las áreas de óptimo de las areniscas de Villamayor (resultados no teóricos).

La situación excéntrica del óptimo dentro de la nube de áreas, se estima es debida al complejo de caracteres cronoestratigráficos, y de situación geográfica.

Comparando la figura 40 con la 39 observamos identidad de resultados, desplazados verticalmente en un orden de 20 unidades de porosidad (%). Achacamos esta diferencia a la cementación. Observemos que para el óptimo el desplazamiento es de 15 unidades de porosidad y que la cementación (no carbonatada) era del 15%.

En la Fig. 36 se aprecia como la relación *Porosidad-Cementación* es inversa. Tomando el mismo principio podría representarse también en una nube de áreas.

En un sistema de tres ejes *Porosidad-Cementación-Granulometría*, la intersección de las gráficas *Porosidad-Granulometría* y *Porosidad-Cementación* produce la imagen tridimensional de un huso (Fig. 41).

Ello permite deducir una relación inversa entre *Granulometría* y *Cementación*, que debe entenderse aplicable solo al estudio de las areniscas de Villamayor.

6.10. ESTABILIDAD DE LOS COMPONENTES EN GRANO FRENTE A LA ACCION DE LOS AGENTES ATMOSFERICOS.

Los agentes atmosféricos pueden hacer variar las condiciones de alterabilidad de las rocas. Habiéndose ya tratado el factor químico, que puede cambiar la estabilidad de los componentes minerales, se intenta aquí conocer los factores físicos que disgregarían la roca, especialmente la temperatura.

Para ello se pueden seguir dos procedimientos: Directo, observando las variaciones organolépticas de las muestras sometidas a diversas temperaturas extremas repetidas, tal como se indicará en el apartado 9.4.3.

El segundo procedimiento es el indirecto, seguido usualmente en laboratorios de obras públicas. Consiste en aplicar soluciones químicas a muestras desagregadas.

6.10.1. PROCEDIMIENTO

a) Desagregado de las muestras. Se ha empleado el sistema usado en el apartado 6.3.1.

b) Tamizado. Se han separado los componentes cribados en húmedo en los tamices de mallas 0,500, 0,250 y 0,125 mm.

c) Deseccación hasta peso constante a una temperatura de $105 \pm 5^\circ \text{C}$. Se precisan 100 g de cada una de las fracciones, siendo necesario que la cantidad separada represente al menos el 5% del total de la roca.

d) Inmersión de las muestras en la solución. Se ha empleado solución de sulfato magnésico en la que se ha sumergido cada fracción durante 17 horas. El nivel de la solución quedó a 20 cm de la muestra. El recipiente se cubre para evitar la evaporación y contaminación. La temperatura ambiente fue de $21^\circ \pm 1^\circ \text{C}$.

e) Secado de las muestras después de la inmersión.

Al cabo de 15 minutos de secado ambiental se introducen las muestras en la estufa, en la que la temperatura se fijó en $105 \pm 5^\circ \text{C}$, hasta conseguir peso constante. El enfriamiento posterior se hizo a temperatura ambiente, y las pesadas a intervalos mayores de 4 horas.

El pesaje ha de efectuarse con precisión de 0,1 g. Una vez alcanzado el peso constante, se vuelven a sumergir de nuevo las muestras en la solución, completándose varios ciclos de inmersión y secado.

f) Examen cuantitativo. Después de la última operación de secado y enfriado, se lavaron las muestras para eliminar completamente el sulfato magnésico. Como prueba de dicho lavado se trataron las aguas sobrantes con cloruro bórico.

A continuación se secó la muestra a temperatura de $105 \pm 50^\circ \text{C}$ hasta conseguir peso constante. Se volvió a pasar las muestras por los mismos tamices en cada caso.

Las muestras fueron observadas visualmente con lupa binocular en este momento, para observar posibles cuarteamientos de las partículas.

g) Examen cualitativo. El examen debe hacerse de la siguiente forma:

- 1º Observación del efecto que produce la acción del sulfato magnésico y la naturaleza de esta acción (desintegración, resquebrajamiento, desmenuzamiento, agrietamiento, lascas, etc.).
- 2º Recuento del número de partículas afectadas.

h) Presentación de resultados. Deberían expresar

- 1º Pérdida del peso en cada fracción pasada por tamiz, por desintegración etc.; se expresaría absoluta o percentualmente.
- 2º Porcentaje de partículas afectadas.

6.10.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Se ha investigado en dos muestras procedentes de las canteras de La Moral y Sanchón.

Después de 5 ciclos de inmersión, secado, lavado y examen, la pérdida de peso en los tamices de 0,250 y 0,125 es menor del 1%. Descartamos en esta investigación la alteración de material retenido en el tamiz 0,5 mm y de malla más abierta por requerir cantidades de muestra excesivamente grandes.

En observación visual no se aprecian cambios en la forma de los componentes materiales.

Quiere todo ello decir que el tamaño de grano mayoritario (0,125 y 0,250 mm) en las mejores muestras de las areniscas de Villamayor es inmune a la alteración artificial con sulfato magnésico, lo que permite suponer que no hay desintegración mecánica de los componentes minerales de la roca debido a los agentes atmosféricos. No se considera en esta conclusión ni a la matriz ni al cemento de la roca, que han sido definidos en otros apartados.

7. DEFINICION TECNICA DE LAS ARENISCAS DE VILLAMAYOR

Las areniscas de Villamayor se encuadran en un contexto geográfico-geológico, conllevan una definición petrográfica, mineralógica y presenta unas propiedades físicas bien marcadas, que exponemos a continuación.

7.1. MARCO GEOGRAFICO.

Queda delimitado a las cuencas terciarias de las provincias de Salamanca y Zamora. Se excluyen por múltiples razones las canteras abulenses.

Se pueden delimitar siete grandes áreas: las de Villamayor, escarpes del Tormes, Babilafuente, Armuña, Cuenca de Ciudad Rodrigo, Fuentesauco y Tierra del Vino.

7.2. MARCO GEOLOGICO.

Dentro de la compleja estratigrafía del Terciario del borde SW de la Cuenca del Duero, las areniscas de Villamayor en sentido general se encuadran en el periodo comprendido entre el Eoceno medio y el Oligoceno inferior. La mejor calidad se da en un límite mucho más concreto: Eoceno medio alto y Eoceno superior.

En dicha época, en la que el clima era intertropical, cálido y húmedo, el ambiente sedimentario era fluvial, con grandes arrolladas, cuyos abanicos aluviales se interanastomosaban y cortaban. Estos condicionamientos, especialmente el clima, no fueron iguales ni antes —durante el Paleoceno, más húmedo y cálido—, ni después. A partir del Oligoceno medio fue variando paulatinamente hacia un ambiente más árido.

Por supuesto que otros factores constituyentes —área madre, p.e.— se podrían dar en otros puntos en la misma época, pero los materiales que se depositaron durante ella se encuentran hoy enterrados bajo la enorme masa de sedimentos miocenos.

7.3. DEFINICION PETROGRAFICA

La Arenisca de Villamayor se define como una arenisca feldespática cuando presenta las mejores condiciones de aprovechamiento industrial. Las variaciones en su composición mineralógica, especialmente en su porcentaje de feldespatos, hacen que pueda pasar a clasificarse como una arenisca arcósica. Las variaciones granulométricas, a una arenisca feldespática microconglomerática.

Las variaciones en el porcentaje de cemento calcáreo pueden modificar completamente la clasificación pudiendo llegar a encontrarse intraesparitas.

7.4. DEFINICION MINERALOGICA

Los minerales esenciales en las areniscas de Villamayor son el cuarzo y los feldespatos (microclina y plagioclasas) cuya variación en el porcentaje determina su clasificación petrográfica. Pueden presentarse fragmentos de rocas preexistentes, frecuentemente cuarcitas y esquistos.

El cemento puede ser de tipo arcilloso o carbonatado. Los cementos ferruginoso y silíceo pueden darse también en la región, el primero acompañando al arcilloso y tiñéndolo de rojo. El cemento exclusivamente silíceo, que da extraordinaria compacidad a la roca, no es frecuente en el ámbito de las areniscas de Villamayor pero si en zonas muy próximas. Conviene recordar que pese a ser roca industrial de extraordinaria resistencia a la erosión, su laboreo es difícil, por lo que generalmente ha sido siempre descartada para su uso arquitectónico.

La presencia de carbonatos como constituyentes del cemento puede ser un grave problema por lo que respecta a su prolongada conservación, dado que las aguas cargadas de anhídrido carbónico y los vapores de contaminación atmosférica las disuelven con facilidad. Todas las muestras estudiadas presentan un porcentaje de carbonatos, que pueden admitirse si no sobrepasan del 7%. Una elevación de éste inhabilita la roca para usos ornamentales.

El cemento más frecuente en las areniscas de Villamayor es el arcilloso, con una pequeña proporción de óxido e hidróxidos de hierro que le dan a la roca una tonalidad rojiza o amarillenta. Los análisis de rayos X demuestran que el cemento resulta de la combinación de los elementos minerales, a saber: fundamentalmente cuarzo y minerales arcillosos (caolinita, illita, montmorillonita e interestratificados). Los acompañan plagioclasas y feldespatos potásicos.

Como minerales accesorios, pueden tener turmalina, andalucita, distena, granate, epidota-zoisita, circón, estaurolita, biotita, moscovita, sillimanita, rutilo, topacio, apatito, clorita, sericita, magnetita e ilmenita.

Otros minerales detectados en cantidades ínfimas son piritita, calcopiritita y oro.

7.5. DEFINICION GRANULOMETRICA.

Del estudio de las 138 muestras tomadas hemos concluido que la más rápida manera de visualizar la granulometría de las *Areniscas de Villamayor* es mediante su histograma (Fig. 20, A, B).

La mejor calidad se da en areniscas bien seleccionadas, es decir con un alto máximo en un solo tamiz, y cuando éste es precisamente el de areniscas finas (es decir, entre 0,25 y 0,125 mm de diámetro).

El contenido en tamaños muy gruesos ($> 1\text{mm}$) ha de ser mínimo y mejor si es nulo. El de pelitas ($< 0,06\text{ mm}$) no debe ser superior al 15% ni inferior al 5%.

Estos condicionamientos, junto al bajo contenido que debe tener en carbonatos (7%), dificultan la localización de piedra de calidad superior, lo que se agrava más aún por los problemas técnicos de explotación que comentaremos en el apartado siguiente. Ello hace que se tenga que emplear material de obra no tan bueno. Insistiremos en que para motivo artístico u ornamental la piedra debe tener las estrictas cualidades granulométricas y mineralógicas aquí definidas.

Responden a estas condiciones las muestras 5, 12, 19, 25, 30, 47, 52, 59, 60, 66, 70, 81, 89, 101, 131, 136.

Con exceso de carbonatos: 9, 10, 20, 45, 68, 69, 45, 133, 135.

Con tendencia a areniscas de grano medio 8, 16, 36, 37 (ligera), 38, 51, 57, 58, 62, 73, 79, 97.

Con exceso de gruesos 36, 37, 49, 50, 83.

Con exceso de muy finos 4, 14, 18, 23, 24, 29, 38, 40, 41, 46, 48, 56, 75, 76, 80.

Con defecto de muy finos 21, 82, 84, 85, 86, 87, 88.

Para mejor definir las características granulométricas, con respecto a otras propiedades (cementación, porosidad) se han calculado los parámetros estadísticos más característicos, cuyos óptimos se sitúan (entre paréntesis los límites máximo y mínimo):

| | | |
|-----------------|--------|-------------|
| Mediana: 0,18 | (0,09 | - 0,23) mm |
| Shorting: 1,37 | (1,30 | - 1,60) mm |
| Curtosis: 0,075 | (0,024 | - 0,160) mm |

7.6. CARACTERISTICAS FISICAS.

Consideramos que la principal propiedad física de la Arenisca de Villamayor es su porosidad. Esta es de 32% (óptimo), estando los límites situados entre 20 y 35%.

Se ha medido la compresión de rotura de probetas patrón en condiciones de humedad interna al 0, 50 y 100%. Resisten respectivamente 116, 74 y 49 Kg/cm². Se ha procedido a efectuar la experiencia con muestras de óptimas características granulométricas.

Porosidad, cementación y granulometría son factores que interdependen de modo que los límites de cada factor forman un conjunto triple o tridimensional (Fig. 41).

7.7. FACTORES DE EXPLOTACION.

El hecho de que una muestra sea buena no quiere decir que sea explotable. Se requieren unas condiciones imprescindibles de orden económico y técnico.

Las primeras son las habituales en toda explotación de recursos naturales: demanda, comunicación, maquinaria, costo de mano de obra, reservas...

Ello por lo que se refiere a condiciones generales. En el caso concreto de las *Areniscas de Villamayor* a ellas han de sumarse las siguientes:

En primer lugar, por lo que respecta a las reservas, podría pensarse que, dada la extensión del Eoceno en Salamanca y Zamora, son inagotables. Sin embargo hay que objetar que las areniscas se presentan en lentejones de no muy gran amplitud horizontal ni vertical (ésta no pasa de 4 m en el mejor de los casos). Ello es debido a la naturaleza sedimentológica de estos materiales depositados como abanicos aluviales anastomosados y cortados por la erosión.

La potencia de los sedimentos en la mayoría de los casos es muy pequeña para que puedan ser considerados como explotables; generalmente existen laminamientos horizontales o inclinados, cambios laterales y/o verticales de facies, que hacen que el volumen a considerar no justifique una inversión.

En segundo lugar, una vez salvada la objeción de un volumen suficiente, se presenta otro problema. El laboreo de la *Arenisca de Villamayor* requiere la presencia de agua en la inmediata proximidad y, a ser posible, coincidencia con un nivel freático que impregne la roca, lo cual no siempre es dado disponer.

Todos estos reparos explican por que hay tantas pequeñas canteras y calicatas abandonadas.

8. «LA ENFERMEDAD DE LA PIEDRA»

Se define la enfermedad de la piedra, en general, como el conjunto de factores que hacen que el material de construcción u ornamento se deteriore con el paso del tiempo. Ha sido aplicado también a las paredes de cuevas con pinturas prehistóricas, algunas de las cuales (Lascaux, La Debruge, Santillana) han sido estudiadas exhaustivamente, sirviendo estas investigaciones para comprender y tratar otros lugares menos llamativos.

El deterioro en catedrales, monasterios (Burgos, París, León, Zamora, Salamanca, Valladolid) ha concienciado a la opinión pública del inmediato peligro de pérdida de estos monumentos, llegando a promover una disciplina nueva que trata de evitarlo.

El fenómeno se ha venido produciendo siempre, pero ha sido un hecho secundario el que lo ha puesto al descubierto. La contaminación atmosférica urbana, producida por los humos de calefacción y gases de escape de motores, provoca la pátina de suciedad y oscurecimiento de los edificios. Al proceder a su limpieza es cuando se comprobó que los monumentos estaban dañados, en algunas partes irreparablemente.

La enfermedad puede ser de tres ordenes: mecánica, química y biológica. La mecánica puede ser debida a dos acciones: por un lado las diferencias de temperatura diurnas, que provocan unas tensiones internas, produciendo finalmente un desmoronamiento superficial o desconchamiento. Por otro lado, la acción de los agentes meteorológicos, especialmente el viento —cargado de partículas— y el agua. La acción del viento no es muy fuerte en nuestras latitudes sobre todo porque el polvo disparado, verdadero causante del deterioro al pulir o alveolar las superficies, no se levanta por encima de determinada altura. La acción del agua es más importante pero, por su evidencia, ha sido objeto de preocupación y estudio ya desde el principio de la construcción de monumentos. Los sistemas de irrigación se fueron perfeccionando e incluso adornando con el avance de las técnicas de construcción.

La enfermedad química es la principal causa de preocupación en la actualidad. La alteración puede afectar a constituyentes minerales en grano o al cemento. Si a los primeros, cambiando la visualidad de la piedra; si al cemento, provocando su corrosión.

Los carbonatos son los constituyentes más fácilmente alterables. Si bien son prácticamente insolubles en agua, su solubilidad aumenta 80 veces en presencia —aún ínfima— de CO_2 , siempre presente en la lluvia.

Las rocas carbonatadas (calizas, mármoles, dolomías) son ampliamente utilizadas en construcción. Por su fácil laboreo se han usado también en arte. Es en estos materiales donde los estudios han sido más abundantes. La disolución

no es el único efecto que estropea al conjunto. En algunos casos se producen recristalizaciones, a veces repetidas, que afectan a la superficie ya erosionada. Todo ello hace que los adornos y esculturas queden desfiguradas y pierdan su carácter original. Se han propuesto muchas soluciones a este problema, todas ellas consistentes en aplicar un barniz químico para protección en la intemperie, pero no puede utilizarse una misma solución general pues existen múltiples condicionamientos secundarios.

Otro problema de difícilísima solución es la restauración de rocas carbonatadas en obras de arte, del cual se ocupan intensamente los organismos competentes a nivel nacional e internacional.

Los cementos ferruginosos de la roca también se alteran químicamente por oxidación y/o hidratación, produciéndose una ruñefacción o tinción de color rojo o amarillo.

En cuanto a las arcillas son fácilmente erosionables por acción simplemente mecánica o térmica. El cemento silíceo es compacto y difícilmente atacable, pero su laboreo es difícil por lo que no suele ser empleado.

Sin duda los mejores cementos rocosos son los híbridos por sus condiciones de resistencia a la corrosión; no obstante, insistiremos en el problema que presentan siempre los contenidos carbonatados.

Otro aspecto de la enfermedad de la piedra es el biológico, manifestado en el recubrimiento de hongos principalmente, a veces también musgos y/o líquenes, que hacen variar el color original de la roca.

El problema tiene 3 soluciones generales: raspado mecánico, lucha con algún producto fungicida (no siempre se puede emplear el mismo, pues depende de la especie a combatir y de que no altere la composición mineralógica de la roca), y cubrimiento con un barniz químico.

8.1. LA ENFERMEDAD DE LA PIEDRA EN LA ARENISCA DE VILLAMAYOR

Las areniscas en general y la de Villamayor en particular presentan unas características peculiares que la hacen más «sana» hablando en términos clínicos, o con más defensas frente a los agentes de meteorización.

Naturalmente que si los carbonatos están en demasía, el problema es exactamente el mismo que el de calizas y dolomías. El problema incluso se agudiza pues los granos de cuarzo y feldespato quedan resaltados por desaparición del cemento, o bien caen, quedando la superficie alveolada. Una cantidad máxima de carbonatos aceptable es del 7%, para fines arquitectónicos y mucho menor para ornamentos.

Hemos podido comprobar que el cemento en la Arenisca de Villamayor suele tener un amplio contenido en sílice, siendo tan importante como los componentes arcillosos (caolinita, illita, esmectitas, attapulgita-sepiolita). Algunos de estos minerales pueden presentar problemas por la propiedad que tienen de hin-

charse al hidratarse. También es preocupante, aunque no alarmante, la presencia de óxidos o hidróxidos de hierro.

Respecto al tamaño de grano, ya hemos indicado en el capítulo anterior que no puede haber exceso de gruesos ni de finos y que la roca óptima debería ser la que tuviese un alto porcentaje comprendido entre 0,250 y 0,125 mm de diámetro de partícula. Altos promedios de mayor tamaño provocan resaltes de grano o alveolados. De tamaño menor inhabilita la roca por mayor erosibilidad mecánica.

Dejando aparte los componentes del cemento, de todos los elementos mineralógicos de la *Arenisca de Villamayor*, la mayoría de ellos son resistentes a una acción meteorológica continuada. Únicamente los feldespatos pueden ser alterados, pasando a minerales arcillosos, aunque en ningún caso se ha visto que la alteración haya sido total. Es muy posible que en un clima intertropical, más cálido y mucho más húmedo que el que disfrutamos, se produjesen cambios químicos más patentes, aunque lo más probable es que el espacio de tiempo hubiese sido muy corto para que se hubiese puesto de manifiesto en toda su intensidad. La alteración tanto de carbonatos como de feldespatos —aunque en estos solo sea parcial— se produce en profundidad, dado que la roca es muy porosa (20 a 32%). Sería preferible que la roca lo fuese menos, pero ello conllevaría un aumento de cemento, lo cual sería perjudicial.

Por tanto el diagnóstico de la enfermedad de la piedra en la *Arenisca de Villamayor* depende esencialmente de su contenido en carbonatos y arcillas y de su tamaño de grano, produciéndose, si son inadecuados, corrosiones, resaltes por erosión o alveolados. Un exceso de óxidos de hierro puede provocar rubefacción y corrosión.

8.2. PREVENCIÓN DE LA ENFERMEDAD.

Una vez expuesto lo anterior la prevención del mal es bien simple dependiendo de los fines para los que se quiera emplear la piedra.

Para conocer el contenido en carbonatos basta efectuar una calcimetría. Un método más rápido, aunque no tan preciso, puede hacerse moliendo la muestra, previamente pesada, sumergiendo el polvo en ClH, secando y volviendo a pesar. La diferencia nos da, aproximadamente, el contenido en carbonatos.

La determinación de tamaño de grano suele hacerse visualmente o al tacto pero se está expuesto a cometer groseros errores por cuanto así no se tiene en cuenta la selección, tan importante para calibrar la calidad. Recomendamos el empleo de análisis granulométricos que corroboren la apreciación sensorial.

Con estas técnicas, no sofisticadas, se puede elegir fácilmente una piedra dentro de los límites óptimos o al menos permisibles dentro de los fines solicitados. Estos límites figuran en el capítulo anterior. Con ellos la enfermedad de la piedra no debe presentarse o, al menos, se atenuará en el futuro.

8.3. TRATAMIENTO.

Sin embargo, no siempre puede utilizarse la roca idónea, ni siempre se ha hecho así. Más bien podríamos decir que frecuentemente se ha empleado material inadecuado, que hoy no puede ser sustituido por razones obvias.

Dos caminos han de tomarse en este caso: Protección de la roca con un sellado de poros o restauración.

El sellado de poros y superficies requiere como condición esencial que la película sea impermeable, que no produzca brillos, que no cambie el color de la roca (no absolutamente necesario) y que resista sin alterarse un margen de tiempo lo suficientemente amplio; igualmente, ha de resistir los cambios de temperatura diurnos y extremos.

Es de destacar que la protección ha de hacerse quizás más esencialmente en las uniones entre bloques pues es ésta la zona por donde la humedad puede penetrar y erosionar con mayor intensidad.

En cuanto a la restauración debe realizarse usando como masilla la misma arenisca triturada, a ser posible de color ligeramente más oscuro, aglutinada por el mismo producto de protección superficial. El secado debe ser lento y a la sombra, para evitar el cuarteamiento.

El estudio de los diversos productos químicos y comprobaciones efectuadas para estudiar la protección y restauración de la *Arenisca de Villamayor* es objeto del capítulo 9.

**9. TRATAMIENTO PREVENTIVO Y
RESTAURACION DE LA PIEDRA
ARENISCA**

9.1. PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

Se han tomado en cantera unas muestras representativas de las areniscas empleadas en este trabajo, tipos A, B y C, tomadas respectivamente en las canteras de La Moral, de Sanchón y de Las Puertas, así como muestras de campo del Teso de la Flecha (D) y de Aldearrubia (E); ya en el laboratorio se elaboraron unas series de probetas con dimensiones equivalentes a un ladrillo hueco doble de 9 x 12 x 25 cm, con objeto de poseer una referencia común; dichos materiales se presentan en la figura 42.

9.2. CARACTERISTICAS DE LOS PRODUCTOS A EMPLEAR.

| | |
|-----------------------|--------------------|
| A) Grupo de resinas | A-1 A-2 |
| B) Grupo de siliconas | B-1 B-2 B-43 |

A-1

Definición: Es un producto de aspecto lechoso, cuya relación agua/resina es del 50%, que sustituye parcialmente el agua de amasado del cemento Portland, proporcionando una gran protección a las superficies y cuerpos tratados.

Características:

- Gran adherencia sobre soportes rígidos, hormigones, morteros de cementos, ladrillos, hierro, madera y materiales plásticos.
- Mejor resistencia mecánica frente a la abrasión y el impacto.
- Impermeabilización total de los cuerpos tratados.

A-2

Definición: Emulsión blanca de resinas sintéticas de gran poder adherente.

Características:

- Estado..... líquido blanco
- Densidad a 25° C..... 1,05-0,01



Fig. 42.- Conjunto de muestras de cantera y campo.

- Viscosidad a 25° C..... 10-2 poises
- Tiempo de secado película fina:
 - a 25° C..... 10 min.
 - a 10° C..... 1 hora
- Aumenta la resistencia a flexotracción.
- Posee gran adherencia sobre soportes firmes como hormigón, morteros de cemento, ladrillos, hierro, madera y materiales plásticos.
- Impermeabilización total de las superficies tratadas.

B-1

Definición: Solución fluida e incolora a base de siliconas, que contiene sustancias volátiles muy inflamables y tóxicas.

Características:

- Estado líquido incoloro
- Densidad a 25° C..... 0,79 kg/litro
- Gran poder de penetración.

B-2

Definición: Solución fluida de coloración amarillenta, a base de siliconas constituida por sustancias volátiles.

Características:

- Estado líquido amarillento.

B-3

Definición: Solución fluida e incolora, a base de siliconas, integrada fundamentalmente por sustancias volátiles.

Características:

- Estado líquido incoloro
- Densidad a 25° C..... 0,75 g/cm³
- Viscosidad a 25° C..... 2 poises
- Extracto seco..... 5,7%
- Tensión superficial..... 20 dinas/cm
- Punto de inflamación..... (agua pura a 70 dinas/cm)
27° C

9.3. COMPORTAMIENTO DE LA PIEDRA ARENISCA CON Y SIN TRATAMIENTO CON RESINAS Y SILICONAS.

Se han tomado tres probetas de areniscas de las dimensiones de un ladrillo hueco doble 9 x 12 x 25, de los tipos A, B y C (ver apartado 9.1 y Fig. 42), aplicando en sus extremos los productos correspondientes a los grupos de resinas y siliconas, según se expone en la Fig. 43.

La prueba consiste en sumergir un extremo de la probeta en un cristalizador que contiene los productos del grupo de resinas y de siliconas originales, tal y como se presentan en el mercado, y un tiempo de DIEZ SEGUNDOS. Una vez seco se repite la operación aplicada al otro extremo de la probeta pero tanto las resinas como las siliconas han sido previamente coloreadas por adición de un colorante azul («Azul SUVINIL RS» soluble en disolventes orgánicos) con objeto de comprobar posteriormente el grado de penetración de las mismas.

Después de dicho tratamiento las probetas presentan el aspecto que se expone en la Fig. 43.

El efecto que se produce por la acción posterior del agua, al ser aplicada ésta parcialmente a dos de sus caras, queda bien patente: las gotas de agua quedan sobre las superficies tratadas, y se oscurece la zona no tratada por la adsorción del agua poniendo de manifiesto la eficacia de las zonas tratadas, según se expone en las figuras 44a, b, c.

Empleo de A-1, en distintos grado de dilución.

En un probeta de muestra de arenisca Tipo B, dividida en seis partes, cero, 20, 40, 60, 80 y 100 que corresponden a las concentraciones en % en agua de dicha resina; la aplicación se hizo con brocha.

Se ha echado agua parcialmente en dos de sus caras para comprobar la acción de la misma a simple vista, poniéndose rápidamente su efecto en evidencia, según se expone en la Fig. 45.

Se deduce que para concentraciones de resina inferiores al 50%, dicha resina no cumple plenamente con su misión.

Del mismo modo, una concentración igual o superior al 80% cambia ligeramente las características visuales de la roca, de un modo homogéneo.

Como consecuencia de estas pruebas y para una mayor eficacia y durabilidad, debe aplicarse una primera mano con el 50% de dilución y después de seco otra segunda mano con el producto original.

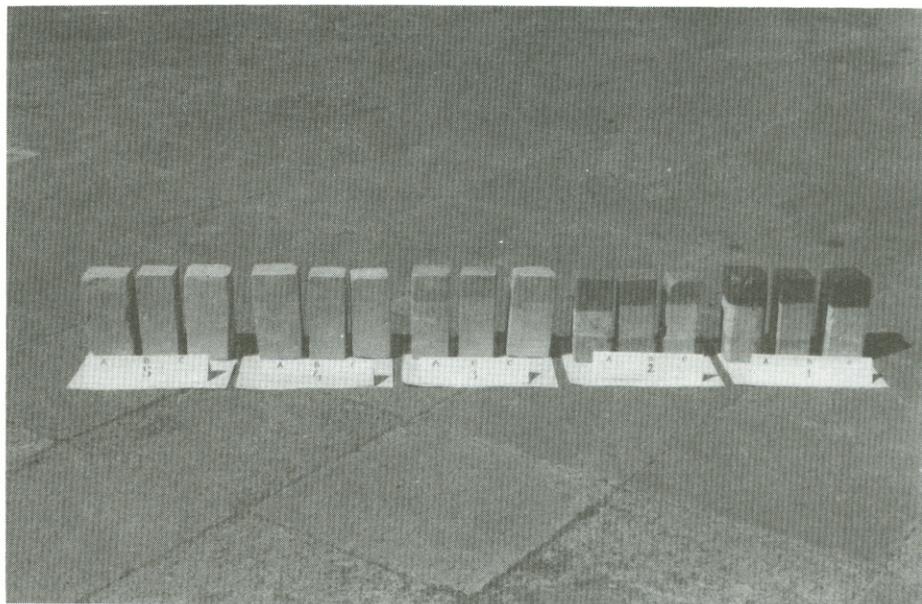


Fig. 43.- Conjunto de probetas de prueba, de tamaño 9 x 12 x 25 (Areniscas de Villamayor) tratadas en sus extremos con aditivos (1, 2, 3 siliconas; 4, 5 resinas). El extremo superior, además con adición conjunta de colorante «Azul SUVINIL RS».

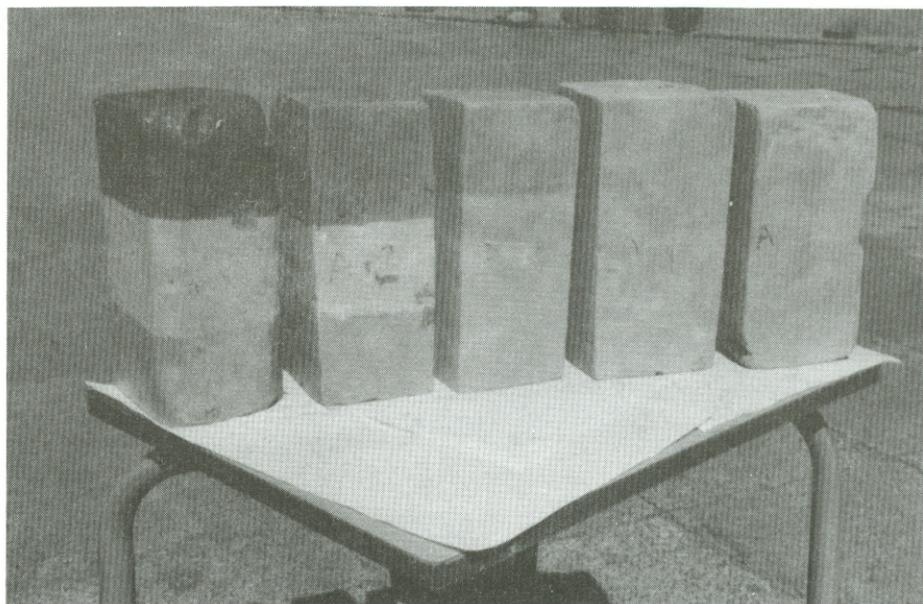


Fig. 44a.- Muestras A (Canteras de La Moral) tratadas con aditivos en sus extremos y humedecidas lateralmente para probar la eficacia impermeabilizante del tratamiento. Obsérvese asimismo la inalterabilidad del color original de la piedra.

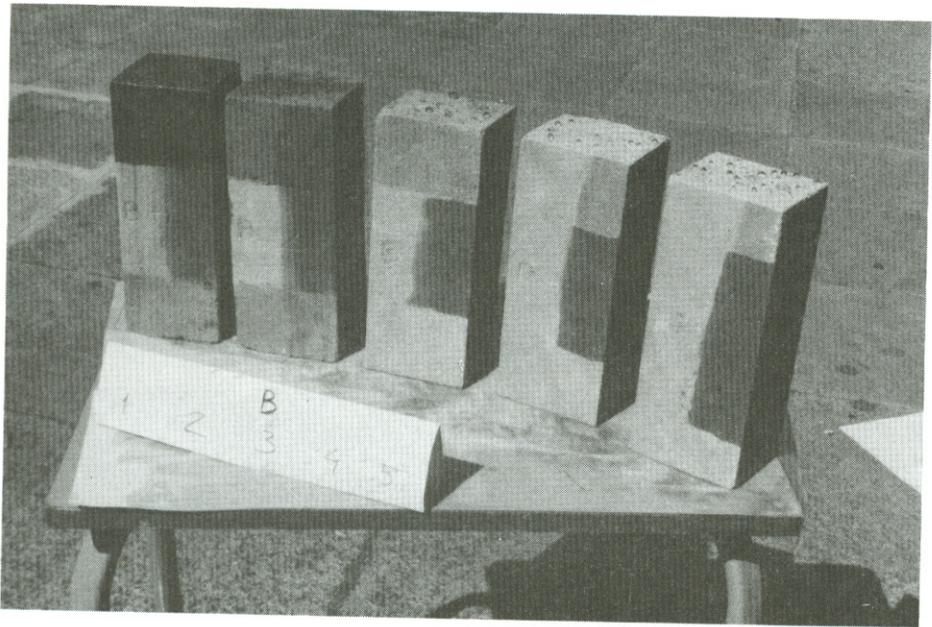


Fig. 44b.- La misma experiencia en las muestras B (Canteras de Sanchón).

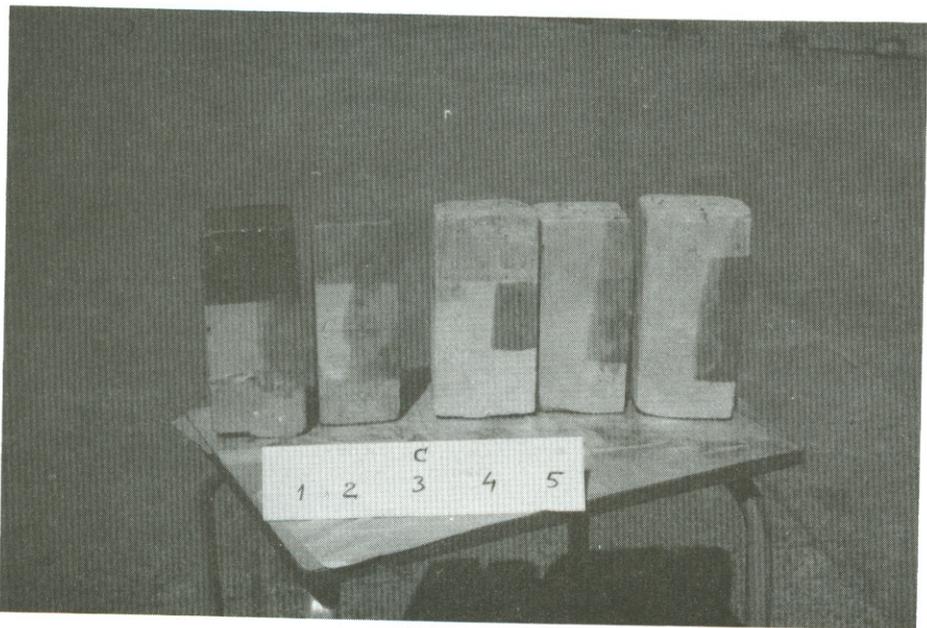


Fig. 44 c.- La misma experiencia en las muestras C (Canteras de Las Puertas).

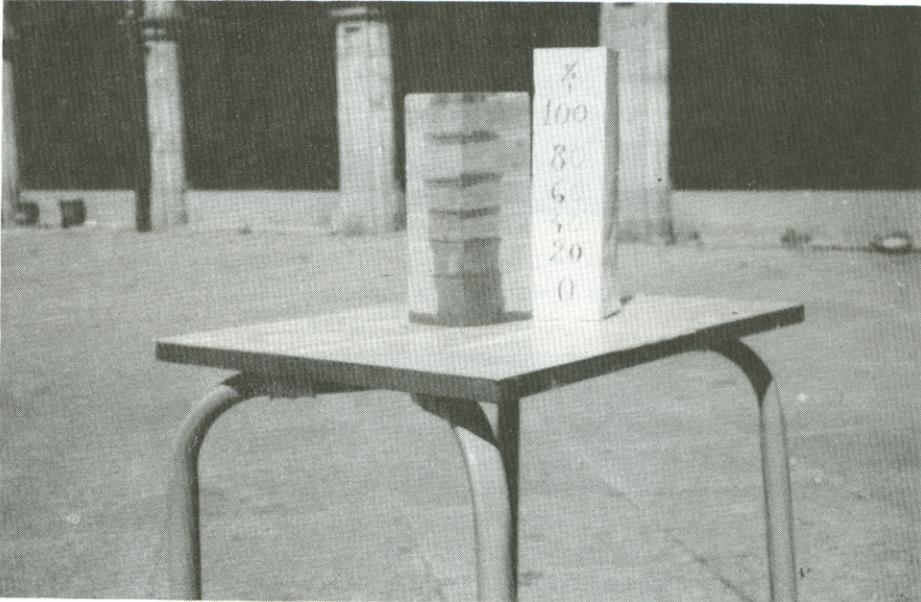


Fig. 45.- Prueba de disoluciones en agua de la resina tipo A-1 en concentraciones de 0 a 100%. Posteriormente al tratamiento se ha humedecido una arista de la probeta marcándose claramente el efecto impermeabilizantes y de variación de color en la zona no tratada.

9.4. ENSAYOS FISICO-QUIMICOS.

9.4.1. INTRODUCCION

El empleo de siliconas está muy generalizado para trabajos de impermeabilización exterior, dadas las propiedades que concurren en las mismas, al ser de gran fluidez y elevado grado de penetración, pero la influencia de la temperatura ambiente, hace que su eficacia sea muy limitada y con seguridad cualquier tratamiento de superficies exteriores de un edificio no pasaría de los tres años, deteriorándose progresivamente con gran rapidez, ya que no evita la erosión.

Sin embargo el empleo de resinas no tiene todavía desarrollado el campo de aplicaciones y posibilidades que le corresponde, bien por su desconocimiento o por su limitado empleo. Las superficies tratadas al respecto se ven protegidas por una película que tapa poros pero deja transpirar y sella erosiones, evitando su continuo deterioro, que permite garantizar su eficacia por un tiempo no inferior a veinte años, dada su estabilidad a la variación de temperatura; absorbe dichos cambios sin variación apreciable; esto puede ser debido al dilatado proceso de envejecimiento de sus componentes.

9.4.2. ABSORCION SIN ENVEJECIMIENTO PREVIO

Se han preparado unas muestras de arenisca, tipos A, B y C, de dimensiones 5 x 8 x 10 cm según se expone en la Fig. 46.

Para comprobar el grado de absorción de las areniscas patrón se procedió a pesar las probetas antes y después de una inmersión en agua durante 5 minutos.

El aumento de peso de las 6 muestras tomadas ha sido muy heterogeneo, a pesar de ser las características texturales y granulométricas idénticas en todas ellas, de lo que se deduce que por lo que se refiere a la absorción hay algún factor desconocido cuya influencia no ha sido tomada en cuenta. Probablemente sea debida a una posible humedad en el núcleo de la probeta, que podría eliminarse con un tiempo mucho más prolongado de secado. En cualquier caso las pruebas evidencian que las areniscas poseen un *alto poder de absorción*.

Posteriormente dichas muestras se trataron con los aditivos correspondientes a los grupos de siliconas y resinas, permaneciendo sumergidos en el seno de los mismos, por espacio de DIEZ SEGUNDOS; una vez secos se introdujeron en el agua durante CINCO MINUTOS, para comprobar si afectaban al grado de absorción, previa determinación de sus respectivos pesos. Las diferencias obtenidas antes y después de la inmersión resultaron ser prácticamente nulas.

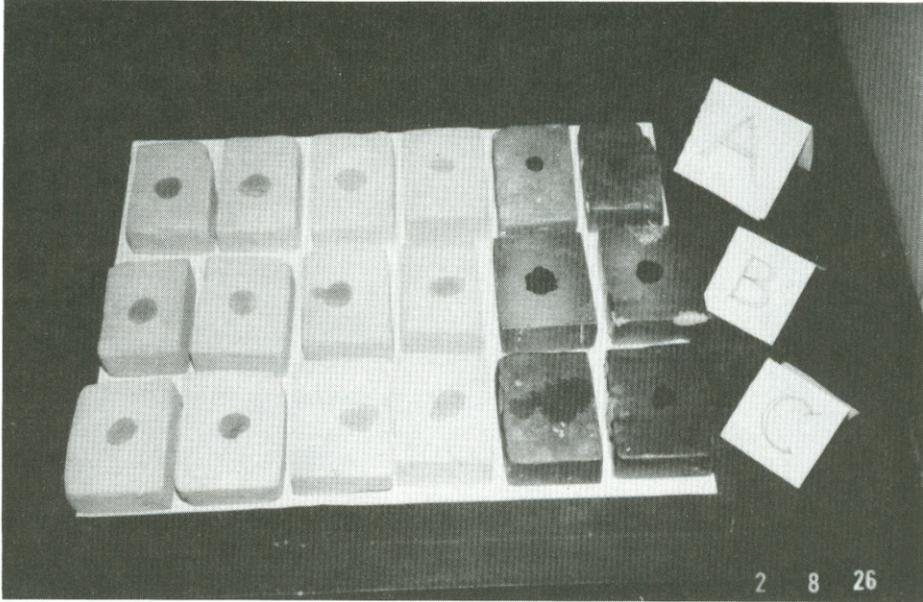


Fig. 46.- Conjunto de probetas de tamaño 5 x 8 x 10 cm previamente tratados con aditivos (excepto las n.º 1) y sometidas a procesos de envejecimiento artificial y acelerado.

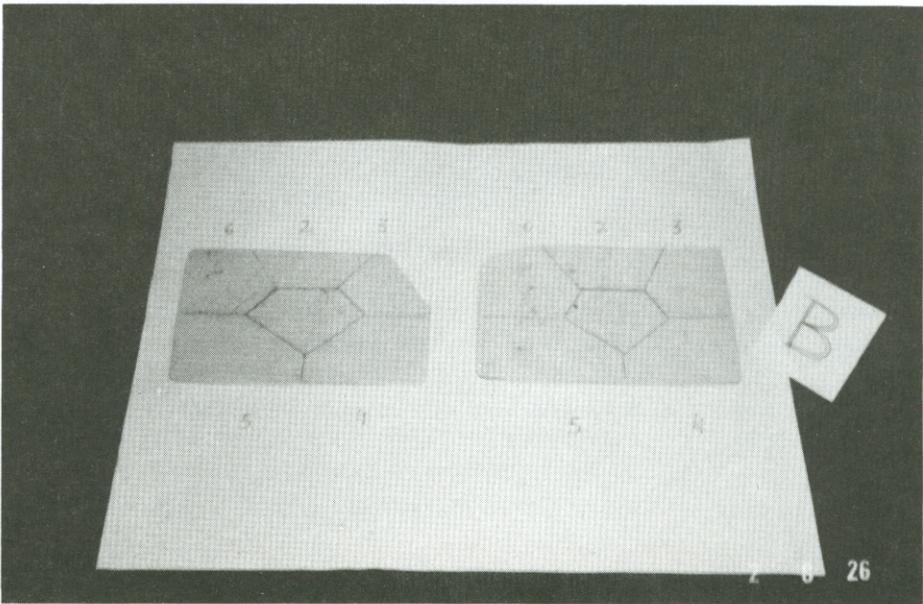


Fig. 47a.- Aspecto original de las láminas de arenisca tipo B de 20 x 15 x 1, antes de ser tratadas con aditivos.

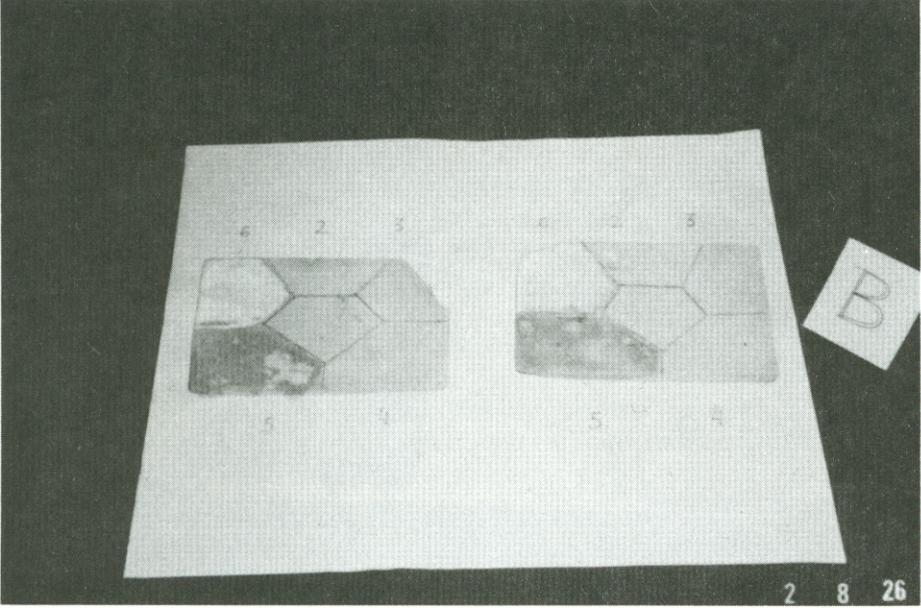


Fig. 47b.- Las mismas láminas de la Fig. 47a, tratadas con los distintos aditivos, dejando el centro como prueba en blanco (zona 1) (zona 2, 3 y 4: siliconas; zonas 5 y 6: resinas).

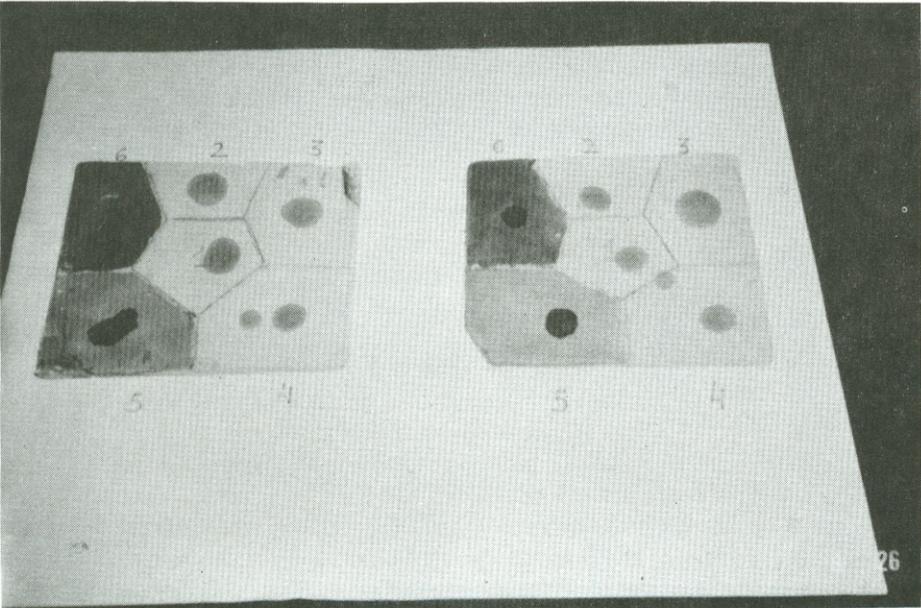


Fig. 47c.- Las mismas láminas de la fig. 47b, después del proceso de envejecimiento. Obsérvense los contrastes de color conseguidos. Se ha añadido una gota de colorante «Azul SUVINIL RS» en cada prueba.

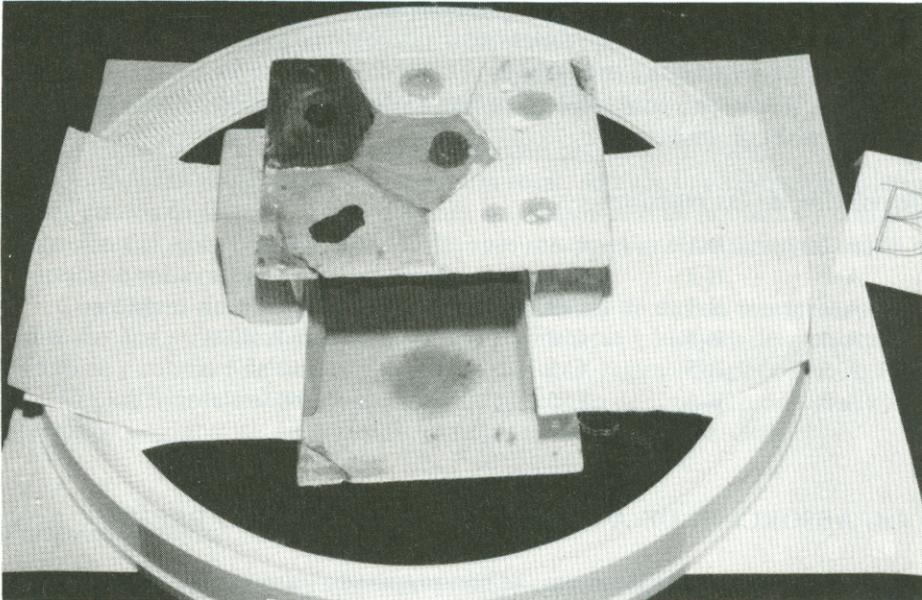


Fig. 48.- Montaje realizado sobre un espejo, para comprobar la eficacia de los aditivos empleados frente a la humedad. Se ha vertido agua sobre la totalidad de la superficie superior, quedando gotas sobre la misma. Solamente el centro, no tratado con aditivos, ha absorbido el agua, llegando a traspasar todo el espesor de la lámina, según se ve en la imagen del espejo situado debajo. Las siliconas (2, 3, 4, zonas de la derecha) después del envejecimiento no sirven de protección contra la erosión pero conservan el efecto impermeabilizante. Las resinas (zonas 5, 6) además de conseguir este último efecto, son un buen protector contra la erosión.

9.4.3. PRUEBAS DE ENVEJECIMIENTO

Las muestras preparadas al efecto, se exponen en la fig. 46 y son las mismas que se emplearon en los ensayos de absorción (apartado 9.4.2).

Dichas muestras han sido sometidas a un proceso de enfriamiento en congelados a -20°C durante dos horas y posteriormente se deja que alcancen la temperatura ambiente y se introducen en un estufa a 125°C durante dos horas, operación que se ha repetido cinco veces.

El objeto de este ciclo es conocer la respuesta final a los tratamientos efectuados y poder dar una solución lo más realista posible, llegándose a los resultados siguientes:

a) Las Siliconas han perdido su eficacia como impermeabilizantes y la erosión no se evita.

b) Las Resinas no cambian el aspecto externo de las areniscas hasta pasados los 80°C en que se manchan, formándose una película fundida sobre su superficie, siendo muy difícil su eliminación.

c) Las Resinas no solo impermeabilizan, sino que también evitan la erosión de las areniscas tratadas.

Descripción de las muestras.

| | | | |
|-----|-----|-----|-------------------------------|
| A-1 | B-1 | C-1 | Pruebas en blanco |
| A-2 | B-2 | C-2 | Tratadas con Conservador-5 |
| A-3 | B-3 | C-3 | Tratadas con Rubson invisible |
| A-4 | B-4 | C-4 | Tratadas con Adi-Sil |
| A-5 | B-5 | C-5 | Tratadas con Feb-Fix |
| A-6 | B-6 | C-6 | Tratadas con Cotelatex |

9.4.4. ABSORCIÓN DE AGUA CON ENVEJECIMIENTO PREVIO

Del Grupo B de las areniscas, se han preparado unas pastillas o láminas de un centímetro de espesor y de 15×20 de superficie; envejecidas dichas láminas han sido tratadas con Siliconas y Resinas, empleadas en el apartado anterior y se han distribuido según se expone en las Figs. 47a, b, c, apreciándose el efecto posterior que presentan al ser tratadas con agua, y para su comprobación se hizo el montaje puesto de manifiesto en la Fig. 48.

9.4.5. PREPARACION DE MORTEROS Y SU APLICACION

El constante deterioro de las superficies externas de las areniscas que están en contacto directo con el medio ambiente, nos ha llevado a realizar una serie de pruebas que permitan corregir dentro de lo posible la denominada «enfermedad de la piedra arenisca».

Desechadas las Siliconas por su falta de eficacia en corregir y evitar la erosión, se han realizado una serie de pruebas con resinas, y para acometer un tratamiento adecuado, se ha dividido en dos partes:

a) Cuando se trata de areniscas que forman parte de edificios y monumentos: Se limpian las superficies objeto de tratamiento, hasta encontrar, si es posible, la parte inalterable de la misma, se impregna dicha superficie con solución diluída de resina, se deja secar y a continuación se va recreciendo con un mortero formado por areniscas de características idénticas o semejantes a las que se aplica el tratamiento, o en su defecto, arenas silíceas previamente molidas y amasadas con resinas con su adecuado grado de dilución, procurando al mismo tiempo que no cambie el color de la arenisca original; el espesor de la capa puede estar entre 1 y 2 mm; en un espesor mayor aparecen fisuras y grietas deteriorando dicha superficie por contracción de la masa resinosa.

Esta operación permite proteger a las areniscas de posteriores ataques y si hubiera necesidad de aumentar el espesor de las capas a añadir, se tendrá que colocar una lámina de fibra de vidrio, que garantiza dicho recrecido.

b) Cuando se trate de areniscas que estén próximas al suelo:

Para evitar su deterioro y destrucción total, se hace una inyección en diferentes puntos de la zona, para conseguir un aislamiento de la misma y cortar la absorción del agua por capilaridad; después se continúa el tratamiento según el apartado a).

Con objeto de comprobar la eficacia y garantía de dichos morteros, se han realizado una serie de aplicaciones en varias probetas y bloques de areniscas del Grupo B, y constituyen unas auténticas soldaduras, según se exponen en las Figs. 49 y 50 pudiéndose extender su utilización al sellado de juntas en edificios y monumentos, lográndose unos paños homogéneos y gratos a la vista.

Parte experimental.

La erosión mecánica y química en muros construídos con areniscas se produce con mayor intensidad en las juntas entre bloques por concentrarse en ellas las aguas descendentes y ser mayor aún en la confluencia de varias juntas.

Ello nos ha movido a experimentar en un conjunto de dos bloques (Fig. 49) y de cuatro bloques (Figs. 50a). Los resultados han sido plenamente satisfactorios. El sellado entre los diferentes bloques ha formado un todo totalmente impermeable.

Las fases de este tratamiento son:

- a.- Aplicación del mortero en las superficies internas (fig. 50b), como si se tratase de un cemento.
- b.- Aplicación del mortero en las superficies vistas (fig. 50c), con objeto de sellar por completo las juntas.
- c.- El proceso se puede completar con un alisamiento del mortero para uniformizar la superficie externa o bien moldearla si fuera curva.

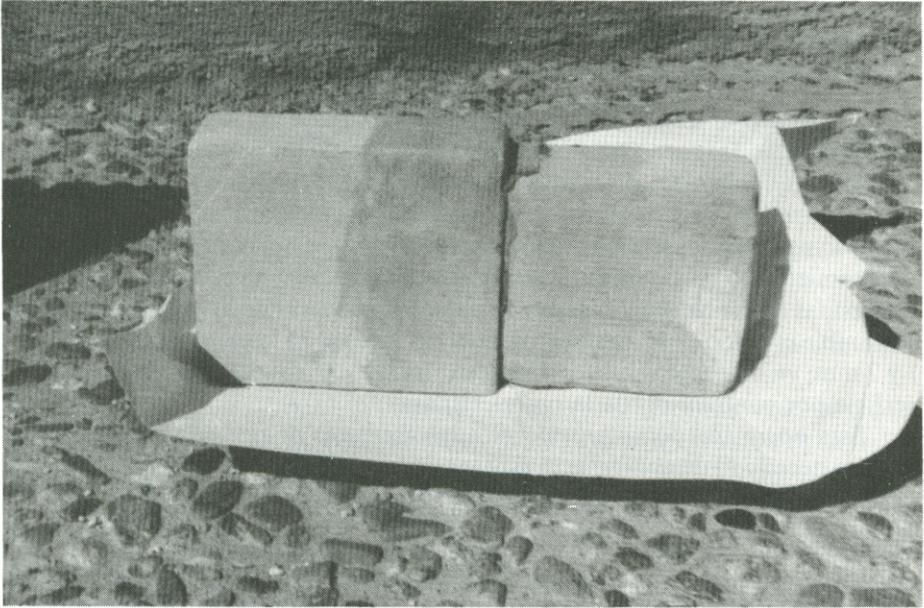


Fig. 49.- Tratamiento con mortero interno entre los bloques de areniscas.

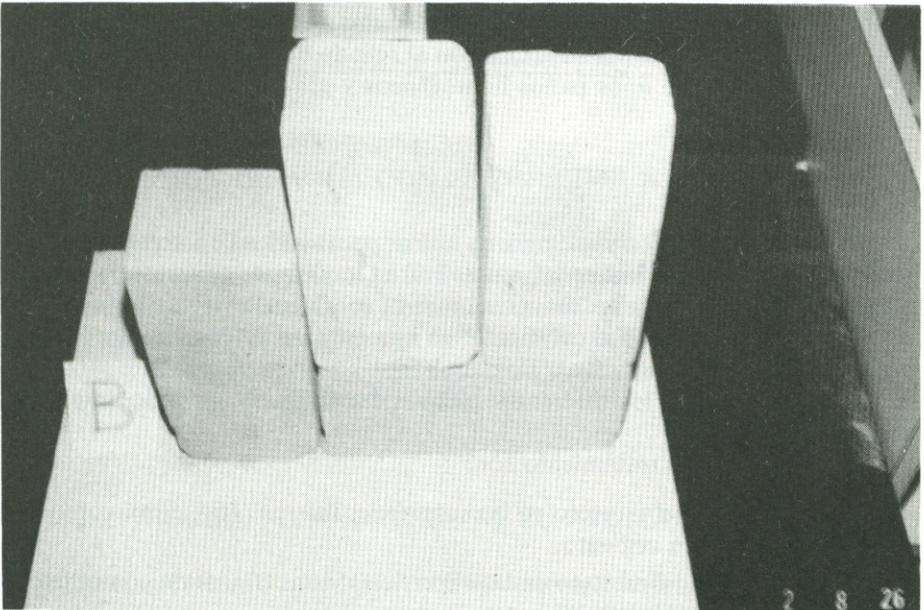


Fig. 50a.- Conjunto de 4 bloques de areniscas antes de la aplicación del mortero.

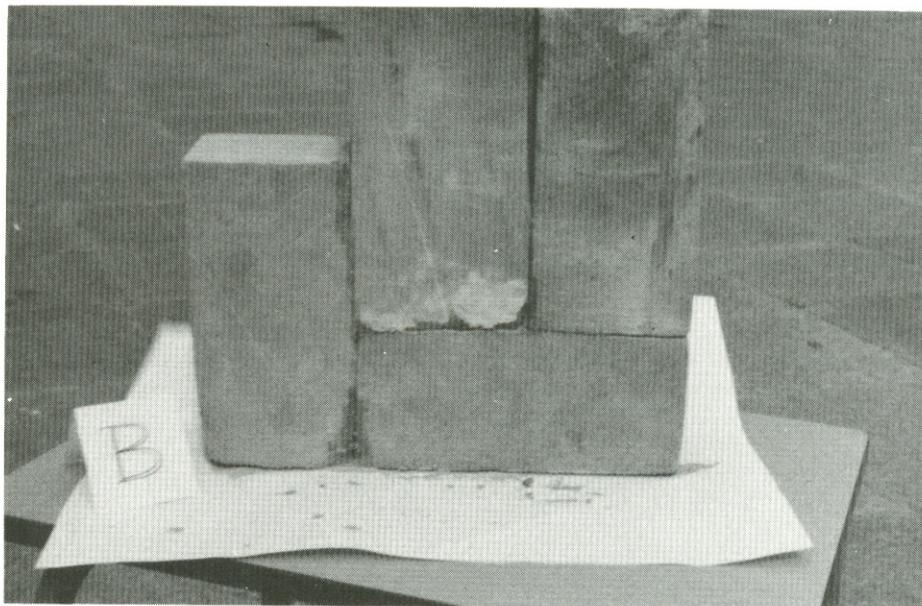


Fig. 50b.- Los bloques de la fig. 50a, sellados interiormente con mortero.

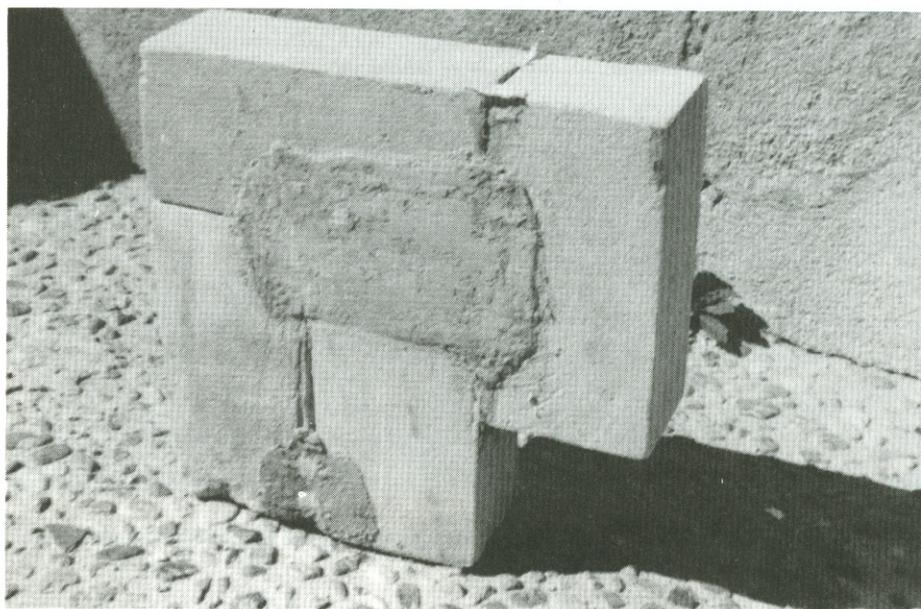


Fig. 50c.- El conjunto de la fig. 50b con el mortero exterior aplicado en su superficie.

9.4.6. PENETRACION DE LOS ADITIVOS

Con las muestras C-1, 2 y 3 se ha procedido a cortar una esquina con objeto de conocer el grado de penetración de los aditivos (Fig. 51). En la muestra C-1 se observa la formación de una película compacta y adhesiva pero no penetrativa.

Los aditivos aplicados a las muestras C-2 y C-3 penetran aproximadamente 1 mm, en el interior de la roca, aprovechando su porosidad.

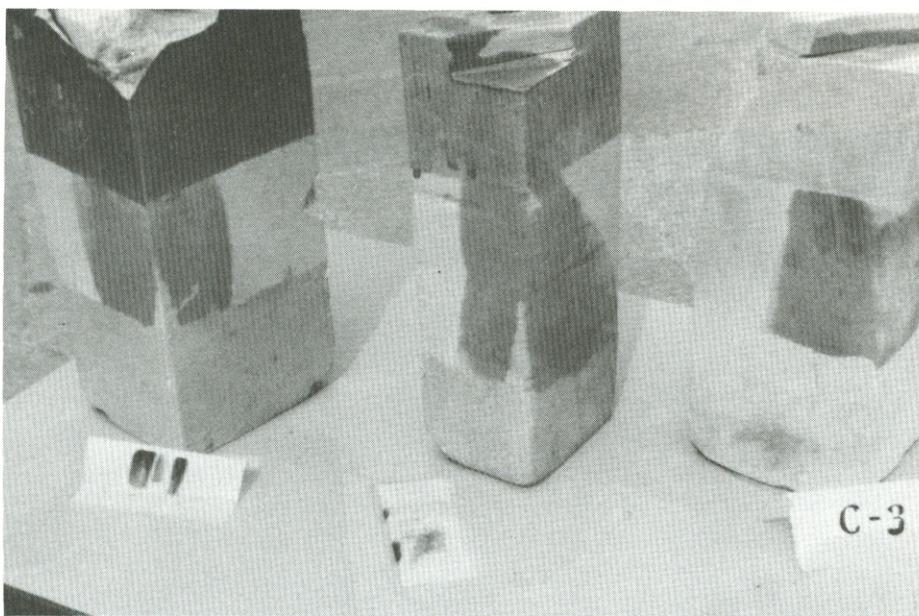


Fig. 51.- Grado de penetración de los aditivos en las muestras C-1, C-2 y C-3. Se ha cortado la esquina y humedecido para visualizar el efecto.

9.5. CONCLUSIONES.

— Las siliconas y resinas de tipo epoxílico impermeabilizan las areniscas, protegiéndolas de la acción química de las aguas de lluvia.

— Las siliconas no evitan la erosión mecánica de las areniscas.

— Las resinas, en diferentes grados de dilución acuosa, evitan la erosión por sellado en la superficie de las areniscas, garantizando la eficacia del tratamiento.

— Las variaciones de temperatura —dentro de los límites climáticos normales— perjudican la eficacia de la aplicación de siliconas, pero no la de resinas.

10. CONCLUSIONES FINALES

A. CON VISTAS A FUTURAS EXPLOTACIONES

1. Geológicamente se ha de reducir la exploración a los tramos medios del Eoceno Medio alto y Superior bajo («Areniscas de Cabrerizos»). Otros tramos, de peor calidad, se pueden encontrar en la transición Eoceno-Oligoceno («Areniscas de Aldearrubia»). Han de descartarse absolutamente los tramos prelutecienses, oligocenos, miocenos y cuaternarios.

2. Desde el punto de vista técnico es necesaria la presencia de agua; la situación de las capas próximas a un nivel freático es necesaria para facilitar el laboreo.

B. MATERIAL A EMPLEAR EN CONSTRUCCION O ARTESANIA

1. Granulometría. El óptimo se da en areniscas seleccionadas con tamaño de grano entre 0,250 y 0,125 mm. Debe contener al menos 10% de tamaños menores de 0,06 mm. No pueden contener fragmentos gruesos (mayores de 22 mm).

2. Cementación. El contenido en carbonatos debe ser menor de 7%. Para artesanía de exteriores debe ser aún menor. Bajo contenido en arcillas hinchables.

3. Pigmentación. No debe ser rojiza, indicadora de hierro en abundancia.

C. TRATAMIENTO DE PIEDRA ANTIGUA

1. Se descarta el uso de siliconas, no por su menor eficacia, sino porque los cambios de temperatura la anulan.

2. Se recomienda el uso de resinas diluidas en agua al 50 o 60%. Resisten las variaciones de temperatura y retardan extraordinariamente la erosión.

NOTA IMPORTANTE: Por razones obvias, no se ha podido investigar la influencia del paso del tiempo con tratamiento de resinas, para lo cual se requiere un transcurso de 10 a 25 años. Al terminar esta investigación se han dejado almacenadas unas piezas tratadas junto a otras limpias para observar su posible variación. Se encuentran en el Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

Podemos adelantar que, según datos ajenos a nuestra investigación, la aplicación de resinas no diluídas sobre materiales similares no ha modificado nada el color al cabo de 5 años. Sin embargo, el tiempo aún nos parece corto para poder asegurar que este procedimiento permita una protección prolongada sin cambiar el aspecto exterior de la arenisca.

11. BIBLIOGRAFIA

- ALONSO GAVILAN G., CORRALES I. & CORROCHANO, A. (1976): Sedimentación rítmica en el Paleógeno de Almenara de Tormes (Salamanca). *Studia Geológica* vol. 10, págs. 17-29. Salamanca.
- ARRESE P., LOZANO A., MARTIN-PATINO T. & RODRIGUEZ J. (1964): Estudio de las Areniscas de Villamayor (Salamanca). *Estudios Geológicos* vol. 20, págs. 87-105, Madrid.
- ARRESE F., LOZANO A., MARTIN-PATINO T. & RODRIGUEZ J. (1965): Estudio de las Areniscas de Villamayor (Salamanca). *Acta Salmanticensia (Ciencias)*, vol. 26, págs. 1-57, Salamanca.
- : Estudio de la fracción fina de las Areniscas de Villamayor (Salamanca). *Anales de Edafología y Agrobiología*, vol. 24, págs. 151-163, Madrid.
- ARRIBAS A., JIMENEZ E. & cols. (1978). Estudio de las Areniscas de Villamayor. Informe para el *Instituto Geológico y Minero de España*. pp. 1-263, 6 mapas (inédito).
- BARROSO M.G. (1944): Areniscas eocenas de los alrededores de Salamanca, empleadas como piedra de edificación. *Bol. R.Soc.Esp. Hist. Nat.*, XLIV, 615-620, láms. 58-59, Madrid.
- CORDERO P., CORROCHANO A. & CARBALLEIRA J. (1982): El Paleógeno del Sector Septentrional de la Cuenca de Ciudad Rodrigo (alrededores de Torresmenudas, Salamanca). *Iª R. s. Geol. de la Cuenca del Duero 1979*. Part. 1ª, pp. 199-207; 4 fgs. IGME, Madrid.
- CALDERON S. (1902): Noticia del descubrimiento de huesos fósiles en una caliza terciaria de Villamayor (Salamanca). *Boletín Real Sociedad Española de Historia Natural*, vol. 2, págs. 230-231, Madrid.
- CORROCHANO A. (1977): Estratigrafía y sedimentología del Paleógeno de la provincia de Zamora. *Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca*. Resumen en 17 págs.
- CORROCHANO A. (1980): Los sistemas de abanicos aluviales del Paleógeno de Zamora. *IX Cong. Nac. Sedimentología. Salamanca 1980*. Guía de Sesiones de Campo; pp. 48-77, 15 fgs. Salamanca.
- CORROCHANO A. (1982): El Paleógeno del borde occidental de la Cuenca del Duero (Provincia de Zamora). *Iª R. s. Geol. Cuenca del Duero, Salamanca 1979*; Part. IIª; pp. 687-697, 2 fgs; IGME, Madrid.
- CORROCHANO A. & QUIROGA J.L. (1974): La discordancia Paleozoico-Terciario al SW de Zamora. *Studia Geológica*, vol. 7, págs. 123-130. Salamanca.
- CORRALES I., CARBALLEIRA J., CORROCHANO A., POL C., & ARMENTEROS I. (1978): Las facies miocenas del sector Sur de la Cuenca del Duero. *Publ. Dep. Estrat. Univ. Salamanca*, pp. 7-15, 2 fgs.

- GARCIA MARCOS J.M. (1976): Caracterización geoquímica y mineralógica de la fracción arcillosa del Terciario del área de Fuentelapeña (Zamora). *Tesina de Licenciatura, Universidad de Salamanca*, 92 págs., Salamanca.
- GRACIA A.S., GARCIA J.M. y JIMENEZ E. (1981): Las fallas de El Cubito. Geometría, funcionamiento y sus implicaciones cronoestratigráficas en el Terciario de Salamanca. *Bol. Geol. Min.* 92 (4); pp. 267-273, 4 fgs. Madrid.
- GIL Y MAESTRE A. (1880): Descripción física, geológica y minera de la provincia de Salamanca. *Comisión del Mapa Geológico de España*, (IGME), págs. 1-299, Madrid.
- JIMENEZ FUENTES E. (1968): *Stereogenys salmanticensis* nov.gen., quelonio eocénico del valle del Duero. *Estudios Geológicos*, vol. 24, págs. 191-203, Madrid.
- JIMENEZ FUENTES E. (1970): Estratigrafía y paleontología del borde SW de la Cuenca del Duero. *Tesis Doctoral. Univ. de Salamanca*, 325 págs. Resumen publicado en «Tesis Ciencias 1970-1971». Salamanca.
- JIMENEZ FUENTES E. (1972): El Paleógeno del borde SW de la Cuenca del Duero. I. Los escarpes del Tormes. *Stvdia Geológica*, vol. 3, págs. 67-110, Salamanca.
- JIMENEZ FUENTES E. (1973): El Paleógeno del borde SW de la Cuenca del Duero. II: La falla de Alba-Villoria y sus implicaciones estratigráficas y geomorfológicas. *Stvdia Geológica*, vol. 5, págs. 107-136, Salamanca.
- JIMENEZ FUENTES E. (1974): Iniciación al estudio de la climatología del Paleógeno de la Cuenca del Duero y su posible relación con el resto de la Península Ibérica. *Boletín Geológico y Minero*, vol. 85, págs. 518-524, Madrid.
- JIMENEZ FUENTES E. (1975): Presencia de una fase de fracturación y de una discordancia prelutecienses en el Paleógeno de Salamanca. *Estudios Geológicos*, vol. 31, págs. 615-624, Madrid.
- JIMENEZ FUENTES E. (1977): Sinopsis sobre los yacimientos fosilíferos paleógenos de la provincia de Zamora. *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 88, págs. 357-364, Madrid.
- LOPEZ DE AZCONA J.M., MINGARRO F. & LOPEZ DE AZCONA M.C. (1967). Mapa Geológico de la provincia de Salamanca. E/ 1:200.000. *I.G.M.E.*, Madrid.
- MAZO A.V. & JIMENEZ E. (1982): El Guijo, primer yacimiento de mamíferos miocénicos de la provincia de Salamanca. *Stvd. Geol. Salmanticensia*, 17, Salamanca.
- MILLOT G. (1964): «Géologie des argilles». *Masson & Cie.*, Paris.
- MINGARRO F. & LOPEZ DE AZCONA M.C. (1970): Estudio de las rocas carbonáticas terciarias de la provincia de Salamanca. *Est. Geol.*, 26, pp. 17-25, Madrid.
- MOLINA E., BLANCO J.A. & MARTINEZ F.J. (1982): Esquema morfológico evolutivo de la fosa de Ciudad Rodrigo (Salamanca). *Iª R.s. Geol. Cuenca del Duero, Salamanca 1979*, part. IIª; pp. 433-448, 4 fgs. Madrid.
- PEREZ J. & ALONSO J. (1965): Estudio de unas areniscas utilizadas como piedra de construcción en monumentos españoles y sus posibles causas de altera-

- ción. *Inst. Centr. Conservación y Restauración de Obras de Arte y Etnología*, 25 págs.
- RIBAS I. & PRADA P. de (1931). Estudio químico de la piedra empleada en las construcciones de la ciudad de Salamanca, de la pátina de las mismas y de su reproducción artificial. *Anales Sociedad Española de Física y Química*, vol. 29, págs. 211-220, Madrid.
- TEMPLADO D. & PASTORA J.L. (1946): Explicación del Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 478 (Salamanca). *I.G.M.E.* 63 págs. + 1 mapa, Madrid.

ADDENDA

AGRADECIMIENTO

En la elección de las resinas y siliconas más apropiadas han colaborado las siguientes Empresas, a las que reconocemos nuestra gratitud:

SANDOZ
IBER-PLAX
COTEXSA
ASFALTEX
SIKA S.A.

Igualmente, hemos de agradecer la ayuda prestada por los propietarios y encargados de las canteras de La Moral, Sanchón y Las Puertas.

También hemos de decir que la orientación de D. Joaquín Folch, sobre el colorante más aconsejable para los fines de esta investigación, ha sido —como siempre— inestimable.

Finalmente, a todas cuantas personas han contribuido a la realización de esta memoria, manifestamos nuestra consideración.